

Ingeniería para el diseño de territorios

Territory design engineering

Edwin Robert Pérez Carvajal¹

“Cómo citar este artículo: Pérez Carvajal, E. R. (2017). Ingeniería para el diseño de territorios. *Análisis Geográficos*, 52, 35-52.

Resumen

Las preocupaciones sobre la planificación del territorio convocan a la ingeniería a desempeñar un rol más social y más humano, orientando el ejercicio de esta disciplina hacia la intervención, la imaginación, el diseño y la construcción de escenarios posibles para la realización de territorios éticos, que propicien desarrollos humanos sostenibles, para los cuales la inteligencia artificial, el modelado computacional, los sistemas de información geográfica y otros aparatos matemáticos deberían concurrir en apoyo de enfoques emergentes basados en la complejidad, en teorías evolutivas o en la ingeniería de sistemas sociales. Es por esto que la propuesta de este artículo se orienta a considerar los sistemas sociales, formados por agentes libres que toman sus propias decisiones, como sistemas sociotécnicos y artefactos sociales constituyentes y constituidos por conceptos como el bienestar general, el desarrollo sostenible, la protección al medioambiente, la democracia y la disminución de los riesgos. Sobre estos problemas es viable aplicar el método de ingeniería definido por Billy Vaughn Koen como el uso de heurísticas para generar los mejores cambios en situaciones con escasos recursos y pobremente entendidas, con cambios direccionados hacia el diseño de imaginarios de los sistemas y la intención de estudiar sus estructuras, relaciones y emergencias al servicio de la transformación de escenarios posibles en escenarios alcanzables. El presente documento comprende dos partes: la primera consiste en una rápida mirada de los enfoques teóricos que permiten la conceptualización sobre la ingeniería y el modelado de sistemas sociotécnicos, así como de algunas herramientas de ingeniería disponibles para el diseño y operación de los modelos para el diseño de territorios; la segunda parte es un resumen de un estudio de caso en ejecución que puede servir como ejemplo para estudios futuros.

Palabras clave: planificación territorial, teorías evolutivas, sistemas basados en agentes, diseño en ingeniería, desarrollo a escala humana.

¹ Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, Colombia. Correo: erperezc@udistrital.edu.co, edwinperezc@gmail.com.



Abstract

Concerns about regional planning summon to engineering to play a more social and human role, guiding the practice of engineering towards intervention, imagination, design and construction of possible scenarios for the realization of ethical territories which promote sustainable, for which artificial intelligence, human development, computational modeling, geographic Information systems and other mathematical apparatus should attend in support of emerging approaches based on complexity, evolutionary theories or social systems engineering. It is proposed here consider social systems consist of free agents who make their own decisions as socio-technical systems, such as social artifacts, constituent and constituted by concepts like the general welfare, sustainable development, environmental protection, democracy and declining risks, problems on which it is feasible engineering method defined by Billy Vaughn Koen and the use of heuristics to generate the best changes in situations with few resources and poorly understood, addressed to the imaginary design of such systems, encouragement to study their structures, relationships and emergency service of the transformation of possible scenarios achievable scenarios. This document includes two parts: First, a quick look of the theoretical approaches that allow the conceptualization of engineering and modeling socio-technical systems as well as some engineering tools available for the design and operation of the models for the design of territories and the second part is a summary of a case study on implementation as an example for possible cases of empirical study.

Keywords: *Territorial planning, Evolutionary theories, Agent-based systems, Engineering design, Human scale development.*



El ordenamiento del territorio planifica el espacio, preparándolo en el horizonte de la utilidad, para la cual la naturaleza ya no es un mero objeto de estudio, se ha convertido en un almacén de existencias de energías, donde los entes ahora gobiernan en forma de recursos potenciales, la belleza en forma de arte y los sentimientos en forma de publicidad.

Martin Heidegger

Introducción

La ingeniería de sistemas sociales es un enfoque de este campo de conocimiento que se ocupa del diseño de sistemas que son formados y recreados por agentes libres que toman sus propias decisiones (es decir, que no se pueden describir con leyes científicas), y considera que las instituciones, las empresas, las organizaciones sociales y, por supuesto, el territorio, pueden ser tratados como un sistema sociotécnico. No obstante, dada la magnitud y el impacto de tal “laboratorio social” en el cual se termina por “moldear” el mundo según la imaginación y voluntad de sus diseñadores, es inevitable enfrentarse a inquietudes como: ¿de qué manera y quién define los problemas y los objetivos de una comunidad? ¿Quién y cómo debe asumir los diferentes roles y responsabilidades en el diseño del sistema social? ¿Qué responsabilidades tienen los ingenieros de hoy con el futuro de las generaciones actuales y con los presentes de las generaciones futuras?

La ingeniería moderna utiliza la ciencia, que comúnmente es vista como ciencia aplicada, pero en realidad es algo diferente a la solución de problemas científicos: un buen ingeniero no es automáticamente un buen científico o viceversa (Kroes, 2012). Por el contrario, no es la *ciencia*

la regla de la ingeniería, sino el *diseño*, como manifiesta Koen (2003): “El diseño en ingeniería o el método de ingeniería consiste en el uso de heurísticas para generar el mejor cambio posible en una situación pobremente entendida, con los recursos disponibles”. El presente artículo tiene como objetivo dar a conocer alternativas de planificación basadas en enfoques alternativos que se apartan de los conceptos económicos, ingenieriles y de administración tradicionales, para lo cual se hace referencia al modelo organizacional jerárquico de agentes naturales del agua (Mojana), que está en construcción, para ilustrar la viabilidad y bondades del enfoque.

Materiales y métodos

Sobre el modelado de ingeniería

“La ciencia busca entender el mundo tal y como este es, solo la ingeniería puede cambiarlo” (Petroski, 2009). Así, Petroski invita a la ingeniería y a los ingenieros a abandonar la denominación de *ciencia aplicada* en la que histórica, pero erróneamente, ha sido catalogada y a reclamar y asumir el rol fáctico y de transformación que la ingeniería ha ejercido históricamente: “es la ingeniería, no la ciencia, la que aporta los mayores beneficios para la humanidad.



La ciencia como investigación pura es un lujo” (Petroski, 1999). En la misma dirección de lo expresado por Petroski, cuando afirma que los sistemas legales son la ingeniería de la razón y la ciencia misma puede ser descrita como la ingeniería de las teorías, la planificación del territorio podría presentarse como la ingeniería del habitar. En consecuencia, al imaginar escenarios de desarrollo y ordenamiento territorial se deben abandonar las metas exclusivas de la optimización y el crecimiento económico tradicionalmente establecidos, para apuntar hacia problemas (no económicos) de las comunidades, donde el diseño de ingeniería, como un proceso de toma de decisiones², tiene el reto de diseñar desarrollos de territorios que posibiliten bienestar humano, emplazando a la ingeniería a comparar eventos y espacios pasados con acontecimientos y logros presentes para pensar e idealizar potenciales futuros; esto según Epstein (2008) es la base del diseño en ingeniería.

En consecuencia, desde un enfoque posmoderno se podría reevaluar la idea de modelos exclusivamente predictivos (como los explícitos) para incorporar una pregunta más general y, si se quiere, más teleológica y ética, más filosófica: ¿por qué modelar?, a la que Epstein (2008) responde presentando alternativas del modelado para distintos propósitos, tales como:

- Explicar
- Recolectar datos guía
- Iluminar dinámicas fundamentales
- Sugerir analogías dinámicas

- Descubrir nuevas preguntas
- Promover un hábito científico de la mente
- Limitar (precisar) los resultados en rangos creíbles
- Iluminar las incertidumbres (desconocimientos) básicas
- Ofrecer alternativas de crisis casi en tiempo real
- Mostrar alternativas o sugerir eficiencias
- Desafiar la robustez de las teorías predominantes a lo largo de perturbaciones
- Exponer la incompatibilidad de los juicios predominantes con los datos disponibles
- Entrenar practicantes
- Disciplinar el diálogo político
- Educar al público en general
- Descubrir la complejidad (sencillez) de lo aparentemente simple (complejo)

Desde esta mirada, el significado del modelado de sistemas sociales planteados desde la perspectiva *bottom up*, que integre actores, usuarios y diseñadores, rompe con la tradicional estructura rígida *sujeto-objeto* en la investigación. El *modelado participativo*, apoyado en un enfoque de *modelado integrado*, surge como aproximación a ser tenida en cuenta en el estudio de sistemas socioecológicos³ que iluminen el qué, el cómo, el cuándo, el dónde, el para qué, el porqué y con quiénes modelar y diseñar territorios.

² Esto según la definición del Accreditation Board for Engineering and Technology (ABET).

³ Término utilizado por Berkes y Folke (1998) para enfatizar el concepto integrado de “ser humano en la naturaleza”, caracterizado por la no linealidad, la complejidad, la incertidumbre, la emergencia, la escala, la autoorganización, la vulnerabilidad, la capacidad adaptativa, la transformación, la heterogeneidad y la resiliencia.



Modelado participativo

Para Lapointe (1998), una comunidad humana puede ser vista como una entidad holística con fines propios, compuesta por múltiples agentes actuando con intereses individuales, o como manifestaciones externas de la naturaleza humana para crear y poner en práctica sus intenciones y valores, por lo que es posible visualizar una comunidad territorial como el resultado de fuerzas fundamentales responsables de provocar un desarrollo saludable, de prosperidad y de bienestar, a manera de facilitadores que catalizan la satisfacción de las necesidades en las comunidades.

De esta manera, el autor señala que las capacidades humanas sanas surgen cuando los sistemas sociales están diseñados para promover:

- Los valores humanistas y de bienestar;
- dinámicas bidireccionales de intercambios entre las personas;
- sistemas de comunicación abiertos que toleran perspectivas pluralistas;
- personas en sus esfuerzos por establecer y perseguir sus objetivos;
- personas en su búsqueda de nuevos propósitos;
- los beneficios que las personas pueden obtener de sus esfuerzos;
- la libertad individual a través de controles y equilibrios democráticos que pesan los deseos o necesidades de la mayoría.

Tales procesos de modelado de sistemas sociales, y específicamente un modelo socioecológico, tendrán que convivir con los riesgos y potencialidades propios de los fenómenos de la dimensión humana.

Dichos procesos deberán ser construidos desde los diferentes actores interesados (Voinov & Bousquet, 2010): comunidades, instituciones públicas y privadas, sector productivo y la academia, que definen las especificaciones en los siguientes aspectos:

- Definición de propósitos del modelo
- Definición de usuarios
- Resolución y escala espacial
- Resolución y escala temporal
- Definición de actores
- Definición de problemas
- Ajuste y selección de los modelos

El modelado participativo deberá soportarse necesariamente en modelos de sistemas socioecológicos que integren aspectos naturales y humanos en contextos espaciotemporales. Si pensamos en tres dimensiones críticas: espacio, tiempo y toma de decisiones humanas, las dos primeras proporcionan un entorno común en el que todos los procesos biofísicos y humanos operan, y la tercera cobra tanta importancia como las otras dos al incorporar procesos humanos. En la figura 1, que representa la articulación de las tres dimensiones, vemos que en el plano sombreado (dimensión espaciotemporal x-y) habitan los modelos biofísicos, mientras en el eje z (dimensión humanística) habitan los modelos relacionados con la toma de decisiones humanas. Si la complejidad disminuye en dirección al origen del gráfico y aumenta en dirección contraria, es posible ver cómo los modelos representados por la letra A (modelos estadísticos y series de tiempo sin componentes de



decisiones humanas) tendrán un alto nivel de complejidad temporal, pero muy bajo nivel de complejidad espacial y de decisiones humanas, mientras a un modelo representado por la letra C (sistemas de información geográfica [SIG] convencionales, sin series de tiempo) le corresponderá un alto nivel de complejidad espacial, pero unos niveles de complejidad temporal y de decisiones humanas muy bajos. Los modelos representados por la letra E (modelos econométricos y modelos basados en teorías de juegos) consecuentemente tendrán un bajo nivel de complejidad espacial y temporal, pero un alto nivel de complejidad de decisiones humanas. Los modelos D, como los SIG con componentes temporales, están

caracterizados por su alta complejidad espaciotemporal y su baja complejidad humanística. Los modelos B representan las series de tiempo con componentes de decisiones humanas, y los F son modelos espaciales ecológicos, tipo SWARM o SME. La meta de un modelado de sistemas socioecológicos es ubicarse en la posición marcada con el asterisco (*) para capturar la máxima complejidad en las tres dimensiones.

Ahora bien, la ciencia y las tecnologías modernas han dado buena cuenta de la descripción y el modelado de las dimensiones espaciotemporales y de gran parte de los fenómenos biofísicos. Entre tanto, y como parte de los retos ingenieriles, hace falta abordar el modelado de la

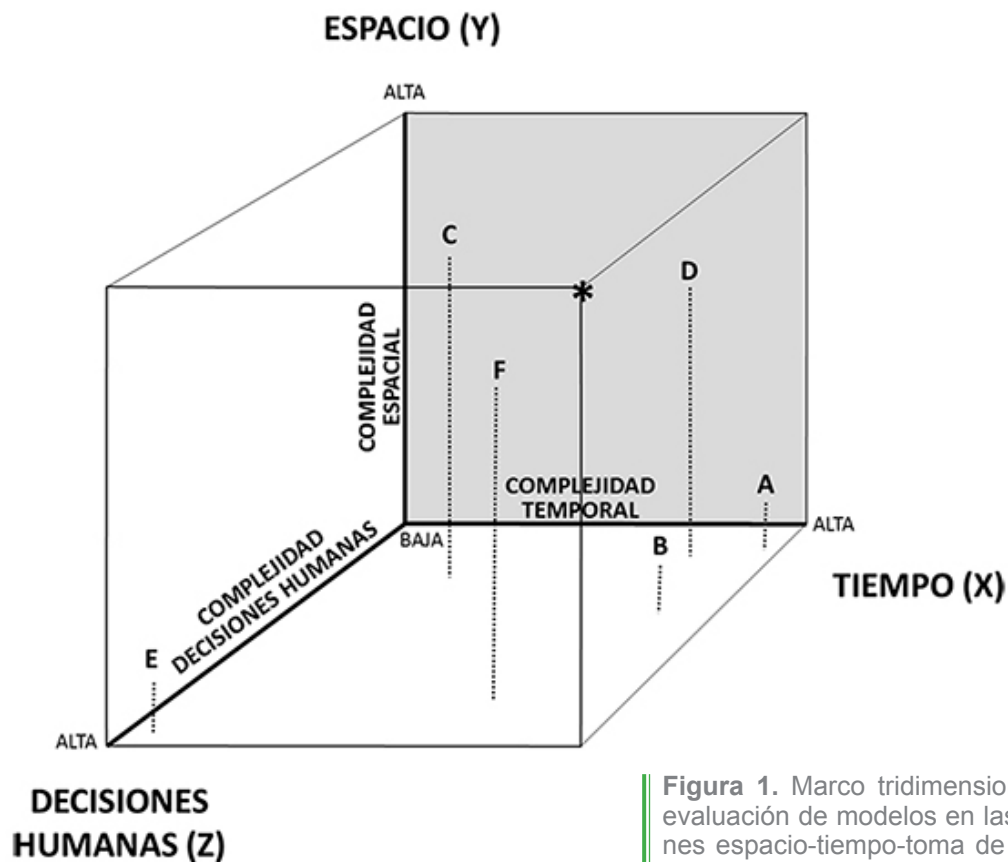


Figura 1. Marco tridimensional para la evaluación de modelos en las dimensiones espacio-tiempo-toma de decisiones humanas.

Fuente: Agarwal et al. (2002).

dimensión relacionada con las decisiones humanas, para lo cual se propone el apoyo del modelado participativo (que respondería a la pregunta sobre *quiénes*) y el modelado socioecológico (que responde al *cuándo y dónde*) en las teorías evolutivas aplicadas en los sistemas sociales (para responder el *cómo*) y el desarrollo a escala humana propuesto por Max-Neef (1994) (indagando sobre el *qué y para qué*).

Teorías evolutivas en los sistemas sociales

Epistemología de Campbell

Una teoría del conocimiento amparado en un enfoque evolucionista Campbell (1974), como lo expresa Popper, “no reside en la justificación de una creencia verdadera, sino en la puesta a prueba de esa creencia”, soporta la epistemología de “variación ciega y retención selectiva” con la que Campbell propone explicar los mecanismos que propician el proceso del conocimiento, y que pueden ser sintetizados en tres procesos:

1. Variación
2. Procesos de selección
3. Mecanismos para preservar o propagar las variaciones seleccionadas

En términos de Campbell, existe no solo un flujo de información en el desarrollo del conocimiento, sino toda una estructura jerárquica que se fundamenta en los procesos de variación, selección y retención, a partir de los cuales se produce una causalidad que, al basarse en aleatoriedad, implica también unidireccionalidad. Esta compleja categorización evolutiva que, según

Campbell, abarca el dominio cognitivo, abraza también la ciencia, donde el experimento es el mecanismo de variación, el aprendizaje es el de selección y el lenguaje es el mecanismo de retención en el contexto social, lo cual indica la necesidad de un *locus* social donde las reglas puedan ser desarrolladas, por lo cual es posible establecer una relación con un modelado de sistemas socioecológicos donde habitan reglas y una epistemología evolutiva de la información y de las organizaciones sociales, como la propuesta por Campbell.

Ontología de Dopfer

La idea principal del enfoque de Dopfer, desde la óptica de la economía evolutiva, supone que un sistema económico es un proceso, compuesto por una población de reglas, que obedecen a una estructura (Dopfer, Foster & Potts, 2004).

Para que la dinámica del proceso se mantenga en marcha a partir de las poblaciones de reglas, la noción de *transportadores de conocimiento* cumple un rol fundamental dentro del engranaje de su sistema económico, al permitir el intercambio y la interconexión entre agentes y poblaciones que obedecen a unas estructuras pero que, a la vez, están sujetos a la coevolución (Dopfer, 2004).

Tal transferencia de conocimiento se da no solo en los clásicos niveles micro y macro, sino además en un nivel meso. Un esquema muy general del sistema puede apreciarse en la tabla 1, donde se evidencia que en las tres fases del conocimiento: origen (variación), adopción (selección) y retención, se producen efectos en los tres niveles de la estructura Dopfer (2005).

Para Dopfer, la transmisión e intercambio de conocimiento, además, sigue la misma



caracterización propuesta por Nelson y Winter (1982) para la innovación, en relación con su *irreversibilidad* (una vez iniciado no puede ser truncado), *contingencia* (se desconoce el desenlace del proceso de innovación) y *dependencia* (tiene causalidad y direccionalidad temporal).

De acuerdo con lo anterior, es posible considerar cómo las actuaciones políticas de la sociedad, en un ámbito socioecológico, pueden propiciar la generación de reglas (ideas) ya no exclusivamente desde el nivel micro, sino desde el nivel meso y macro, y aun así acoger la ontología de Dopfer, la epistemología de Campbell y los principios de la genética de poblaciones que pueden alimentar un enfoque basado en agentes utilizado para un modelado de la dimensión de las decisiones humanas.

Desarrollo a escala humana: necesidades, satisfactores y bienes económicos

Para abordar los aspectos que fundamentan las decisiones humanas (como dimensión de los sistemas socioecológicos ilustrados en la figura 1), es necesario destacar las diferencias conceptuales entre necesidades, satisfactores y bienes económicos. En la tabla 2 se presenta la matriz de necesidades y satisfactores propuesta por Max-Neef (1994), según la cual propone que:

Esta combinación permite operar con una clasificación que incluye, por una parte, las necesidades de Ser, Tener, Hacer y Estar; y, por la otra, las necesidades de Subsistencia, Protección, Afecto, Entendimiento, Participación, Ocio, Creación, Identidad y

Tabla 1. Fases y niveles del conocimiento de Dopfer

Fase 1: origen de la idea (regla)	Variación-innovación Generación de la regla	Micro
	Selección y adopción en la población	Meso
	Coordinación de la estructura de reglas	Macro
Fase 2: adopción de la idea (regla)	Adopción, aprendizaje y adaptación de la regla a la base de conocimiento individual o socialmente organizada	Micro
	Adopción y selección a nivel poblacional Elección de rutas	Meso
	Re-coordinación de la estructura de reglas	Macro
Fase 3: retención de la idea (regla)	Generación de hábitos y rutinas	Micro
	Retención y estabilización en la población	Meso
	Coordinación de la estructura de reglas	Macro

Fuente: Dopfer, 2005.



Libertad. [...] De la clasificación propuesta se desprende que, por ejemplo, alimentación y abrigo no deben considerarse como necesidades, sino como satisfactores de la necesidad fundamental de subsistencia. Del mismo modo, la educación (ya sea formal o informal), el estudio, la investigación, la estimulación precoz y la meditación son satisfactores de la necesidad de entendimiento (p. 41).

En consecuencia, Max-Neef formula dos postulados:

Primero: *Las necesidades humanas fundamentales son finitas, pocas y clasificables.*
 Segundo: *Las necesidades humanas fundamentales (como las contenidas en el sistema propuesto) son las mismas en todas las culturas y en todos los períodos históricos. Lo que cambia, a través del tiempo y de las culturas, es la manera o los medios utilizados para la satisfacción de las necesidades* (p. 42). [Las cursivas son del original]

Tabla 2. Matriz de necesidades y satisfactores

Necesidades según categorías existenciales Necesidades según categorías axiológicas	Ser	Tener	Hacer	Estar
SUBSISTENCIA	1/ Salud física, salud mental, equilibrio, solidaridad, humor, adaptabilidad	2/ Alimentación, abrigo, trabajo	3/ Alimentar, procrear, descansar, trabajar	4/ Entorno vital, entorno social
PROTECCION	5/ Cuidado, adaptabilidad, autonomía, equilibrio, solidaridad	6/ Sistemas de seguros, seguridad social, sistemas de salud, legislaciones, derechos, familia, trabajo	7/ Cooperar, prevenir, planificar, cuidar, curar, defender	8/ Contorno vital, contorno social, morada
AFECTO	9/ Autoestima, solidaridad, respeto, tolerancia, generosidad, receptividad, pasión, voluntad, sensualidad, humor	10/ Amistades, parejas, familia, animales domésticos, plantas, jardines	11/ Hacer el amor, acariciar, expresar emociones, compartir, cuidar, cultivar, apreciar	12/ Privacidad, intimidad, hogar, espacios de encuentro
ENTENDIMIENTO	13/ Conciencia crítica, receptividad, curiosidad, asombro, disciplina, intuición, racionalidad	14/ Literatura, maestros, método, políticas educativas, políticas comunicacionales	15/ Investigar, estudiar, experimentar, aduar, analizar, meditar, interpretar	16/ Ambitos de interacción formativa: escuelas, universidades, academias, agrupaciones, comunidades, familia
PARTICIPACION	17/ Adaptabilidad, receptividad, solidaridad, disposición, convicción, entrega, respeto, pasión, humor	18/ Derechos, responsabilidades, obligaciones, atribuciones, trabajo	19/ Afiliarse, cooperar, proponer, compartir, dialogar, acordar, opinar	20/ Ambitos de interacción participativa: cooperativas, asociaciones, iglesias, comunidades, vecindarios, familia

Necesidades según categorías existenciales Necesidades según categorías axiológicas	Ser	Tener	Hacer	Estar
OCIO	21/ Curiosidad, receptividad, imaginación, despreocupación, humor, tranquilidad, sensualidad	22/ Juegos, espectáculos, fiestas, calma	23/ Divagar, abstraerse, soñar, añorar, fantasear, evocar, relajarse, divertirse, jugar	24/ Privacidad, intimidad, espacios de encuentro, tiempo libre, ambientes, paisajes
CREACION	25/ Pasión, voluntad, intuición, imaginación, audacia, racionalidad, autonomía, inventiva, curiosidad	26/ Habilidades, Destrezas, método, trabajo	27/ Trabajar, inventar, componer, diseñar, interpretar	28/ Ambitos de producción y retroalimentación, talleres, ateneos, agrupaciones, audiencia, espacios de expresión, libertad temporal
IDENTIDAD	29/ Pertenencia, coherencia, diferencia, autoestima, asertividad	30/ Símbolos, lenguaje, hábitos, costumbres, grupos de referencia, sexualidad, valores, normas, roles, memoria histórica, trabajo	31/ Comprometarse, construir, idear, definirse, conocerse, reconocerse, actualizarse, crecer	32/ Socio-ritmos, entomas de la cotidianidad, ámbitos de pertenencia, etapas madurativas
LIBERTAD	33/ Autonomía, autoestima, voluntad, pasión, asertividad, apertura, determinación, audacia, ebeldia, tolerancia	34/ Igualdad de derechos	35/ Discrepar, opear, diferenciarse, arriesgar, conocerse, asumirse, deobedeer, meditar	36/ Plasticidad espacio-temporal

Fuente: Max-Neef (1994, pp. 58-59).



De esta manera, aunque las necesidades humanas básicas permanecen constantes independientemente del modo económico y político reinante en cada sociedad, cada cultura define y selecciona la calidad y la cantidad de sus satisfactores. Así, al existir diferentes satisfactores, Max-Neef no se refiere a la pobreza, sino a las pobrezas en virtud de la carencia de uno o más satisfactores, y a la existencia de más de una necesidad. Bajo estos criterios, el autor advierte la escasez de políticas de desarrollo orientadas hacia la satisfacción de las necesidades humanas fundamentales que trasciendan la racionalidad económica convencional e implican al ser humano en su totalidad:

Las necesidades revelan de la manera más apremiante el ser de las personas, ya que aquél se hace palpable a través de éstas en su doble condición existencial: como carencia y como potencialidad. Comprendidas en un amplio sentido, y no limitadas a la mera subsistencia, las necesidades patentizan la tensión constante entre carencia y potencia tan propia de los seres humanos (Max-Neef, 1994, p. 49).

En resumen, las necesidades no solo son carencias, sino también, y simultáneamente, potencialidades humanas individuales y colectivas. Los satisfactores son formas de ser, tener, hacer y estar, de carácter individual y colectivo, conducentes a la actualización de las mismas necesidades. Los bienes económicos, por último, son objetos y artefactos que permiten afectar la eficiencia de un satisfactor, alterando así el umbral de actualización de una necesidad, ya sea en sentido positivo o negativo. En este punto, como bien lo expresa Max-Neef (1994):

La construcción de una economía humanista exige, en este marco, un importante desafío teórico, a saber: entender y desentrañar la dialéctica entre necesidades, satisfactores y bienes económicos. Esto, a fin de pensar formas de organización económica en que los bienes potencien satisfactores para vivir las necesidades de manera coherente, sana y plena (p. 51).

Bajo este enfoque de desarrollo, es posible imaginar diferentes escenarios y reglas que posibiliten una intervención del territorio diferente a los desarrollos económicos tradicionales del territorio, que ameritan un modelado para diferentes visiones, compatibles con un desarrollo a escala humana.

Mojana: un caso de estudio

Para ilustrar lo expuesto, se presenta a continuación un resumen del modelo Mojana, que se trata de un ejercicio exploratorio en su versión preliminar, cuyo objetivo fue analizar, desde una óptica evolutiva, las dinámicas del territorio de la ecorregión de la Mojana, localizada en jurisdicción de los departamentos de Sucre, Bolívar, Córdoba y Antioquia (Colombia). Dicha zona resulta de especial interés debido a su condición de delta hídrico interior, que la ha convertido en un territorio de gran riqueza ambiental, lo cual contrasta con los elevados niveles de pobreza y la baja eficiencia de las instituciones públicas.

En el modelo se puede observar la influencia que ejercen los periodos de inundación en los grupos sociales y en el territorio. Para ello, los agentes fueron caracterizados según su condición de habitar

(i. e., anfibia o agrícola), su temporalidad en el territorio (i. e., buscador o asentado) y su clase social (i. e., alta, media y baja).

Además, los agentes integran rutinas de búsqueda, asentamiento, cultivo, reproducción y adaptación que les permiten interactuar con el territorio y entre ellos mismos.

Mojana trata de integrar tres submodelos: territorio, agentes e inundación (véase la figura 2), y de este modo permite simular fenómenos naturales, sociales y su interacción. Su construcción se realizó con base en la teoría Blind Variation Selection Retention (BVSR) propuesta por Campbell (1974), articulando los niveles micro, meso y macro de acuerdo con la propuesta de Dopfer (2004); los resultados evidencian la versatilidad de la aplicación en el modelado de sistemas complejos que cambian en el tiempo.

El territorio está modelado como un autómata celular cuyas celdas albergan un valor (i. e., *grain-here*) que representa la riqueza de dicha unidad territorial, medida no solo en términos de recursos naturales, sino también en elementos humanos como infraestructura y servicios, entre otros.

El territorio tiene capacidad de regeneración, por tanto, la cantidad de grano que se consume puede ser recuperada en el tiempo.

Las poblaciones humanas están representadas por un sistema de agentes que toman provecho del territorio para mejorar su riqueza acumulada ⁴(i. e., variable *wealth*); sin embargo, la no adaptación puede degradarla. La interacción de los agentes con el territorio conlleva al mejoramiento o empobrecimiento de este.

Otro autómata celular simula una inundación que se produce periódicamente. El nivel de agua (i. e., variable *water*) en las unidades territoriales puede ser atractivo o repulsivo para los agentes. Dependiendo de la adaptación del agente al agua, esta degrada o no su bienestar.

La presencia periódica de la inundación, la capacidad de regeneración y modificación del territorio, sumadas a la posibilidad de cambio en los agentes hacen que Mojana se caracterice por exhibir un entorno variante en el tiempo.

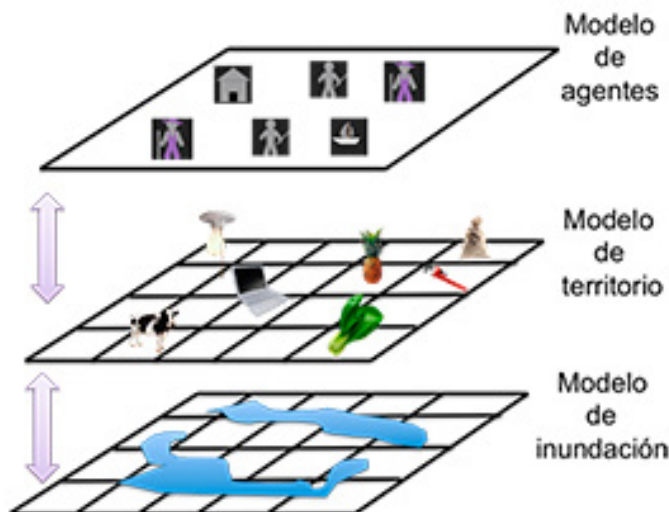


Figura 2. Submodelos Mojana
Fuente: Melgarejo, Pérez & Villegas, 2014.

⁴ Por riqueza acumulada se entiende la cantidad de grano que acumula el agente y puede ser representada no solamente en términos económicos, sino también en términos de bienestar.



Los atributos que tienen los agentes se presentan en la tabla 3 y están relacionados con la edad, la cantidad de riqueza,

la esperanza de vida y las características que toman a lo largo de su vida.

Tabla 3. Atributos de los agentes en Mojana

<i>Atributo</i>	<i>Descripción</i>
Age	Edad del agente
Wealth	Cantidad de riqueza que un agente tiene
Life-expectancy	Máxima edad que un agente puede llegar a tener
Metabolism	Cantidad de riqueza que un agente puede llegar a consumir
Stay-counter	Tiempo de establecimiento de un agente en una parcela
Patience-counter	Tiempo de búsqueda de un agente
Speed	Velocidad del agente

Fuente: propia del proyecto.

Dentro del modelo Mojana se consideran dos tipos de agentes que emulan el comportamiento de la población en la ecorregión: agrícolas y anfibios. Al comienzo, el sistema inicializa el número total de agentes (agrícolas y anfibios) para cada uno de los cuales las rutinas son las mismas por población (i. e., buscar, moverse, asentarse, reproducirse y morir).

La principal diferencia entre los dos tipos de agentes consiste en que el proceso de asentarse depende de la condición del territorio (i. e., seco o inundado).

Las rutinas están predefinidas en función de la riqueza de las parcelas; no obstante, su incremento y estabilidad dependen adicionalmente de la velocidad de búsqueda y de la riqueza acumulada. Asimismo, éstas últimas dan lugar a la con-

figuración de tres clases sociales: alta, media y baja. Cuando el tiempo de búsqueda de un agente se agota, este puede cambiar su condición de anfibio a agrícola o viceversa. El agotamiento es función de presiones selectivas del ambiente sobre el agente. Algunos de los resultados y de los comportamientos observados en el modelo Mojana se resumen a continuación.

En la figura 3 se observan las gráficas de Mojana luego de una simulación de 16.400 generaciones, donde *A* muestra que el índice de adaptación para la clase económica baja (en el modelo), luego de ser inicializado, crece para mantenerse por encima de las demás clases sociales; esta característica se mantuvo constante para diferentes condiciones iniciales del modelo. En la gráfica *B* se aprecia que las velocidades promedio de las clases



sociales, aunque varían en el tiempo, muestran tendencias claramente establecidas, donde la clase baja es la más lenta y la clase alta es la más rápida.

En C es posible percibir que aunque los tipos de población anfibios y agrícolas fluctúan (en función de las inundaciones), se nota una tendencia a la confluencia.

Por otra parte, de la gráfica D se concluye que, a pesar de lo que se esperaría, la cantidad de grano (riqueza) en el modelo aumenta con el tiempo. Lo anterior permite percibir que a través de variaciones ciegas o no teleológicas de las condiciones del modelo emergen tendencias y estructuras difícilmente apreciables en otro escenario de simulación.

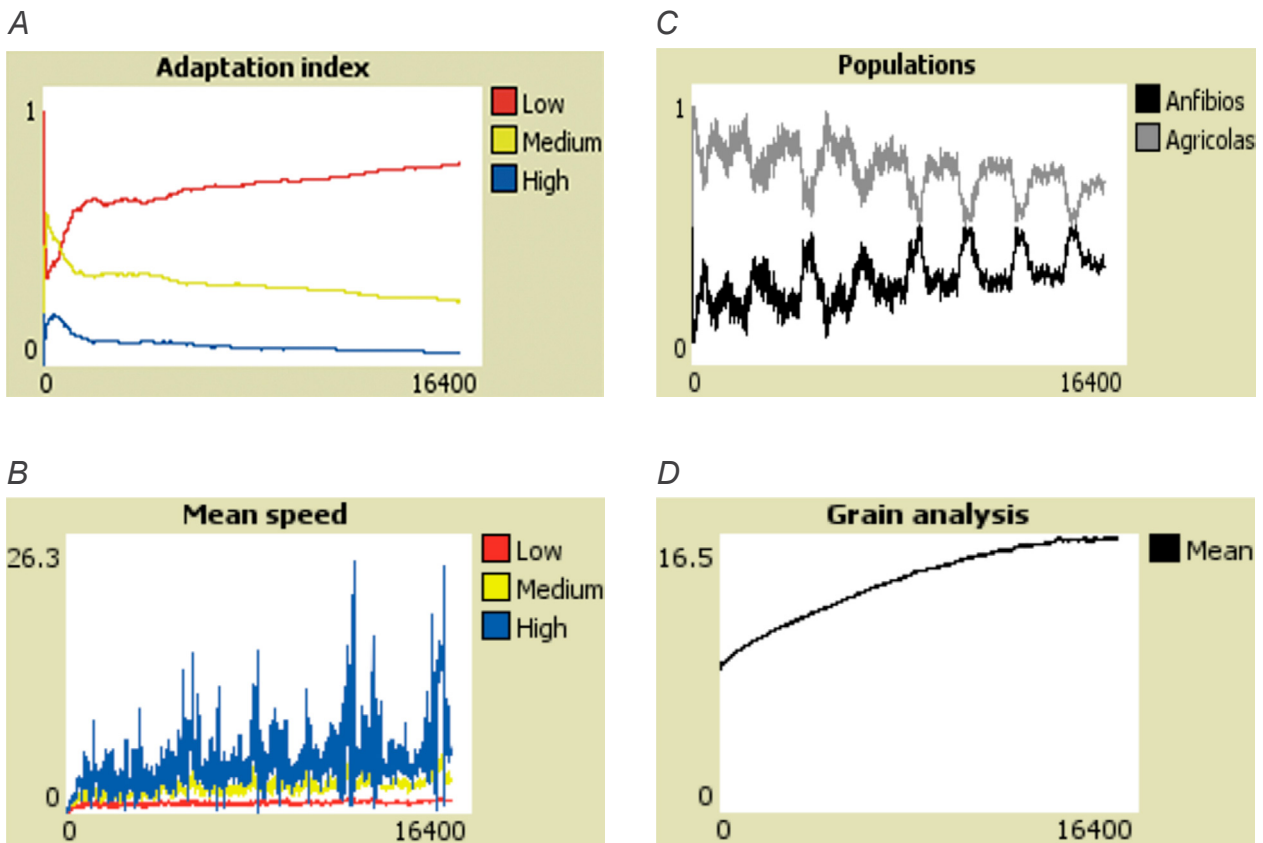


Figura 3. Variación y adaptabilidad en Mojana: a) índice de adaptación; b) velocidad promedio por clase social; c) tamaño de las poblaciones en el tiempo; d) cantidad de grano en el tiempo
Fuente: propia del proyecto.



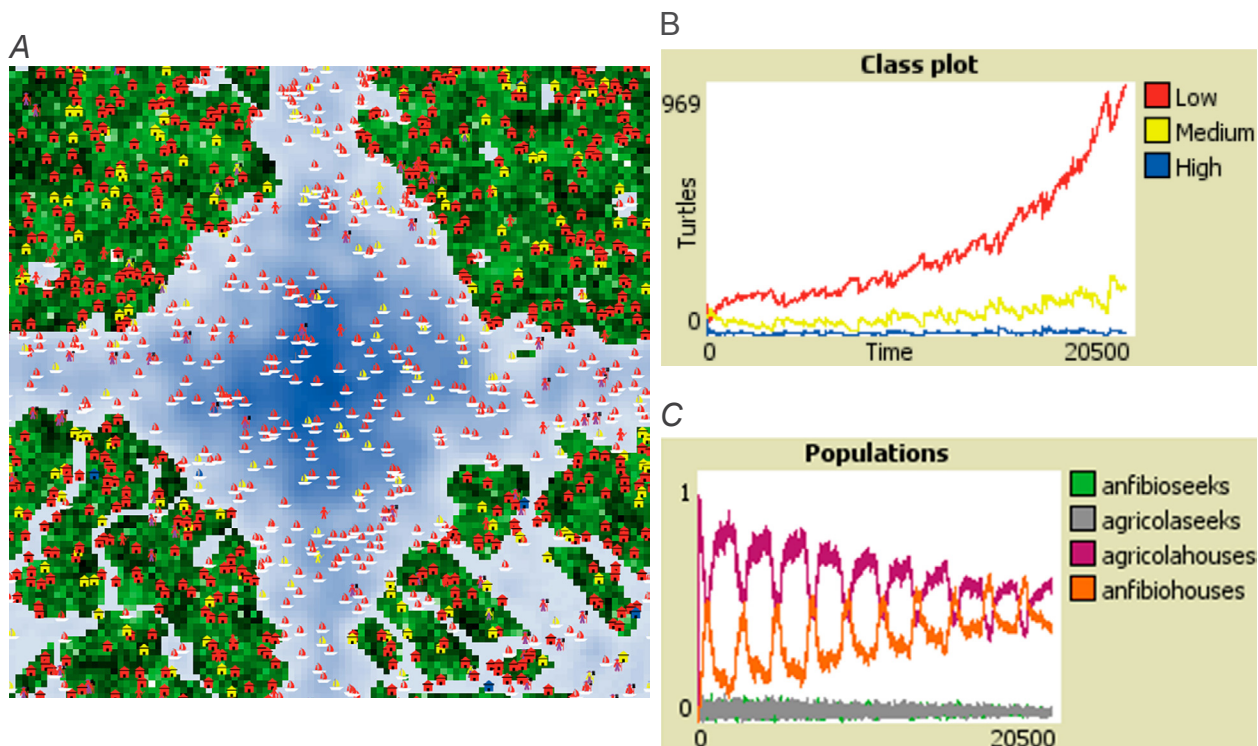


Figura 4. Evolución de la cantidad de agentes: a) en el territorio; b) por clases sociales y c) por tipos. Lluvia *rainfall* = 0,15.

Fuente: propia del proyecto.

En la figura 4, gráfica B, se observa cómo la clase social baja predomina con el paso del tiempo. En C se observa cómo predominan los pobladores agrícolas asentados, dado que existe mayor cantidad de territorio sin agua. Un comportamiento similar tiene actualmente la región, donde los niveles de pobreza son muy altos, reflejados en un NBI promedio de 64,4 con una cantidad de terratenientes baja.

Sobre los datos y atributos de un modelado integrado para la visión de territorio (ejemplo caso Mojana)

Es preciso aclarar que la ecorregión de la Mojana se trata aquí a manera de

ejemplo porque en ella ya se inició un proceso exploratorio; sin embargo, los posibles casos de estudio son diversos y pueden estar ubicados en diferentes regiones del país, dentro de los cuales hay algunos de interés particular debido a su localización, sus problemáticas, su complejidad y la disponibilidad de información:

- El tema de la calidad de la vivienda en Ciudad Bolívar y Usme en Bogotá.
- La explotación minera y agrícola en la cuenca alta del río Chicamocha en Boyacá.
- Los efectos del cambio de normatividad de uso del suelo en el desarrollo de las unidades de planeamiento zonal de Calandaima y Usaquén en Bogotá.

Datos

En Mojana, por ejemplo, la información asociada a los recursos en las parcelas y el territorio en general, las lluvias y las inundaciones, deberá ser soportada en una cartografía, un modelo digital del terreno y un SIG que permita la georreferenciación de la información actualizada (tanto de los procesos biofísicos como humanos) y la operación de los agentes (población).

Variables

Particularmente en Mojana, las variables están orientadas a simular los comportamientos de los individuos de los cuales se desprenden tendencias, procesos, fenómenos y relaciones que pueden ser observados desde el modelo, pero, igualmente, las variables podrían estar orientadas a describir fenómenos de otros tópicos de interés.

Conclusiones

- En Mojana se logró la compaginación de las diferentes escalas espaciales para

el territorio, la inundación y la actuación de los agentes a través de la parcela como unidad de observación. En el caso de la escala temporal, también se logró sincronizar las resoluciones temporales para territorio y agentes, mientras que para las inundaciones se requiere una mejor articulación, que puede ser incorporada mediante el uso de series de tiempo de lluvias, por ejemplo.

- El modelo permite percibir reglas y comportamientos emergentes ocultos, que no se hacen evidentes en las condiciones iniciales.
- Los sistemas basados en agentes resultan ser una herramienta útil para la generación de escenarios en el marco de la planeación participativa y en la toma de decisiones.
- Este ejercicio de simulación abrió la ventana de una perspectiva diferente al análisis de sistemas sociales desde la ingeniería, dado que provee un marco de entendimiento algorítmico y soportado en procesos.





Bibliografía

- Agarwal, C., Green, G., Grove, J., Evans, T. & Schweik, C. (2002). *A Review and Assessment of Land-Use Change Models: Dynamics of Space, Time, and Human Choice*. Gen. Tech. Rep. NE-297. Newtown Square, PA: U.S. Department of Agriculture (USDA), Forest Service, Northeastern Research Station. Recuperado de http://www.wgianalytics.net/wgitransport/docs/comparisons/USDA_Review.pdf.
- Berkes, F. & Folke, C. (1998). Linking social and ecological systems for resilience and sustainability. En Berkes, F. y Folke, C. (Eds.). *Linking social and ecological systems: management practices and social mechanisms for building resilience* (pp. 1-26). Cambridge, UK: University Press.
- Campbell, D. (1974). Evolutionary Epistemology. In: Schilpp, P. (Ed.), *The Philosophy of Karl Popper* (vol. 1, pp. 413-463). La Salle, IL: Open Court.
- Dopfer, K. (2004). The economic agent as rule maker and rule user: *Homo Sapiens Oeconomicus*. *Journal of Evolutionary Economics*, 14(2), 177-195. doi:10.1007/s00191-004-0189-9.
- Dopfer, K., Foster, J. & Potts, J. (2004). Micro-meso-macro. *Journal of Evolutionary Economics*, 14(3), 263-279. doi:10.1007/s00191-004-0193-0.
- Dopfer, K. (2005). Evolutionary economics: A theoretical framework. In K. Dopfer (Ed.), *The Evolutionary Foundations of Economics* (pp. 3-55). Cambridge: University Press.
- Epstein, J. M. (2008). Why Model? *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 11(4). Recuperado de <http://jasss.soc.surrey.ac.uk/11/4/12.html>.
- Heidegger, M. (1975). Construir, habitar, pensar. *Revista Teoría*, 5-6, 150-162. Recuperado de <http://www.revistateoria.uchile.cl/index.php/TRA/article/viewFile/41564/43080>.
- Koen, B. V. (2003). Some thoughts on engineering; The principal rule of the engineering method. In: *Discussion of the Method* (pp. 7-58). New York: Oxford University Press.
- Kroes, P. (2012). Engineering design. In: P. Kroes (Ed.), *Technical Artefacts: Creations of Mind and Matter* (pp. 127-161). Dordrecht: Springer.



Lapointe, G. (1998). Human nature, humanistic social systems and design. *Systems Research and Behavioral Science*, 15(3), 193-208. doi:10.1002/(SICI)1099-1743(199805/06)15:3<193::AID-SRES221>3.0.CO;2-A.

Max-Neef, M. (1994). *Desarrollo a escala humana: conceptos, aplicaciones y algunas reflexiones*. Barcelona: Icaria. Recuperado de https://www.max-neef.cl/descargas/Max_Neef-Desarrollo_a_escal_a_humana.pdf.

Melgarejo M. A., Pérez E. R. & Villegas P. A. (2014). *Modelo organizacional jerárquico de agentes naturales del agua*. Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana (pendiente de publicación).

Nelson, R. & Winter, S. (1982). *An Evolutionary Theory of Economic Change*. Cambridge, MA: Belknap/Harvard University Press.

Petroski, H. (1999, Oct. 19). Why No Engineering Nobel? *Asian Wall Street Journal*, 21, p. 6.

Petroski, H. (2009, Jan. 25). Want to Engineer Real Change? Don't Ask a Scientist. *Washington Post*, Outlook Section, p. B4.

Voinov, A. & Bousquet, F. (2010). Modelling with stakeholders. *Environmental Modelling & Software*, 25(11), 1268-1281. <http://doi.org/10.1016/j.envsoft.2010.03.007>.

Bibliografía consultada

Ackoff, R. & Gharajedaghi, J. (1996). Reflections on systems and their models. *Systems Research and Behavioral Science*, 13(1), 13-23.

Bello, A. (2004). *Etnicidad y ciudadanía en América Latina. La acción colectiva de los pueblos indígenas*. Santiago de Chile: CEPAL. Recuperado de <http://www.cepal.org/mujer/noticias/noticias/9/26089/libroetnicidadciudadania.pdf>.

Chayanov, A. (1974). *La organización de la unidad económica campesina*. Buenos Aires: Nueva Visión.

Heidegger, M. (2009). *Ser y tiempo*. Madrid: Trotta.





Jakeman, A. J. & Letcher, R. A. (2003). Integrated assessment and modelling: features, principles and examples for catchment management. *Environmental Modelling & Software*, 18, 491-501. Recuperado de <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.90.5792&rep=rep1&type=pdf>.

Johansen, O. (1992). *Introducción a la teoría general de sistemas*. México: Limusa.

Letcher, R., Jakeman, A., Barreteau, O., Borsuk, M., Elsworth, S., Hamilton, S., Henriksen, H. J., Kuikka, S., Maier, H., Rizzoli, A. E., Van Delden, D. & Voinov, A. (2013). Selecting among five common modelling approaches for integrated environmental assessment and management. *Environmental Modelling & Software*, 47, 159-181.

Miguel, A. (2011). *La teoría de la complejidad y el caos en la ciencia regional*. Oaxaca: Instituto Tecnológico de Oaxaca.

Oakes, T. (1997). Place and the paradox of modernity. *Annals of the Association of American Geographers*, 87(3), 509-531. Recuperado de <http://spot.colorado.edu/~toakes/Paradox.pdf>.

Sack, R. (1986). *Human territoriality: its theory and history*. Cambridge: University Press.

Schwaninger, M. (2010). Model-based management (MBM): a vital prerequisite for organizational viability. *Kybernetes*, 39(9/10), 1419-1428. Recuperado de https://www.alexandria.unisg.ch/209537/1/222_Model-based_management_Kybernetes%202010.pdf.

