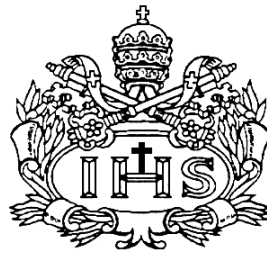


**ESTÉTICA Y MODELOS COMPUTACIONALES
PARA ANALIZAR DINÁMICAS URBANAS**



Estefania Vega Garcia

**Pontificia Universidad Javeriana
Facultad de Arquitectura y Diseño
Carrera de Arquitectura
Bogotá D.C.
2013**

**ESTÉTICA Y MODELOS COMPUTACIONALES
PARA ANALIZAR DINÁMICAS URBANAS**



Estefania Vega Garcia
Trabajo de Grado para optar por el título de Arquitecta.

Director: Raúl Niño Bernal

Pontificia Universidad Javeriana
Facultad de Arquitectura y Diseño
Carrera de Arquitectura
Bogotá D.C.
2013

Nota de Advertencia: **Artículo 23 de la Resolución N° 13 de Julio de 1946.**

“La Universidad no se hace responsable por los conceptos emitidos por sus alumnos en sus trabajos de tesis. Solo velará por qué no se publique nada contrario al dogma y a la moral católica y por que las tesis no contengan ataques personales contra persona alguna, antes bien se vea en ellas el anhelo de buscar la verdad y la justicia”.

*...Pero los conocimientos más valiosos,
Son los métodos...
Friedrich Nietzsche.¹*

¹ Nietzsche, F. 2008 *La voluntad de poder*. EDAF, Madrid p. 263

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	8
CAPÍTULO 1: ASPECTOS GENERALES DE LA INVESTIGACIÓN	11
<i>1.1 Planteamiento del Problema</i>	11
<i>1.2 Justificación</i>	18
<i>1.3 Objetivos</i>	19
<i>1.4 Hipótesis</i>	19
<i>1.5 Alcance</i>	19
CAPÍTULO 2: METODOLOGIAS HEURÍSTICAS PARA ANALIZAR DINÁMICAS URBANAS	20
<i>2.1 Teorías estéticas y de complejidad</i>	22
2.1.1 Ciudad como un Sistema Complejo	22
2.1.2 Dinámicas Urbanas.....	23
2.1.3 Modelos Computacionales.....	23
2.1.4 Prospectivas Estéticas.....	25
<i>2.2 Metodología heurística y modelación de problemas</i>	26
2.2.1 Metodología Heurística.....	26
2.2.2 Modelación de problemas.....	27
2.2.3 ¿Por qué modelar problemas?	29
<i>2.3 Modelación urbana a partir de metáforas.....</i>	31
2.3.1 Las Metáforas	32
<i>2.4 Sistema multiagentes y herramientas computacionales para analizar Dinámicas Urbanas</i>	35

2.4.1	Autómatas Celulares (CA)	35
2.4.2	Sistema Basado en Agentes (ABM)	40
2.4.3	Herramientas computacionales para analizar dinámicas urbanas	44
	- DUEM	44
	- URBANSIM (OPUS)	45
	- SLEUTH	46
	- NETLOGO	47
	- SIG (ArcGis y Envi)	49
2.5	<i>Experimento: Análisis computacional de crecimiento urbano, Villavicencio 1986-2012</i>	52
CAPÍTULO 3: PROSPECTIVAS ESTÉTICAS		68
3.1	<i>Ciudades y BigData</i>	69
3.2	<i>La Imagen numérica</i>	70
3.3	<i>Hacia una teoría científica de ciudades</i>	72
3.4	<i>Retos y desafíos para la planeación urbana</i>	73
CONCLUSIONES		76
BIBLIOGRAFÍA		82

TABLA DE FIGURAS

Figura 1: Diagrama plan urbano “Las Ciudades Jardín del Mañana” E. Howard 1902.....	13
Figura 2: Diseño plan urbano “La ville Contemporaine”, Le Corbusier 1922.....	13
Figura 3: Ciudades Fractales.....	16
A) Morfología de la población de Londres.	
B) Red de carreteras en Londres, coloreadas por su nivel de conectividad.	
Figura 4: Ilustración Ciudades y Big Data.....	21
Figura 5: Proceso de modelado.....	24
Figura 6: Modelo celdas Autómatas Celulares.....	36
Figura 7: Tipos de vecindades.....	36
Figura 8: Tiempos de cambio Autómatas Celulares.....	37
Figura 9: Celdas de autómatas geográficos.....	38
Figura 10: Vecindad Extendida de Moore.....	38
Figura 11: Autómatas Celulares aplicados a un esquema urbano.....	39
Figura 12: Esquema proceso de abstracción y construcción de un modelo de agentes.....	40
Figura 13: Esquema de agentes en interacción con autómatas.....	43
Figura 14: Interfaz Software DUEM.....	44
Figura 15: Modelo UrbanSim, dinámica de sistemas.....	45
Figura 16: Interfaz Software UrbanSim.....	46
Figura 17: Aplicación SLEUTH.....	47
Figura 18: Interfaz Netlogo.....	48
Figura 19: Esquema SIG.....	49
Figura 20: Interfaz Software ArcGis.....	50
Figura 21: Interfaz Software Envi.....	51
Figura 22: Pagina web para búsqueda de imágenes LANSAT.....	53
Figura 23: Pre visualización de imágenes satelitales para descarga.....	54
Figura 24: Carga y agrupación de bandas en Envi.....	55
Figura 25: Recorte de área de estudio en ArcGis.....	56
Figura 26: Clasificación ROI en Envi.....	57
Figura 27: Formato vectores.....	58
Figura 28: Calcular cambios en ArcGis.....	59
Figura 29: Comparación crecimiento Villavicencio (1986 vs 1992) y (1992 vs 2000).....	60
Figura 30: Comparación crecimiento Villavicencio (2000 vs 2007) y (2007 vs 2012).....	61
Figura 31: Comparación crecimiento Villavicencio (1986 vs 2012).....	62
Figura 32: La Imagen Numérica. Codificación de datos en un mapa raster.....	63
Figura 33: Reducción de Granularidad, identificación autómatas celulares.....	64
Figura 34: Identificación cobertura de autómatas.....	65
Figura 35: Identificación de Autómatas por cada año.....	65
Figura 36: Vecindad de Moore para cálculo de probabilidades.....	66
Figura 37: Cálculo de vecinos y probabilidades por años.....	66
Figura 38: Resultado cálculo de probabilidades por años.....	67
Figura 39: Visualización de dinámicas urbanas de Foursquare.....	68

INTRODUCCIÓN

*“La ciudad... no se trata de un sistema que se planea y se traza, como una decisión de proyectación, de política o de norma; se trata en cambio de un sistema que emerge.”
(Hernández, Hernández, Niño 2012 p.71)*

En las últimas décadas vivimos el nacimiento de una corriente científica que se ha encargado de estudiar de manera interdisciplinar los sistemas complejos que se caracterizan por su inestabilidad, indeterminación, autoorganización y continua evolución, -organizaciones sociales, gobiernos, mercados, empresas, ciudades y ecosistemas naturales-

Para comprender la naturaleza de estas múltiples relaciones, las ciencias de la complejidad se apoyan en un andamiaje teórico y metodológico producto del trabajo interdisciplinar, donde ya no existen los límites entre las ciencias exactas y las ciencias humanas, ni las contradicciones entre teoría y práctica, filosofía y ciencia; en esta nueva perspectiva, las dicotomías deben ser miradas como complementarias, bajo una visión integradora, que marca una ‘nueva alianza’ para la producción de conocimiento. (Hernández, et al. 2012 p.70)

Las ciudades como máxima expresión de un sistema complejo están conectadas en diferentes niveles, en un intercambio constante de información, materia y energía; los flujos continuos se encuentran lejos del equilibrio, son inestables, variados, lo que permite la emergencia de nuevas formas de habitar, de múltiples entidades y experiencias urbanas que colapsan, se adaptan, transforman y generan patrones de distribución aleatorios, lo que nos permite decir que las ciudades están autoorganizadas y es nuestro propósito descifrar ese orden.

En consecuencia con lo anterior la vida, los seres humanos y las organizaciones, son entidades donde los pronósticos tienen una función muy limitada y es esta imposibilidad de predicción absoluta lo que justifica una formación en la complejidad para tratar de comprender el comportamiento y la naturaleza interna de estos procesos. (Morin citado en Cabrera y Hernández, 2011)

En este contexto, este trabajo de investigación teórica busca aproximarse al estudio de las dinámicas urbanas a través de la teoría de la complejidad, aplica conceptos, herramientas y métodos de diversas disciplinas, que permiten dar cuenta de un sinnúmero de variables a la vez; en este proceso, se destaca la aplicación de modelos computacionales que operan a partir de lenguajes matemáticos de programación y lógicas no lineales.

La implementación de modelos como método de análisis, es crucial a la hora de estudiar sistemas de creciente complejidad como la ciudad, ya que contribuyen a la construcción de un conocimiento cuantificable y científico en torno a las dinámicas urbanas. Gracias a estos, es posible experimentar, construir escenarios prospectivos y desarrollar teorías que apoyen la toma de decisiones en cuanto al diseño y la intervención del espacio urbano.

El trabajo se pregunta por los métodos y herramientas que nos permiten aproximarnos a la complejidad de las dinámicas urbanas, y a través de diferentes modelos y herramientas computacionales, la posibilidad para decodificar y cuantificar estas relaciones en sus múltiples niveles, en ese proceso, la metodología heurística es la base en la construcción de un nuevo andamiaje teórico y metodológico.

De esta manera, el trabajo se divide en tres capítulos: el primero, titulado *Aspectos generales de la investigación* donde se plantea el problema de estudio, la justificación, objetivos, hipótesis y alcance; en el segundo *Metodologías Heurísticas para analizar dinámicas urbanas* comienza con el desarrollo del marco teórico, se explican algunos conceptos y teorías de la complejidad, se presenta la metodología heurística y la modelación de problemas urbanos y el estudio de las metáforas y herramientas computacionales en el análisis de las dinámicas urbanas y su experimentación; en el capítulo tres *Prospectivas estéticas* se plantean los escenarios futuros a partir del desarrollo de esta investigación y como conducen hacia una teoría científica de ciudades, junto con los retos y desafíos para el campo de la planeación urbana.

Para mí es un honor y todo un desafío presentar estos temas para su conocimiento; la planeación urbana y el futuro de las ciudades, se lanza al viento como una pregunta retórica... desde mi lugar de producción, sigo las pistas en este escabroso laberinto, confiada en no caer en posturas pretenciosas, ni mucho menos ingenuas, pero lo suficientemente sólidas para aportar los mejores insumos y comenzar la construcción de nuevos caminos - que según Michael Batty- demarcarán las transformaciones disciplinares para un nuevo milenio.

Estefanía Vega García

Diciembre de 2013

CAPÍTULO 1:

ASPECTOS GENERALES DE LA INVESTIGACIÓN

Siempre he creído que, como nuestro entendimiento de las ciudades mejora, vamos a ser más sabios acerca de las maneras en cual tenemos que intervenir en su crecimiento y funcionamiento.

En consecuencia, los enfoques de la planificación urbana se convertirá entonces en mucho menos intrusivos que los que han dominado el diseño y gestión de las ciudades en todo el siglo pasado....

Se requiere un cambio radical en la manera de pensar y estudiar las ciudades.

- Michael Batty, 2007

1.1 Planteamiento del Problema

Los avances en campos de ciencia y tecnología trajeron consigo el desarrollo de nuevas herramientas y métodos que desvanecieron por completo los límites entre las áreas del conocimiento. La incorporación de modelos computacionales en el estudio de las dinámicas urbanas, nos permite acceder a nuevos niveles de información, y a partir de estos, construir un andamiaje teórico y metodológico para comenzar a comprender el funcionamiento complejo de las ciudades.

El propósito de este trabajo es explorar las fronteras del conocimiento, los esfuerzos conjuntos que se han venido desarrollando desde diversas disciplinas para el estudio del comportamiento urbano, y de esta manera, tratar de develar nuevas rutas y caminos que contribuyan a una mejor toma de decisiones en cuanto a la planeación y la intervención de los espacios urbanos.

En este sentido, la complejidad de la ciudad hasta ahora está siendo comprendida como condición de la evolución tecnológica y cultural, esto implica una postura radical sobre los enfoques de planeación urbana utópicos, idealista e impositivos, para dar paso a una nueva perspectiva, una planeación que emerge de procesos autopoieticos, que se hacen visibles gracias a la capacidad de las herramientas computacionales de acceder a micro niveles de información.

Antecedentes.

Durante el siglo XIX y buena parte del XX el enfoque de urbanistas y estudiosos de las ciudades era *arriba hacia abajo*² esta mirada consistía en aproximarse a los fenómenos de las ciudades e imponer un orden en todo aquello que se consideraba caos y desorden; este enfoque hace referencia a la manera impositiva de planear o diseñar el espacio urbano, basado en la preconcepción de ideologías y utopías. En el siglo XXI esta visión ha desaparecido por completo y la aproximación a los enfoques de planeación se ha dado de *abajo hacia arriba*, bajo la noción de que todas las ciudades están ordenadas, y es nuestro propósito comprender ese orden y mejorarlo de alguna forma. (Batty, 2011)

A continuación se amplían estas ideas.

De arriba hacia abajo

Los pensadores sociales, durante el siglo XIX, maldecían el crecimiento de las ciudades; William Morris en sus escritos habla del “infierno de Londres y Manchester” y de “los miserables suburbios que se expandieron por todas nuestras hermosas y más antiguas ciudades” afirma Michael Batty que “estos sentimientos dominaron nuestra aproximación a las ciudades y su planeación hasta nuestros días: las ciudades se siguen viendo como una manifestación del desorden y el caos que requiere un control mediante la imposición de planes geométricos idealizados.” (Batty, 2008, p. 760)

Un claro ejemplo de estas preconcepciones ideológicas lo encontramos en la época temprana del urbanismo a comienzos del siglo XX con las propuestas de Ebenezer Howard, “La Ciudad Jardín”, un centro urbano diseñado para que las personas tuvieran una vida tranquila y productiva entorno a un cinturón vegetal, esta propuesta se caracterizaba por un crecimiento controlado de ocupación y uso del suelo en proporción 3 a 1 y leyes claramente definidas en cuanto a la ubicación, distribución de recursos y número de habitantes.

² Traducción propia de los términos “Top –down” (Arriba hacia abajo) y “Bottom – up” (Abajo hacia arriba) empleados por Jane Jacobs (1973), Michael Batty, (2005, 2011)

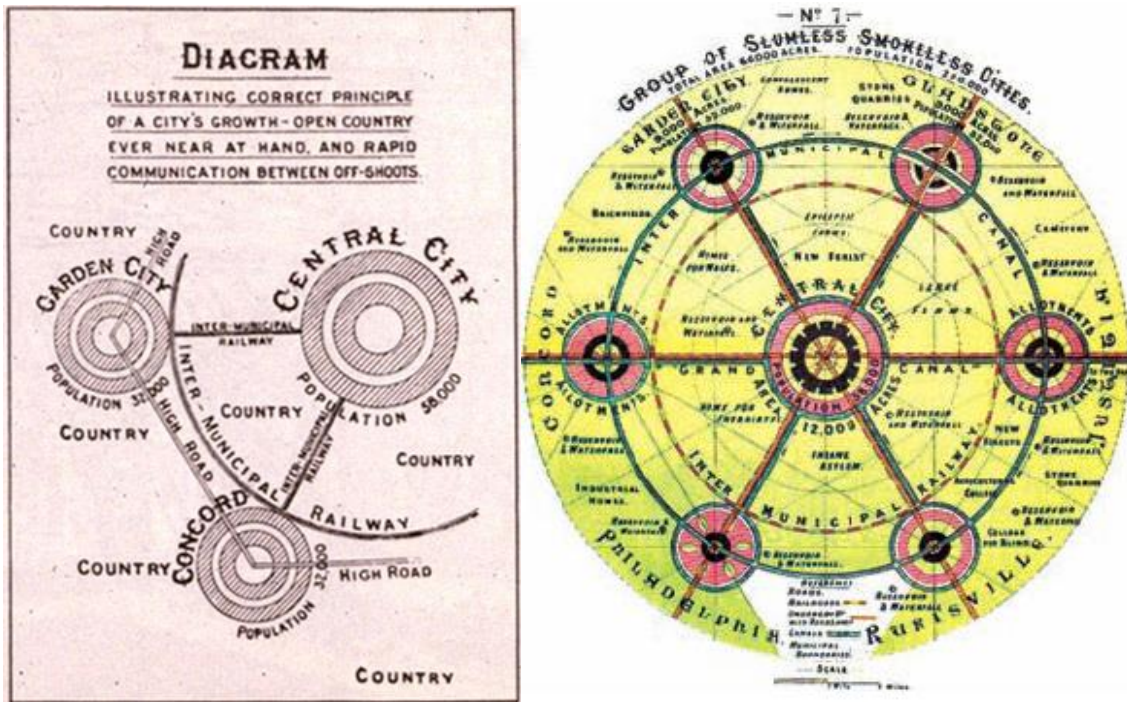


Figura 1:
Diagrama plan urbano “Las Ciudades Jardín del Mañana” Ebenezer Howard 1902
 Recuperado de: http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/0/0f/Lorategi-hiriaren_diagrama_1902.jpg
http://classconnection.s3.amazonaws.com/489/flashcards/877489/jpg/garden_city_movement1328588524286.jpg

No lejos de esto, a mediados del siglo XX se encuentran planes que siguen la línea de sus predecesores. Un ejemplo el proyecto “La ville Contemporaine” de Le Corbusier, un plan urbano diseñado para tres millones de habitantes en 1922, conformado por sesenta rascacielos con forma de cruz con grandes parques en primer piso y amplias autopistas que le dan prioridad al automóvil como medio de transporte.

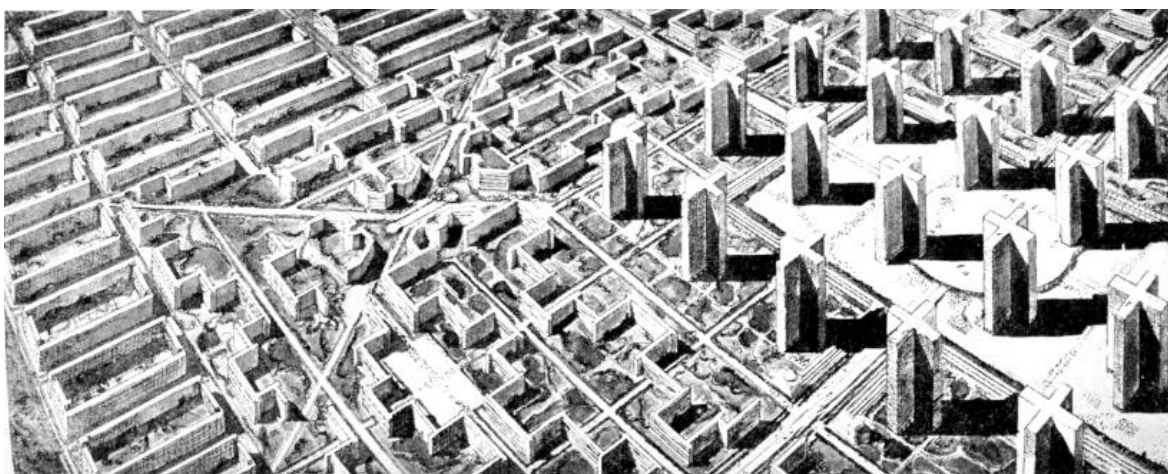


Figura 2:
Diseño plan urbano “La ville Contemporaine”, Le Corbusier 1922
 Recuperado de: <http://blog.aberrance.com/wp-content/uploads/2010/08/VilleRadiese1.jpg>

De abajo hacia arriba.

En la segunda parte del siglo XX y posterior a Le Corbusier, - aún en furor con sus postulados urbanos- , se levantan la voces de Françoise Choay y Jane Jacobs. Para Choy el urbanismo es una utopía y una realidad; esta historiadora de las teorías y de las formas urbanas, en su libro *Urbanismo: utopías y realidades* busca encontrar las raíces conceptuales y metodológicas del urbanismo, las cuales se han venido desarrollando en los últimos cien años entre la dicotomía utopía y realidad; para ella, las diferentes vertientes del urbanismo, “se caracterizan por una notoria despreocupación por el fenómeno urbano en sus características reales, y orientadas principalmente a la formulación de utopías sociales y proyectos de ciudades ideales. Choay crítica a esta supuesta ciencia urbana, que más que ciencia, bordea los parámetros de la ideología.” (Choay, citada en Munizaga 1992, p24)

Por su parte Jane Jacobs al observar el fenómeno de crecimiento de las ciudades americanas, asfixiadas, víctimas de su propio éxito, hizo un llamado para actuar rápidamente bajo una perspectiva completamente diferente a la de muchos de sus contemporáneos y predecesores. En su libro *Muerte y vida de las grandes ciudades* y en sus escritos posteriores propone que el diseño y la planificación emergiera de forma ascendente es decir, de *abajo hacia arriba*, en una lógica completamente descentralizada, donde las personas que están en contacto con los problemas de una ciudad son las que saben cómo hacer frente a ellos. (Batty, 2005)

Este postulado abrió nuevos caminos sobre el entendimiento de las ciudades, nuevos conceptos de como la ciudad más allá de ser un espacio físico, un recipiente para las actividades humanas, se constituye en un organismo con vida propia donde una cantidad inconmensurable de variables que emergen se interrelacionan y cambian constantemente conformando un todo orgánico pero no de manera desordenada, con un orden interno. (Jacobs, 1973) Es decir, estos sistemas emergen sin un plan específico y sin leyes determinadas, pero esta red interconectada se organiza exhibiendo un comportamiento inteligente. Más adelante, junto a Jacobs en sus postulados estaba Christopher Alexander, el también reconoció este orden interno, y comprendió la evolución ascendente *abajo hacia arriba* de los sistemas de las ciudades, al igual que las implicaciones para el diseño urbano, la sugerencia fue “que los enfoques de planificación y de gestión necesitan ser tan orgánicos como la ciudad misma.” (Baynes, 2009, 216)

Ahora bien, ¿Cómo aproximarnos teórica y metodológicamente a esta nueva manera de comprender las ciudades? ¿Desde qué perspectiva estudiar estas múltiples dinámicas y relaciones? *¿Qué tipo de problema es una ciudad?*

Esta última pregunta la planteó Jacobs inspirada por los escritos de Warren Weaver (1948), de los cuales sugirió que los sistemas pueden ser clasificados de acuerdo con tres tipos de problemas: problemas simples, problemas en complejidad desorganizada y problemas de complejidad organizada, esta última categoría afirmó Weaver, constituye lo que sería la vanguardia de las ciencias para los próximos 50 años:

“Estos problemas - y una amplia gama de problemas similares en la biología, medicina, psicología, economía y ciencias políticas- son demasiado complicados como para someterse a las antiguas técnicas del siglo diecinueve que tuvieron un éxito rotundo en problemas simples de dos, tres y cuatro variables.

Por otra parte, estos nuevos problemas no se pueden manejar con las técnicas estadísticas tan eficaces en la descripción de comportamiento promedio de los problemas de complejidad desorganizada... en los próximos 50 años, la ciencia debe aprender a lidiar con estos problemas de complejidad organizada.” (Weaver, citado en Batty, 2005 p. 3

Es así que la ciudad se constituye como el ejemplo por excelencia de complejidad organizada, no pasó mucho tiempo para que aquellos involucrados en las ciencias urbanas percibieran que la teoría por sí sola, no podría proveer más una mera descripción de estas fuerzas y comportamientos. Han pasado varios años desde los postulados de Warren, Jacobs, Choay y Alexander, y estas aproximaciones necesitarían tiempo y adeptos para continuar desarrollándose, nuevas miradas desde múltiples disciplinas para comprender la naturaleza de estos conceptos y sobre todo, metodologías y herramientas que permitan monitorear y analizar las dinámicas urbanas a un nivel más preciso (Ver Fig.3) y comprender cómo este organismo emerge, se autoorganiza, se renueva constantemente, se adapta y evoluciona, creciendo lejos del equilibrio.

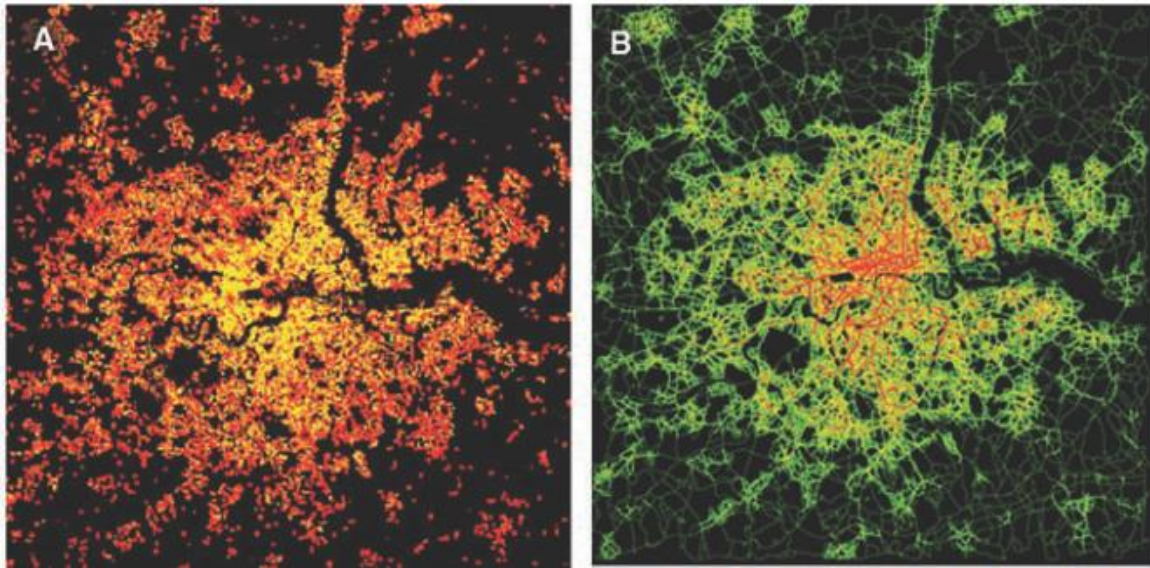


Figura 3: Ciudades Fractales.

A) Morfología de la población de Londres.

B) Red de carreteras en Londres, coloreadas por su nivel de conectividad.

Tomado de: Batty 2008,p.771

La ciudad un organismo viviente

La ciudad es un organismo viviente, un sistema emergente autoorganizado, que se renueva constantemente, se adapta y evoluciona, crece y se auto organiza lejos del equilibrio.

Este organismo se define por la complejidad de interacciones entre sus elementos, al igual que los sistemas naturales como los organismos pluricelulares, colonias de hormigas, ecosistemas, economías, sociedades, su estructura está compuesta por varios niveles y comparten las siguientes características

- “Los componentes de niveles jerárquicos inferiores suelen mostrar un grado de autonomía significativo.
- El comportamiento del sistema surge a partir de la auto-organización de sus componentes, sin que esta organización esté controlada ni dirigida por ningún ente exterior al sistema.
- Los componentes básicos de estos sistemas complejos (células, hormigas, individuos, poblaciones, empresas...) perciben su entorno y responden a cambios en él de forma potencialmente diferente.
- Muchos sistemas complejos son también adaptativos, en estos sistemas (organismos ecosistemas, economías, sociedades...) el comportamiento de los componentes básicos del sistema puede evolucionar en el tiempo, dando lugar a una cierta capacidad de respuesta frente a cambios en el entorno. Aprendizaje a escala individual, y poblacional.” (Izquierdo 2008 p. 91)

De acuerdo con esto la ciudad es un sistema compuesto de múltiples sistemas, estos están conectados en diferentes niveles en un intercambio constante de información, materia y energía; los flujos continuos se encuentran lejos del equilibrio, son inestables, variados, lo que permite la emergencia de nuevas formas de habitar, de múltiples entidades y experiencias urbanas que colapsan, se adaptan, transforman y generan patrones de distribución aleatorios.

Sin embargo, a pesar de este aparente caos, las ciudades como máxima expresión de un sistema complejo se caracterizan por su nivel de autoorganización, es decir, en el momento en que los sistemas se adaptan a las condiciones cambiantes del entorno, se producen fenómenos de renovación, de evolución y crecimiento. Para Michael Batty (2011) comprender este proceso de auto organización nos lleva a plantear que las ciudades están ordenadas, y es nuestro propósito descifrar ese orden, comprender mejor la naturaleza de esas interrelaciones, de los tiempos, de las escalas y la estructura subyacente de las dinámicas urbanas, que si bien, no sigue leyes determinadas, se organiza exhibiendo un comportamiento inteligente.

“La ciudad no es un sistema que se planea y se traza, como una decisión de proyectación, de política o de norma; se trata en cambio de un sistema que emerge.” (Hernández, et al. 2012 p.71) La emergencia se da gracias a la interacción de los diferentes sistemas a través de una red, donde el intercambio constante de información, energía y materia, genera un nivel de diversidad que hace posible la continua evolución, aumentando constantemente la complejidad del sistema.

Frente a estos elementos surgen los siguientes interrogantes, que guiarán el desarrollo de la investigación: ¿Cómo comprender la naturaleza cambiante de estas relaciones?, ¿Cómo estudiar las dinámicas de la ciudad en creciente complejidad? Y aún más, ¿Cómo decodificar y cuantificar esta información en sus múltiples niveles?

1.2 Justificación

El propósito de realizar un trabajo de investigación sobre aspectos metodológicos en el ejercicio de la Arquitectura responde a la necesidad de generar un mejor entendimiento de la naturaleza de los procesos urbanos. En las últimas décadas con la emergencia de las tecnologías de información y comunicación y el desarrollo de dispositivos electrónicos y sensores, la producción de datos es ilimitada, hoy en día se puede monitorear y acceder a la información de tránsito, los tiempos y el flujo de pasajeros, la transformación en la ocupación del suelo, la segregación en los centros poblados, las dinámicas entorno al comercio y los centros de entretenimiento, el uso de servicios públicos, consumo de recursos naturales y generación de desperdicios, distribución de población entre muchos otros

Lo anterior hace imperiosa la necesidad para los profesionales urbanos de interpretar, analizar, procesar y gestionar los grandes paquetes de datos *-Big Data-* que producen las dinámicas de las ciudades, para esto es necesario implementar nuevos mecanismos, metodologías y aproximaciones teóricas que permitan comprender la complejidad urbana y el comportamiento de un sinnúmero de variables.

Estudiar las dinámicas urbanas a través de metodologías heurísticas, permite diseñar una manera particular de abordar los problemas de estudio, ya que parte de una construcción interdisciplinar de conocimiento. La implementación de modelos computacionales para analizar las dinámicas urbanas permite comprender el comportamiento de los sistemas, construir los mejores escenarios estratégicos, medir la efectividad de distintas políticas urbanas y la evaluar la factibilidad de los nuevos planes de diseño territorial.

1.3 Objetivos

General

- Explorar la metodología heurística para analizar dinámicas urbanas a partir de modelos y herramientas computacionales.

Específicos

- Analizar las teorías estéticas y de complejidad en los sistemas de habitabilidad urbana.
- Exponer para la disciplina de la Arquitectura, el análisis de dinámicas urbanas a través de modelos computacionales.
- Experimentar ejercicios de modelación por medio de Sistemas de Información Geográfica y Sistemas de Agentes.

1.4 Hipótesis

Si mediante la aplicación de modelos computacionales es posible decodificar y cuantificar la complejidad de las dinámicas urbanas, entonces se puede comprender el comportamiento de la ciudad contemporánea y diseñar múltiples escenarios que contribuyan al desarrollo de nuevas teorías para informar de manera más precisa la toma de decisiones en cuanto al diseño y la planeación de la misma.

1.5 Alcance

El siguiente es un trabajo de investigación teórica, con un enfoque metodológico, a través de la revisión de diferentes teorías y métodos se busca exponer la importancia para la Arquitectura de implementar conceptos y herramientas de otras disciplinas en el estudio de las ciudades. Este andamiaje teórico y experimental construido bajo una metodología heurística, permite analizar y comprender la naturaleza de procesos complejos donde intervienen un sinnúmero de variables que se escapan de los métodos tradicionales de análisis urbano.

CAPÍTULO 2: METODOLOGIAS HEURÍSTICAS PARA ANALIZAR DINÁMICAS URBANAS

“Se trata de entender la ciudad como el mejor ejemplo posible de tránsito y transversancia de diversas disciplinas, que entran al orbe del estudio de la dinámica urbana, y en especial de aquellas áreas que cuentan con un conjunto de prácticas, cuerpos y conocimiento que se ubican en espacios de frontera y que evidencian una forma del conocimiento orientado por la investigación, la experimentación y los cruces y meta-cruces entre tiempos, espacios y sentidos diferentes.” (Hernández, et al., 2012, p 69)

Esta investigación se realiza a partir de la exploración de la metodología heurística como la construcción de un camino particular para analizar dinámicas urbanas a través de modelos y herramientas computacionales. Cabe resaltar el trabajo interdisciplinario de esta investigación y la asesoría de un grupo de expertos en el tema, ya que estos nuevos conceptos y su aplicación a los problemas urbanos, requieren de habilidades específicas de programación, lenguajes matemáticos y diversos métodos provenientes de la física, la ingeniería y la ecología, que por razones evidentes se escapan del dominio de la arquitectura. Sin embargo, esta nueva mirada heurística, se caracteriza por que desvanecer los límites tradicionales entre las ciencias naturales y las ciencias sociales, y esta investigación es una de las tantas evidencias de la necesidad de repensar los sistemas educativos entorno a los grandes problemas de la humanidad, más que en áreas específicas de conocimiento, un ejemplo de esto es el Instituto Santafé de California, a partir de la complejidad, se estudian de manera interdisciplinar temas de sostenibilidad, energía, crecimiento urbano.

Para el desarrollo de esta investigación y la construcción de un camino particular en el estudio de las dinámicas urbanas, se tuvieron en cuenta las siguientes etapas:

- *Desarrollo de marco teórico para comprender los sistemas de habitabilidad urbana.* Partimos de entender la *ciudad como un sistema complejo* conformado por múltiples *dinámicas urbanas* definidas por las relaciones entre los agentes y su entorno, para comprender la naturaleza de estos procesos a diferentes escalas, es necesario construir *modelos computacionales* que representen, cuantifiquen y analicen un sinnúmero de variables, a partir de este proceso, surgen nuevas *prospectivas estéticas*, es decir nuevas visiones de ciudad, como producto de la interfaz digital y las experiencias urbanas que se transforman, colapsan y emergen constantemente.

- *Explorar proceso de modelación de problemas urbanos.*

La Heurística como método no lineal de construcción de conocimiento, nos permite abordar múltiples perspectivas para estudiar los problemas urbanos haciendo uso de modelos computacionales, los modelos se basan en metáforas que permiten hacer una lectura particular de un sistema, esta lectura que posteriormente se traduce a diversos legajos de programación y software.

- *Experimentar a través de diversas herramientas computacionales.*

A partir de la metáfora del sistema multiagentes, se realizará un experimento computacional para estudiar el crecimiento urbano en Villavicencio, empleando herramientas de Sistemas de Información Geográfica como Arcgis y Envi.

- *Escenarios prospectivos.*

¿Qué retos nos plantea esta nueva mirada de las ciudades? ¿Qué visiones alternas de ciudad se construyen a partir de la decodificación de estos niveles de información? ¿Cómo este andamiaje teórico y metodológico nos conduce a una transformación disciplinar para los próximos años? Estas inquietudes son las que dirigen una nueva perspectiva estética una manera particular de relacionarnos con el entorno, el espacio urbano mediado por una interfaz digital.



Figura 4:
Ilustración Ciudades y Big Data
Elaboración propia.

2.1 Teorías estéticas y de complejidad.

2.1.1 Ciudad como un Sistema Complejo.

Los fenómenos urbanos, ya sean sociales, culturales, económicos, políticos o bien una mezcla de todos ellos, se ubican en los llamados sistemas complejos. Estos sistemas se caracterizan por múltiples componentes o unidades en constante interacción, también poseen lo que se conoce como propiedades emergentes:

Una propiedad emergente de un sistema es un comportamiento o característica del sistema que surge a partir de los comportamientos individuales de los componentes del sistema. Por ejemplo, considérese un estadio de fútbol en donde los espectadores realizan el conocido movimiento de la “ola”. Cada individuo realiza el movimiento vertical de pararse de su asiento y volver a sentarse, pero en conjunto lo que se observa es un movimiento senoidal horizontal. (Aguilera, 2000, p 206)

De esta manera, un sistema complejo es tan dinámico e interconectado que un leve cambio o alteración en sus variables causa una alteración en el conjunto. Otra de las características es su autoorganización, que hace referencia a un orden intrínseco, a una lógica interna que no está controlada ni dirigido por un agente externo al sistema, y los comportamientos y estructuras al interior surgen en un aparente estado de desorden.

Dentro de los aspectos relacionados con la complejidad de los ambientes urbanos se destacan dos: uno a escala macro y otro a escala micro; el primero es un enfoque de conjunto la evolución de la estructura urbana, la formación del perfil espacial de la ciudad y el segundo comprende las actividades que realizan los habitantes dentro del entorno urbano, como lo pueden ser, los flujos de tráfico y los patrones peatonales.

Comprender la ciudad como un organismo vivo y complejo implica identificar estos múltiples sistemas conectados en diferentes niveles en un intercambio constante de información, materia y energía, estos flujos lejos del equilibrio, son inestables, variados, dinámicos, lo que permite la emergencia de nuevas formas de habitar, de múltiples entidades y experiencias urbanas que colapsan, se adaptan, transforman y generan patrones de distribución aleatorios.

2.1.2 Dinámicas Urbanas.

Las Dinámicas Urbanas son los procesos espacio temporales de orden social, cultural, comercial y político que ocurren simultáneamente en un espacio urbano; estas dinámicas son creadas por la interacción entre múltiples agentes individuales o grupales, pueden ser personas u organizaciones que habitan una ciudad, de esta manera, los agentes o actores urbanos se relacionan según sus motivaciones o circunstancias y así mismo intervienen en determinados espacios o ambientes; en este sentido las dinámicas urbanas representan los cambios en la estructura espacial a través del tiempo, como resultado de la interacción y variación del comportamiento de los agentes. (Aguilera, 2000)

La única manera de estudiar y entender sistemas complejos como las dinámicas urbanas es construyendo modelos computacionales que simulen posibles parámetros, cambios y comportamientos al interior del sistema.

Para el caso de una ciudad se maneja dos capas mínimas de representación: una que constituye las unidades de infraestructura física de la ciudad, y la otra el comportamiento de los individuos dentro de esta infraestructura física. La modelación a través de autómatas celulares y sistema de agentes nos permite abarcar estas dos capas, más adelante se profundizará en el tema.

2.1.3 Modelos Computacionales.

Los modelos son simplificaciones de la realidad (abstracciones teóricas que representan los sistemas de tal manera que las características esenciales cruciales para la teoría y su aplicación se identifican y se resaltan) “En este sentido los modelos actúan como un vehículo para permitir la experimentación con la teoría en un sentido predictivo y para mejorar la comprensión que puede ser antes de las predicciones de situaciones como aún no realizadas, por ejemplo en el futuro.” (Batty, 2009, p52)

La creación de modelos permite mejorar nuestra comprensión y conocimiento del mundo en que vivimos gracias a que el ejercicio de modelar problemas permite inferir un tipo de conocimiento sobre el sistema real que no resultaba evidente antes de construir y usar el modelo.

Existen dos tipos de modelos, los modelos no formales y los modelos formales, los primeros constituyen la primera abstracción que se realiza del sistema, identifican los elementos y establecen las múltiples relaciones, este es un proceso mental; por su parte el modelo formal es computacional basado en un sistema matemático que procura poner en operación las propiedades del sistema representado, el modelo al ser una abstracción formal puede ser manipulado y transformado de manera infinita, lo que le permite simular el comportamiento y las propiedades del fenómeno real o imaginario. (Machado, 2003)

En el proceso del modelado se identifican tres roles: el experto, el modelador y el ordenador, cabe aclarar que a menudo es una única persona la que asume el rol de experto y modelador, pero no siempre es así.

El *experto*, tiene un gran conocimiento del sistema real y su funcionamiento, sin embargo, no necesariamente tiene que estar familiarizado con la creación de modelos; de otro lado, el *modelador* es un profesional cuya labor consiste diseñar e implementar y analizar modelos computacionales, esto significa que tiene conocimientos avanzados en cálculo simbólico, lógica proposicional, o algún lenguaje de programación. Finalmente, el *ordenador* ejecuta o resuelve el modelo.

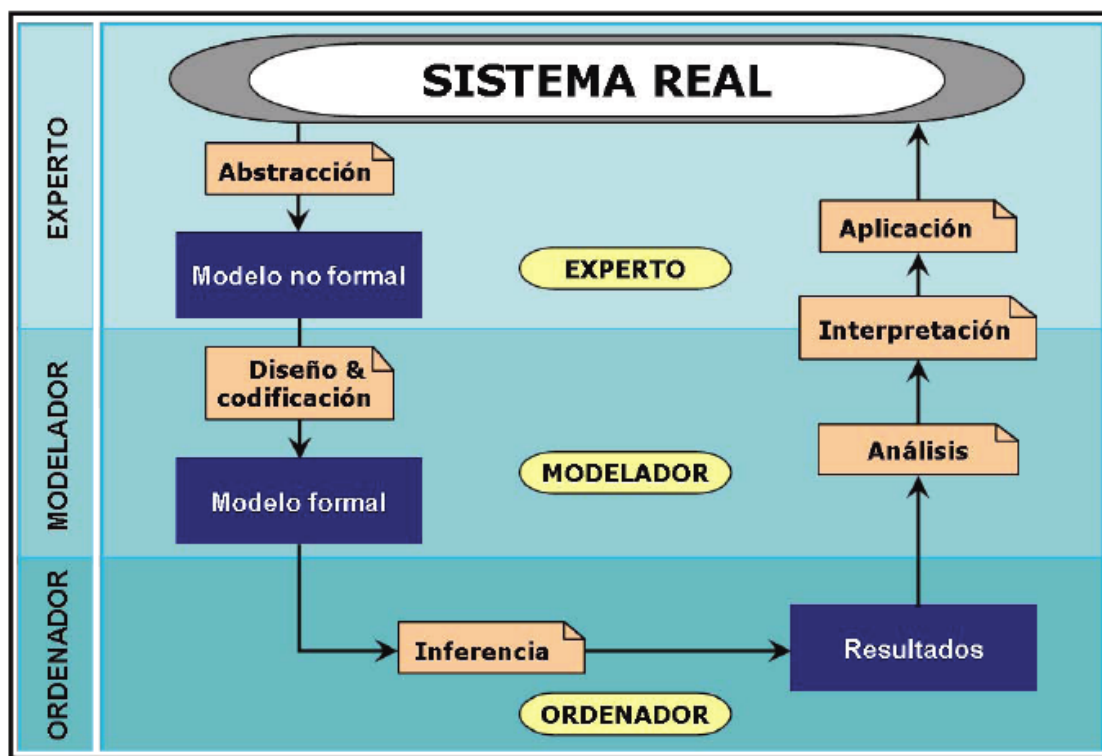


Figura 5:
Proceso de modelado.
Tomado de Izquierdo, 2008 p. 93

2.1.4 Prospectivas Estéticas

Las prospectivas estéticas buscan construir una visión alterna de ciudad a partir de la decodificación de múltiples niveles de información. Estamos ante la emergencia de una nueva manera de pensar y habitar el espacio urbano donde la relación con el entorno se produce a través de una interfaz digital.

Esta interfaz constituye el punto de partida para estudiar los sistemas de habitabilidad urbana que trasciende el espacio físico, y busca integrar aproximaciones sociales, metodologías cualitativas y cuantitativas en torno a los sistemas biológicos, artificiales y sociales. Bajo esta perspectiva “el urbanismo ya no forma parte de las ciencias aplicadas o de las ciencias sociales y humanas de manera exclusiva, sino específicamente entra en relación con las ciencias físicas, naturales y exactas.” (Hernández, et, al 2012, p. 70)

En la búsqueda de una manera de habitar más sostenible es indispensable crear condiciones para que ocurra la autoorganización de los sistemas y la emergencia constante de nuevos conocimientos, ideas, sociedades alternas, economías de intercambio, y relaciones más estrechas entre los sistemas biológicos y los artificiales; el comprender la naturaleza interna de muchas de estas dinámicas urbanas permiten generar una mejor calidad de vida para la población y unas intervenciones espaciales menos impositivas.

Las prospectivas estéticas de la ciudad futura van más allá de un espacio físico es un entorno interconectado, es un organismo vivo donde la evolución biológica, cultural y urbana son una sola.

2.2 Metodología heurística y modelación de problemas.

2.2.1 Metodología Heurística

El término Heurística aparece en el periodo clásico de la antigua Grecia y etimológicamente está relacionado directamente a sustantivos como: “*Heurésis*: Invención, descubrimiento. Que se puede encontrar o inventar y al verbo: *Heurema*: Invención, descubrimiento -debido a la reflexión y no al azar-” (Maldonado,2005 p. 100, 101)

En este sentido, etimológicamente la *Heurística* consiste en el estudio del *descubrimiento y la invención debidos a la reflexión y no al azar*.

Tan importante como el descubrimiento y la producción de nuevo conocimiento, es el estudio de los métodos de trabajo e investigación. La palabra método proviene del griego términos *meta* – a través de - y *odos* –camino- *la búsqueda de caminos* en el proceso mismo del descubrimiento y la invención científica y de investigación teórica; en un sentido más amplio la Heurística como método se refiere a la búsqueda de procedimientos adecuados para la solución de problemas, entre los cuales se cuentan las teorías, la elaboración de modelos para simular condiciones y finalmente la aplicación de estos para intervenir los comportamientos sociales.

Se debe resaltar el carácter múltiple intrínseco en el concepto de *método* y hace referencia a “los caminos”, a la diversidad de lenguajes, enfoques, perspectivas, miradas y experimentos para abordar los objetos de estudio, no hay una sola manera de aproximarse al problema, ni una sola herramienta o teoría.

La heurística es el punto de partida para renovar las estructuras mentales de pensamiento, descifrar, construir y diversificar los caminos metodológicos en la construcción de conocimiento, este proceso no es lineal, todo lo contrario, se da a través de discontinuidades, de emergencia de procesos creativos, de innovaciones y revoluciones científicas en un entorno que constantemente se reinventa a sí mismo.

Las metodologías heurísticas permiten la construcción de redes de conocimiento robustas y flexibles creadas colectivamente, esta es la base de la sociedad del conocimiento, estos espacios permiten la emergencia de procesos innovadores donde cada una de las áreas del conocimiento, cuentan con un conjunto de prácticas, cuerpos conceptuales y metodológicos que hacen de los entornos urbanos un escenario para la experimentación y el descubrimiento.

2.2.2 Modelación de problemas

Como lo vimos anteriormente los modelos actúan como un vehículo para permitir la experimentación con la teoría y permiten mejorar nuestra comprensión y conocimiento del mundo en que vivimos gracias a que mediante la modelación de problemas podemos inferir un tipo de conocimiento sobre el sistema real que no resultaba evidente antes de construir y usar el modelo. El proceso de modelación de problemas comienza con un abstracción de elementos del sistema de estudio, luego de esto se diseñan y se codifican las variables para construir patrones, posteriormente podemos inferir y hacer un análisis sobre los mismos, y finalmente interpretar y aplicar los nuevos conocimientos adquiridos. Izquierdo nos define cada una de las etapas (2008, p. 94-97)

1) Abstracción

La construcción del modelo comienza por el proceso de abstracción para facilitar la comprensión de ciertos aspectos de un determinado sistema, el proceso de abstracción permite simplificar la complejidad de la realidad. En esta primera etapa el experto observa el sistema real y extrae los datos necesarios, a la vez que define los objetivos que se pretenden alcanzar con el modelado, e identificar los componentes y las diferentes relaciones entre estos.

Este proceso se realiza a través de mapas conceptuales o diagramas y es expresado en lenguaje natural y términos sencillos.

2) Diseño y Codificación

Luego del proceso de abstracción llevado a cabo por el experto, el modelador diseña un modelo computacional expresado en un conjunto de ecuaciones matemáticas que constituyan una expresión representativa de las especificaciones y abstracciones del experto.

3) *Inferencia*

El siguiente paso luego de construido el modelo formal es ejecutarlo o resolverlo, para esto se aplica un proceso deductivo al conjunto de preposiciones en función de contrastar la lógica de los axiomas y las reglas que definen el modelo. Estas implicaciones o resultados deberán ser idénticos.

4) *Análisis*

Luego de ejecutada la simulación, se obtienen unos resultados a ser analizados, para mejorar nuestro entendimiento del funcionamiento del modelo. Algunas técnicas que pueden utilizarse para analizar la dinámica de los modelos son: Contraste de Hipótesis y estadísticas, Teoría de procesos estocásticos, Aproximaciones de campo medio, visualizaciones de datos interactivas, o simple inspección.

5) *Interpretación*

Luego del análisis de los resultados obtenidos con el modelo, se interpretaran usando algunos conceptos que hagan referencia al sistema real. Lo que busca la interpretación es asignar un significado a los resultados obtenidos.

6) *Aplicación*

Finalmente, el objetivo del ejercicio de modelación es aplicar el conocimiento adquirido de la abstracción, al sistema real. Cabe aclarar que “la aplicación no debe entenderse en su sentido práctico más estricto. La aplicación del conocimiento puede ser tan concreta como una predicción numérica o tan vaga como una indicación de algún posible comportamiento en términos cualitativos.” (Izquierdo, 2008. p 97)

Las conclusiones a las que podemos llegar usando un modelo no describirán con rigurosa exactitud lo que ocurre en el sistema real -especialmente sistemas con alto grado de incertidumbre- pero, cuando menos, aportarán un conocimiento significativamente mejor que el que obtendríamos sin aplicar modelo alguno. “En resumen, un modelo será útil en la medida en que capture la esencia de la situación real objeto de estudio, facilite el desarrollo de procesos de inferencia que no se podrían llevar a cabo sin el modelo, y proporcione conocimientos que pueden ser transferidos a diversas situaciones.” (Izquierdo, 2008, p 88)

2.2.3 ¿Por qué modelar problemas?

Las simulaciones por computador son una de las herramientas más poderosas en las ciencias y fundamentales para los investigadores de las ciencias sociales, el beneficio principal consiste en el desarrollo de un modelo mental para abstraer el proceso que están simulando.

Desarrollar un modelo permite generar un profundo entendimiento del problema y del comportamiento del sistema, a la vez que permite identificar la reacción a los cambios, frente a diversos parámetros e intervenciones.

Formalizar una teoría en modelos permite al investigador describir sus ideas de manera precisa, con hipótesis claras que permiten una deducción formal, y lo más importante comunicar de manera clara y precisa (Nowak, Rychwalska y Borkowski, 2013)

A continuación expondremos algunos de los beneficios de analizar problemas a través de modelos computacionales: (Epstein, 2008)

1) *Explicar un sistema*

Identificar cuáles son las variables y los elementos del entorno que generan una afectación directa o indirecta y la respuesta mutua. Cabe aclarar que “explicar no implica predecir, por ejemplo, las placas tectónicas nos permiten explicar los terremotos, pero esto no nos permite predecir la duración y el lugar donde van a ocurrir. Las explicaciones denominadas generativas o macroscópicas consisten en examinar ciertas regularidades a gran escala como lo pueden ser la distribución de la riqueza, los patrones de asentamiento espacial, o las dinámicas de una epidemia, que se pueden estudiar en poblaciones de agentes en un modelo computacional donde interactúan a nivel local según unas normas de comportamiento plausibles.

2) *Método de recolección de datos*

La modelación como método de recolección de datos tiene dos ventajas, la primera, es la recopilación de los datos específicos con los cuales partimos para la creación del modelo, en la ciencia generalmente la teoría precede a la recopilación de datos como en este caso, pero no necesariamente es así, en el segundo caso los datos salen a la luz, o son producidos luego de llevar a cabo el proceso de modelación, La teoría electromagnética de Maxwell es un buen ejemplo. A partir de sus ecuaciones se deduce la existencia de las ondas de radio. Sólo entonces se buscaron y encontraron.

3) *Diseñar escenarios*

Es importante entender que el proceso de modelación no busca dar respuestas correctas, ni predecir condiciones específicas, de hecho, traemos a la luz la famosa frase de George Box "Todos los modelos son erróneos, pero algunos son útiles" es claro que el proceso de modelado es un método de análisis y estudio de problemas, a través del diseño de escenarios posibles, de realidades alternas, ideaciones fértiles que iluminan la problemática y buscan generar comprensión y entendimiento de procesos.

4) *Plantear nuevas preguntas y nuevos caminos*

Pensar los problemas a través de modelos nos permiten diseñar nuevos caminos y ampliar las posibilidades de análisis de acuerdo con las múltiples relaciones que establezcamos entre los elementos. Este proceso desde luego nos vuelve más curiosos e inquietos, no hay una sola pregunta, tampoco una sola respuesta, ni un solo camino, es más, nos puede conducir a temas insospechados.

5) *La incertidumbre como hábito científico*

Para Epstein, sin duda, la contribución más importante del modelado es el hábito científico que él denomina "La Ignorancia Militante" y representa el compromiso con el "no lo sé", Todo conocimiento científico es incierto, contingente y sujeto a revisión, también falseable en un principio. El método de investigación científico a partir de la modelación permite dar paso a la incertidumbre y a la duda como el camino del conocimiento, a la vez, que libera de prejuicios y viejos paradigmas para generar una cultura de libertad de pensamiento.

"Esta es la razón por la que la ciencia, como método de investigación, es la antítesis fundamental de todos los sistemas monolíticos intelectuales. En un hermoso ensayo, Feynman (1999) habla de la duramente ganada "libertad de dudar " Nació de una lucha larga y brutal, y es esencial para el funcionamiento de la democracia. *Los intelectuales tienen el deber solemne de dudar y de enseñar a dudar.* La educación en un sentido más real, no se trata de " un set de habilidades vendibles ". Se trata de la libertad, de los prejuicios heredados y argumentados por la autoridad . Esta es la contribución más profunda de la empresa del modelado. Garantiza hábitos mentales esenciales para la libertad de pensamiento" (Epstein, 2008)

2.3 Modelación Urbana a partir de Metáforas

Como lo mencionamos anteriormente los modelos son simplificaciones de la realidad, abstracciones teóricas que representan los sistemas; los modelos actúan como un vehículo que permite la experimentación con la teoría en un sentido proyectual, permiten ampliar el entendimiento de lo que podrían llegar a ser diversas situaciones en el futuro “ los modelos urbanos, son esencialmente simulaciones por computador de la manera como funcionan las ciudades, y que permiten traducir la teoría a un formato que sea comprobable y aplicable antes de intervenir directamente el sistema real” (Batty, 2009 p. 52)

En este sentido, la modelación urbana es la actividad de definir, construir y aplicar modelos computacionales para fines específicos que tradicionalmente han estado en la planificación física, y cada vez se extienden más a otros campos como la geografía social, análisis espacial, comercio y gestión pública.

A lo largo de teoría urbana para el desarrollo de modelos computacionales, se han dado desde varias perspectivas, entre ellas las teorías ocupación del suelo, estas proponen mecanismos que permiten a las industrias, los servicios y los hogares ubicarse en los sectores más rentables de acuerdo con los ingresos, en este sentido, la economía urbana está condicionada gran parte por los costos de los trayectos, situación que hace relevante el análisis de distancia y tiempos de desplazamiento en los modelos computacionales.

La primera generación de modelos urbanos comienza hacia 1965, empleaba técnicas y modelos macroeconómicos agregados de entrada y salida donde el sistema urbano era tratado como una entidad estática, cuyas tierras usos y actividades se simulaban en un corte transversal en el tiempo y las dinámicas se consideraban en gran medida auto-equilibrantes. Estos primeros modelos estaban en la tradición de la estática comparativa. (Batty, 2009)

Más adelante, se pensó que la relación entre la teoría y los modelos estaba en la comprobación de hipótesis, pero en esencia, las teorías de la época, no reflejaban la diversidad y la heterogeneidad de los sistemas de las ciudades modernas, ni la volatilidad de sus dinámicas urbanas. Durante los años 1970 y 1980 las aproximaciones de teorías de agregación, comenzaron a girar en torno a una aproximación dinámica más descentralizada,

las dinámicas urbanas que emergían de *abajo hacia arriba* producían una gran cantidad de datos sobre el comportamiento urbano, sin embargo, era imposible calibrar o validar en su totalidad los modelos ya que muchos se quedaban en aproximaciones informales.

Hoy en día, los modelos urbanos son marcos para contener y montar información pertinente; en estos marcos se genera un diálogo constante entre aproximaciones formales y no formales que involucran diferentes expertos y permiten realizar procesos consensuados y participativos en la toma de decisión.

Como se presentó anteriormente, la única manera de estudiar y entender sistemas complejos como las dinámicas urbanas es construyendo modelos computacionales que simulen los comportamientos del sistema. Para el caso de una ciudad se maneja dos capas mínimas de representación, una que constituye las unidades de infraestructura física de la ciudad, y la otra el comportamiento de los individuos dentro de esta infraestructura física. La modelación a través de autómatas celulares y sistema de agentes nos permite abarcar estas dos capas. En estos modelos los agentes son objetos computacionales autónomos con capacidad de realizar acciones, percibir su entorno y comunicarse con otros. (Aguilera 2000)

2.3.1 Las Metáforas.

La teoría de la complejidad ha desarrollado una serie de representaciones para describir los fenómenos empelando términos familiares, a estos se les conoce como metáforas, por ejemplo hemos la ya famoso arquetipo del Efecto Mariposa, “el aleteo de las alas de una mariposa puede provocar un Tsunami al otro lado del mundo” esta metáfora se ha utilizado comúnmente para hacer comprensible e ilustrar la Teoría del Caos, donde un pequeño cambio en las condiciones iniciales de un sistema, puede provocar un reacción completamente impredecible.

De esta manera, las metáforas son símbolos o representaciones lingüísticas que permiten simplificar las discusiones, las matemáticas y las teorías muy complejas, para facilitar su comprensión y aplicación, son abstracciones que describen los fenómenos, mediante el uso de un lenguaje común y familiar. (Mc. Adams, 2008)

Las metáforas desempeñan un papel muy importante en la ciencia son el vehículo para la exploración y el descubrimiento, permiten relacionar procesos desconocidos con experiencias familiares.

Las metáforas como “la electricidad es un fluido” o “los átomos son esferas duras” son pistas contextuales que dirigen la atención de los científicos a los detalles asociados con fluidos o esferas duras. Los fluidos se pueden asociar con el flujo y la conservación; las esferas duras con el empaque y el movimiento aleatorio. Incluso si estas metáforas son remplazadas más adelante con modelos matemáticos más elaborados, ellas continúan guiando los pensamientos y la práctica de los científicos cuando tratan de buscarle sentido a una nueva experiencia. (Ashkenazi, citado en Mc Adams 2008)

Entre las más utilizadas están las metáforas de los agentes, el caos, fractales, y los estados emergentes y autoorganizados. (Mc Adams, 2008)

- *Agentes:*

Son objetos animados o inanimados, pueden ser individuos, instituciones, compañías privadas, asociaciones etc. En un modelo basado en Agentes estos se identifican como gobernantes, e interactúan transformándose a sí mismos y a su entorno, exhibiendo un comportamiento de autoorganización.

En la base de un modelo basado en agentes, están los Autómatas Celulares, son celdas que cambian de acuerdo al comportamiento de sus vecinos; las reglas de los autómatas son la base para determinar las características de los agentes.

- *Caos:*

Es una de las metáforas más fuertes en la teoría de la complejidad. Sinónimo de aleatoriedad, emergencia, incertidumbre y autoorganización, representa las dinámicas no lineales de la interacción de los agentes y el orden interno que se esconde en un aparente desorden.

- *Fractales:*

Los fractales no solo son metáforas lingüísticas sino también visuales para ilustrar un sistema complejo, un fractal se caracteriza por su autosemenjanza en diferentes niveles, y su formación está gobernada por un conjunto de reglas.

- *Estados emergentes y de autoorganización:*

La autoorganización es el proceso donde los agentes interactúan de manera colectiva y sus acciones modifican el entorno. Un estado emergente sería la situación donde hay un determinado resultado producto de la autoorganización, los estados emergentes están relacionados con el caos por su condición aleatoria e impredecible.

El estudio de las ciencias de la complejidad se ha desarrollado durante 50 años aproximadamente, pero su aplicación a las áreas urbanas se ha dado en los últimos 15 años, un campo de estudio relativamente nuevo. La aplicación de la teoría de la complejidad a la planeación urbana está en el uso de metáforas como un lente para observar la ciudad en maneras completamente diferentes a las que se ha estudiado hasta ahora.

La planeación urbana fácilmente puede enmarcarse en el contexto de las metáforas de la complejidad. Existe una gran variedad de agentes, pueden ser políticos, planeadores urbanos, ciudadanos, organizaciones públicas y privadas, asociaciones. Estos agentes pueden transformar el entorno natural y artificial a través de sus acciones, según sus limitaciones jurisdiccionales. En el entorno de la planificación urbana las acciones de los agentes no tienen la misma influencia, hay ‘super agentes’ que tienen la capacidad de influir más sobre los cambios en el entorno respecto a otros, estos pueden ser el gobierno, los políticos, las ONG frente a los ciudadanos por ejemplo. (Mc Adams, 2008)

Las metáforas crean un nuevo contexto para que la planeación urbana opere, y provee conceptos, herramientas y nuevas metodologías para construir una nueva mirada sobre la naturaleza de los problemas urbanos, y así mismo, conduzca a nuevas maneras de intervenir el territorio, menos idealistas e impositivas.

Al seguir estas ideas, a continuación explicaremos más a fondo la metáfora de los Sistemas Basados en Agentes y algunas de las herramientas que nos permiten analizar dinámicas urbanas y construir modelos computacionales.

2.4 Sistema multiagentes y herramientas computacionales para analizar Dinámicas Urbanas.

Los Autómatas Celulares y el Sistema Basado en Agentes son modelos más utilizados para estudiar sistemas de complejidad creciente como los mercados financieros y entornos biológicos, sociales y urbanos; estos modelos computacionales se construyen para representar las acciones y el comportamiento de agentes individuales localizados en el espacio y en un tiempo determinado, la ventaja de estos modelos es que pueden representar la discontinuidad de los cambios a una escala micro. La dificultad radica en que la discontinuidad en los cambios en cualquier nivel inferior a la de todo el sistema es difícil de verificar, sin embargo, estos modelos son aptos para ser incluidos dentro de los estudios de los sistemas más grandes y dinámicos de la ciudad para el análisis más que para la predicción. (Baynes, 2009)

Cabe mencionar que los Autómatas Celulares son una versión básica y simplificada del Sistema Basado en Agentes, en el caso de un espacio urbano, el modelo de autómatas, representa los cambios de la capa básica es decir, la infraestructura física, mientras que los agentes dan cuenta del comportamiento de los individuos en esta estructura.

2.4.1 Autómatas Celulares (CA)

Los Autómatas celulares fueron desarrollados por Jhon von Neumann y Stanislaw Ulman a finales de los cuarenta. Para Von Neumann el Autómata Celular es una estructura matemática que le permitió investigar la organización existente en los procesos biológicos de autoreproducción celular, y más adelante en los sesenta, John Horton Conway desarrolló una aplicación práctica de los autómatas en el conocido Juego de la Vida. (Aquilera, 2000)

Los autómatas funcionan bajo la lógica de aplicar reglas locales que conducen a una emergencia de un comportamiento global, el sistema está dividido en zonas físicas o celdas que son lo suficientemente pequeñas para reflejar características individuales. Las celdas cambian su estado dependiendo del comportamiento de sus vecinos. (Batty, 2009)

Para construir un autómata celular se define un conjunto de celdas que conformaran un espacio celular, una celda es un lugar definido en el espacio con coordenadas específicas y cada celda puede tener varios estados y estos son fenómenos, circunstancias o características propias, por ejemplo en un espacio urbano las celdas pueden representar casas o edificios y los estados pueden ser el número de habitantes y apartamentos por cada uno. (Aguilera, 2000)

Las celdas se acomodan en un espacio unidimensional (A) o bidimensional (B)

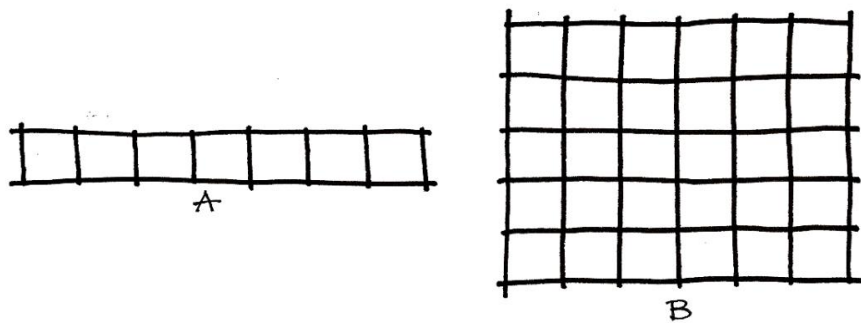


Figura 6:
Modelo celdas Autómatas Celulares
 Elaboración propia basado en (Aguilera, 2000)

La dinámica en el sistema se origina cuando se añade al autómata la evolución de los estados en las celdas, este proceso se conoce como *reglas de transición de estados*, estas reglas definen un estado particular de la celda a partir del comportamiento de sus vecinos. En el espacio bidimensional (b) se conocen los siguientes tipos de vecindades:

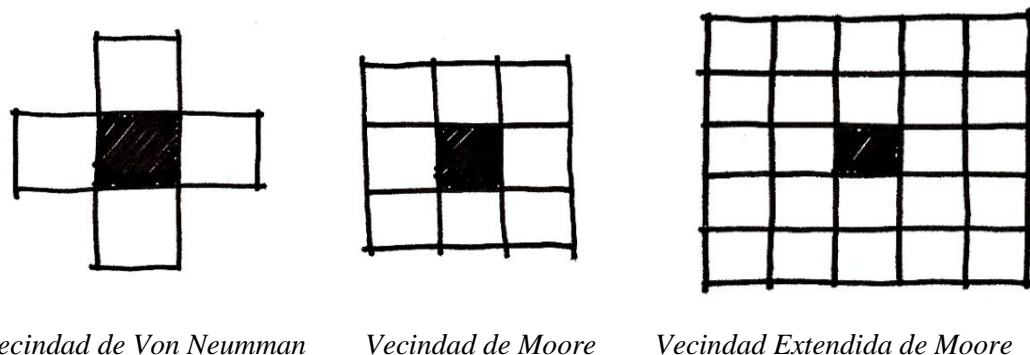


Figura 7:
Tipos de vecindades
 Elaboración propia basado en (Aguilera, 2000)

Según como operen las reglas, se pueden clasificar en dos tipos:

1. Todo grupo de estados de las celdas de la vecindad está referido al estado de la celda central, por ejemplo si la celda central se convierte en un 0 al siguiente intervalo si la celda izquierda es cero, la celda derecha es 1 y la celda central es 1.
2. El estado siguiente de la celda central, depende de la suma de los estados actuales de las celdas vecinas, por ejemplo, teniendo como referente la vecindad de Von Neuman, al sumar las celdas adyacentes = 4, el estado de la celda central es 1, en los demás casos será 0.

(Aguilera, 2000)

De esta manera, los modelos de autómatas celulares están conformados por 4 componentes:
(Piera, 2013)

1. Celdas: Son el espacio del autómata y conforman una cuadrícula.
2. Estados (S): Los posibles estados que puede tomar una celda.
3. Vecinos (N): Los vecinos que tiene una celda y que varían de acuerdo al autómata.
4. Reglas de transición (T): Se aplican a cada autómata según el tiempo y en relación a sus vecinos.

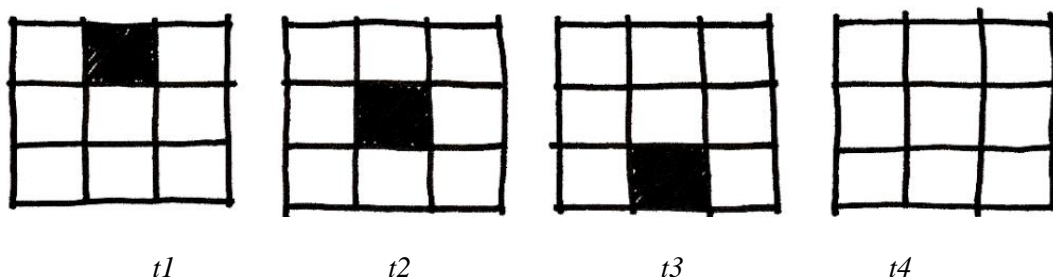


Figura 8:
Tiempos de cambio Autómatas Celulares
Elaboración propia basado en (Piera, 2013)

Entonces, el primer paso para la construcción de un algoritmo para un modelo de autómatas se define de la siguiente manera: $A_{t+1} = F_t(S, T, N)$ ³

³ Cabe aclarar que el propósito de este trabajo es diseñar una metodología heurística para el análisis de dinámicas urbanas a partir de diferentes teorías y herramientas computacionales, por tanto no corresponde entrar a discutir los aspectos técnicos y matemáticos implícitos en estos modelos.

Autómatas Celulares Geográficos.

Para realizar estudios urbanos bajo el modelos de autómatas celulares, se definen los autómatas en relación con un uso del suelo específico, Residencial (R), Comercial (C), Industrial (I), Público (P) y Agrícola (A). A continuación se muestra la evolución de una celda en estado agrícola a una celda en estado comercial.

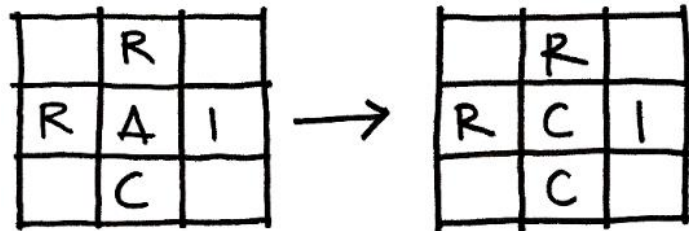


Figura 9:
Celdas de autómatas geográficos
Elaboración propia basado en (Piera, 2013)

Como vemos este modelo de autómata está definido por la vecindad Von Neumann se han definido 5 estados diferentes y las reglas, sólo consideran 5 celdas como parámetros de entrada dando como resultado 3125 posibles funciones de transición para este autómata; sin embargo este modelo aplicado en el mundo real puede llegar a ser muy impreciso, ya que los vecinos en el modelo Von Neumann son escasos y sectorizados. (Piera, 2013)

Para suplir esta deficiencia, se utiliza el modelo que define buffers circulares y permite incluir más vecinos en el análisis

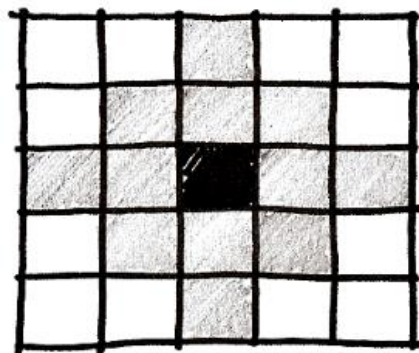


Figura 10:
Vecindad Extendida de Moore
Elaboración propia basado en (Piera, 2013)

A partir de este momento, se utilizan herramientas matemáticas para la creación de los algoritmos que van a simular el comportamiento de los autómatas en el modelo computacional, son dos las principales, Algoritmos Genéticos y Redes Neuronales Artificiales, sin embargo, como lo mencionamos anteriormente no es el propósito de este trabajo discutir aspectos técnicos matemáticos propios de estos modelos.

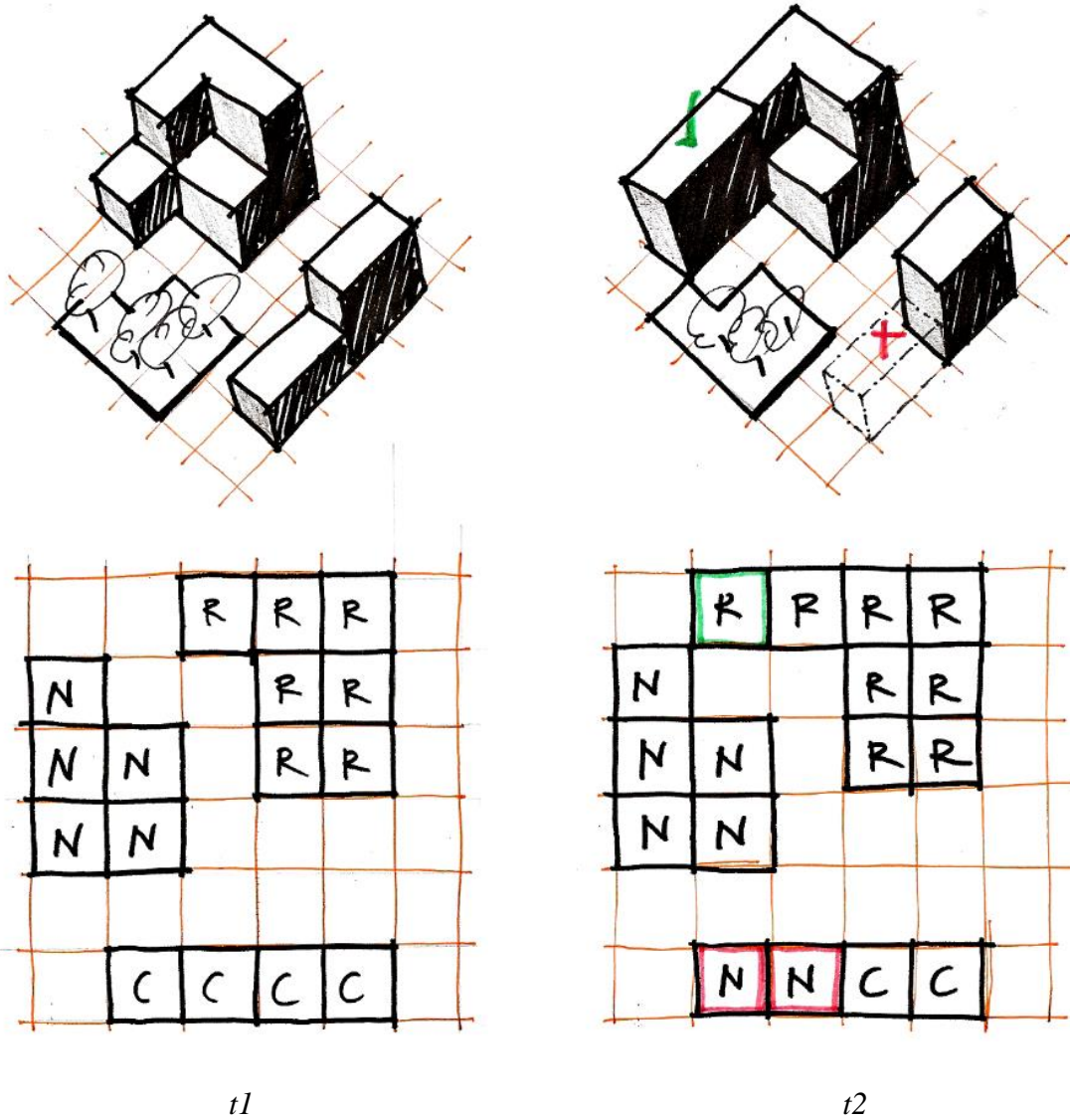


Figura 11:
Autómatas Celulares aplicados a un esquema urbano
 Elaboración propia.

N: Espacio Natural
 R: Uso Residencial
 C: Uso Comercial

2.4.2 Sistema Basado en Agentes (ABM)

Estos sistemas hacen parte de una rama de la Inteligencia Artificial Distribuida, este campo de conocimiento estudia y construye conjuntos de entidades autónomas e inteligentes que cooperan entre sí para desarrollar un trabajo o tarea específica. El Sistema Basado en Agentes se encarga de estudiar las interrelaciones entre muchos actores, que pueden ser átomos, animales, personas, organizaciones o naciones y sus interrelaciones van desde fuerzas de atracción, comercio, combates, comunicación, parentesco etc.. (Aguilera, 2000)

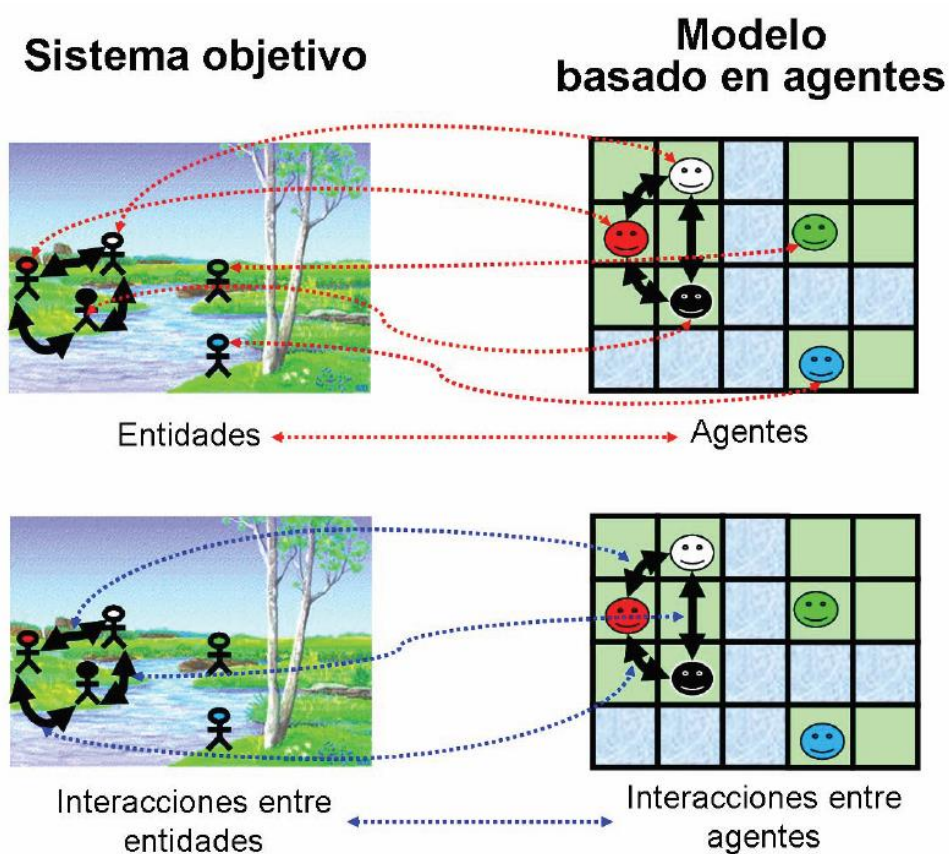


Figura 12:
Esquema proceso de abstracción y construcción de un modelo de agentes.
Tomado de: Izquierdo, 2008, p. 98

Los agentes son entidades parcial o completamente autónomas que reaccionan de acuerdo a su percepción del exterior, se clasifican de acuerdo con el papel que desempeñen dentro de un sistema.

1. Agentes Reactivos: Responden a los mensajes del entorno y de otros agentes, y actúan de acuerdo con planes o reglas pre diseñadas que no pueden ser modificadas por ellos.
2. Agentes Intencionales: Tienen las mismas capacidades que los reactivos, pero a diferencia de estos, pueden diseñar planes para conseguir sus objetivos e informar a otros agentes de sus acciones e intenciones.
3. Agentes Sociales: Además de las capacidades de los anteriores, tienen modelos explícitos sobre los otros agentes y pueden razonar sobre las metas, expectativas y creencias de los demás.

(Aguilera, 2000)

En un universo multiagente, los agentes comparten recursos y se comunican entre sí, y la clave está en la coordinación de las habilidades individuales para resolver problemas globales, a este universo se le denomina una sociedad y está conformada por tres elementos: un grupo de agentes, un conjunto de tareas a realizar y un conjunto de recursos; las tareas son divididas según una jerarquía dependiendo del rol del agente en el sistema.

Existen dos tipos de sociedades construidas con agentes, una centralizada y otra descentralizada, en la primera se restringe la autonomía de los agentes por la presencia de un elemento que controla el estado del sistema, en la segunda no hay un controlador y la autonomía es máxima, cada agente tiene conocimiento de sus habilidades y las de los demás, de esta manera puede decir de que parte del sistema se ocupa y con quien puede cooperar o rivalizar. (Aguilera, 2000)

Los modelos basados en agentes se han utilizado para estudiar diferentes tipos de sistemas en varias disciplinas como, economía, finanzas, gestión de recursos y ecología, ciencias políticas, antropología sociología, biología y medicina, todas estas construyen modelos experimentales de la realidad donde a una serie de elementos se le aplican de reglas individuales para inferir el comportamiento global del sistema. (Izquierdo, 2008 p. 100)

Uno de los puntos más importantes por los que se destaca este modelado en el estudio de sistemas complejos, es por la implementación de conceptos como *emergencia y adaptación*, en un estado emergente, los fenómenos son patrones a escala global surgidos a partir de las interacciones aleatorias de agentes individuales, la aparición de fenómenos emergentes es producto de la inteligencia artificial del sistema que construye nuevas realidades e interacciones basados en los parámetros básicos con los cuales se diseñó inicialmente el modelo. La adaptación va de la mano con los procesos emergentes, ya que los agentes tienen la capacidad de reaccionar a las alteraciones en el entorno, efectuar los cambios que consideren necesarios para llevar a cabo su objetivo.

En la construcción de un modelo de agentes se deben tener en cuenta los siguientes elementos: (Baynes, 2009)

1. El entorno que contiene a los agentes.
2. Un set objetos pasivos que puedan ser modificados por los agentes. (Autómatas Celulares)
3. Un grupo de agentes autónomos que se puedan comunicar con el entorno, objetos y otros agentes.
4. Definir muy bien las relaciones entre estos elementos.
5. Establecer operadores que permitan a los agentes interactuar con el entorno, transporte, la capacidad de dividir, combinar, comprar o vender.

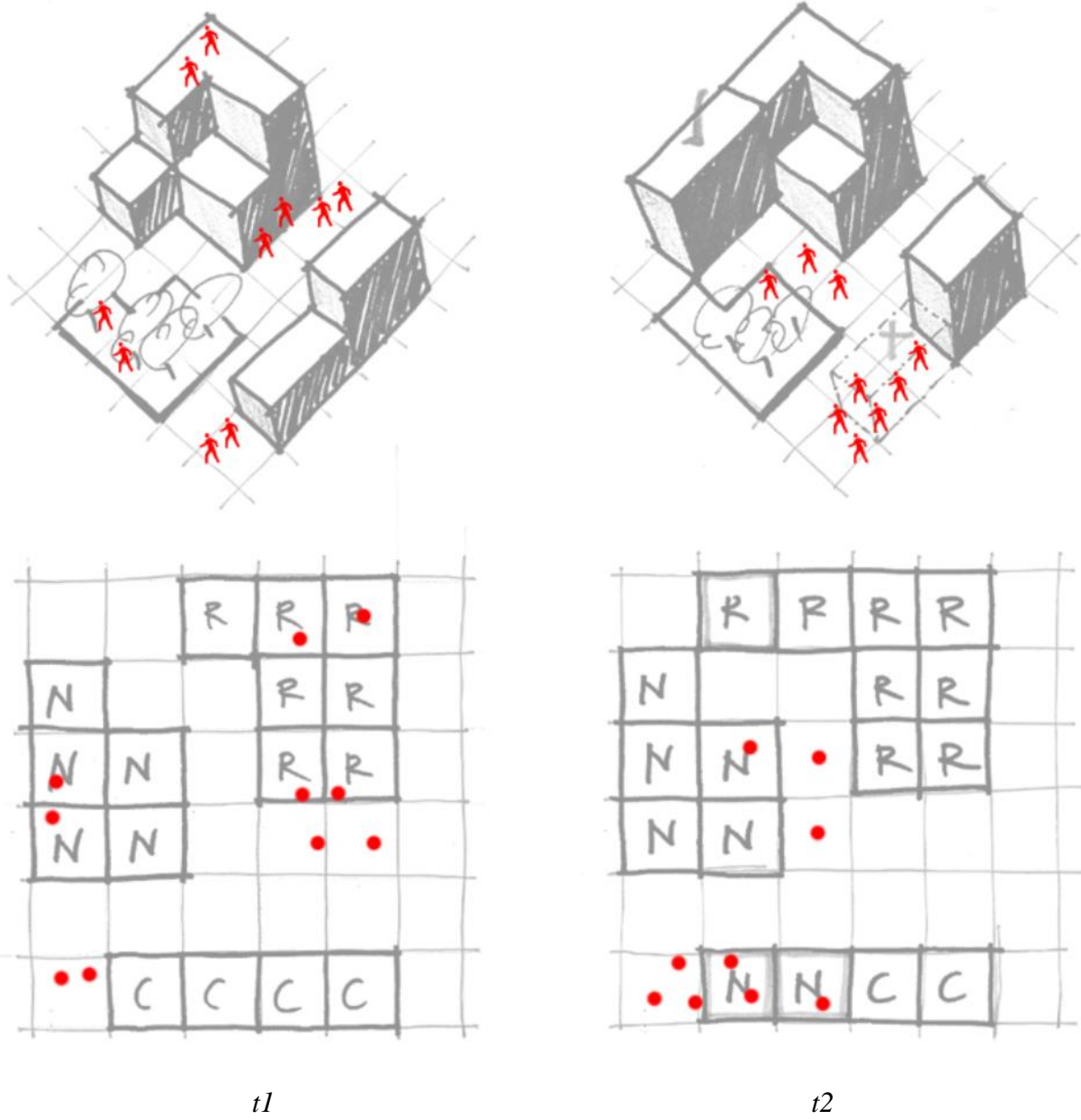


Figura 13:
Esquema de agentes en interacción con autómatas
Aplicados a un esquema urbano
 Elaboración propia.

N: Espacio Natural
 R: Uso Residencial
 C: Uso Comercial

2.4.3 Herramientas computacionales para el modelado de dinámicas urbanas

- *DUEM CA Model (Dynamic Urban Evolutionary Modelling)*

-Modelado evolutivo de dinámicas urbanas a través de Autómatas Celulares.-

“The Bartlett” Centre for Advanced Spatial Analysis, Faculty of the Built Environment University College London.

Este software fue diseñado en 1990 por Yichun Xie, Director del Instituto de Investigaciones geoespaciales y Educación (iGRE) de la Universidad del Este de Michigan, trabajó junto a Michael Batty y Zhanli Sun quien escribió el programa.

A través de este software, el usuario puede ejecutar gran variedad de autómatas celulares en un entorno 2D que puedan poblar y limitar de varias maneras. El software permite importar un escenario de fondo en formato raster. Este software permite simular cinco usos del suelo vivienda, industria, comercio, baldíos y calles o nodos de calles a desarrollar. La ventaja es que ya existen una serie de reglas predeterminadas para cambiar la influencia de un uso en sus vecinos, de esta manera se pueden comparar por ejemplo barrios de diferentes tamaños, su ciclo de vida a través del tiempo y como estos pueden afectar otros usos, entre muchos otros análisis.

Para comenzar a modelar es necesario poblar el entorno con una serie de usos situados al azar y luego simplemente ver crecer el sistema. Una de las características clave del software permitir al usuario averiguar si la dinámica a largo plazo es factible según las reglas predeterminadas localmente y desde luego las reglas pueden cambiar en el inicio o en la marcha.

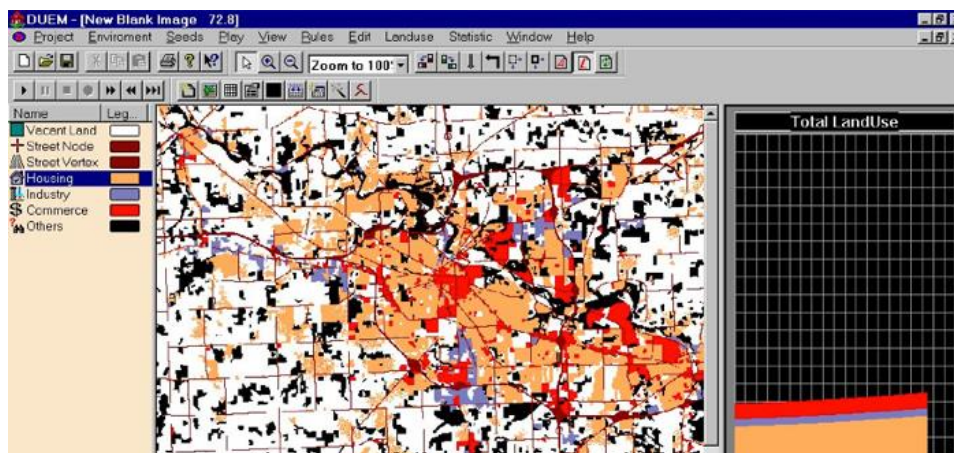


Figura 14: Interfaz Software DUEM

Tomado de : <http://www.bartlett.ucl.ac.uk/casa/latest/software/duem-ca>

- URBANSIM/ Open Platform for Urban Simulation (OPUS)

UrbanSim es un software open source, creado por Paul Waddell de la Universidad de Berkeley, simula procesos a través del sistema de agentes y dinámica de sistemas, permite apoyar la planificación y el análisis de dinámicas urbanas, las interacciones entre el uso del suelo, el transporte, la economía y el medio ambiente. Está diseñado para ser utilizado por Organizaciones de Planificación Metropolitana (MPO), ciudades, organizaciones no gubernamentales, investigadores y estudiantes interesados en la exploración de los efectos de en la comunidad de políticas públicas y la intervención de la infraestructura física.

El proyecto de UrbanSim fue el punto de partida para la creación de la plataforma OPUS (Open Platform for Urban Simulation)

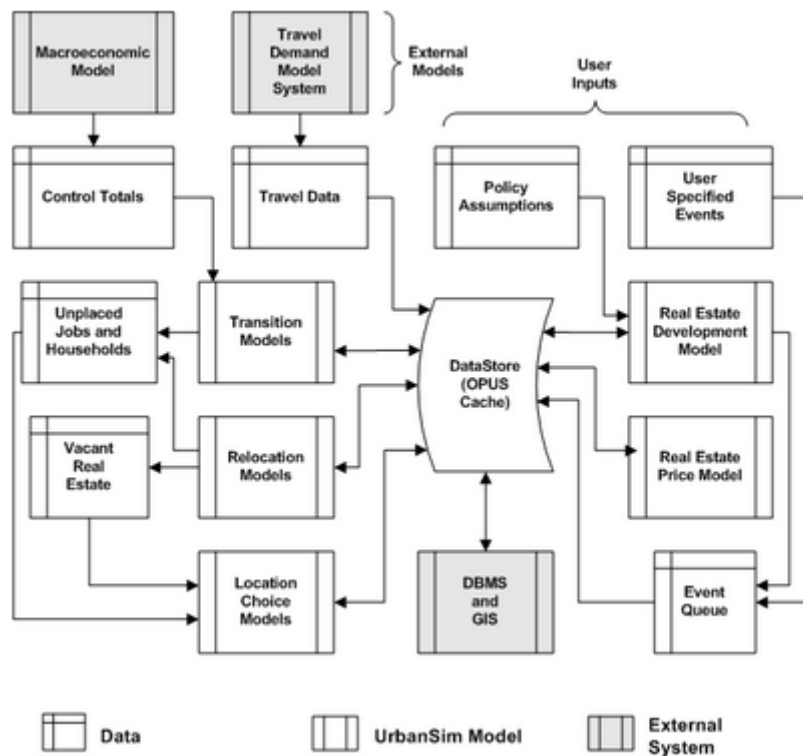


Figura 15: Modelo UrbanSim, dinámica de sistemas.

El diagrama refleja la interacción entre el uso de la tierra y sistemas de modelos de viaje, y entre el modelo de uso de la tierra y el SIG se utiliza para la preparación de datos y visualización.

Tomado de: <http://www.urbansim.org/downloads/manual/dev-version/opus-userguide/node14.html>

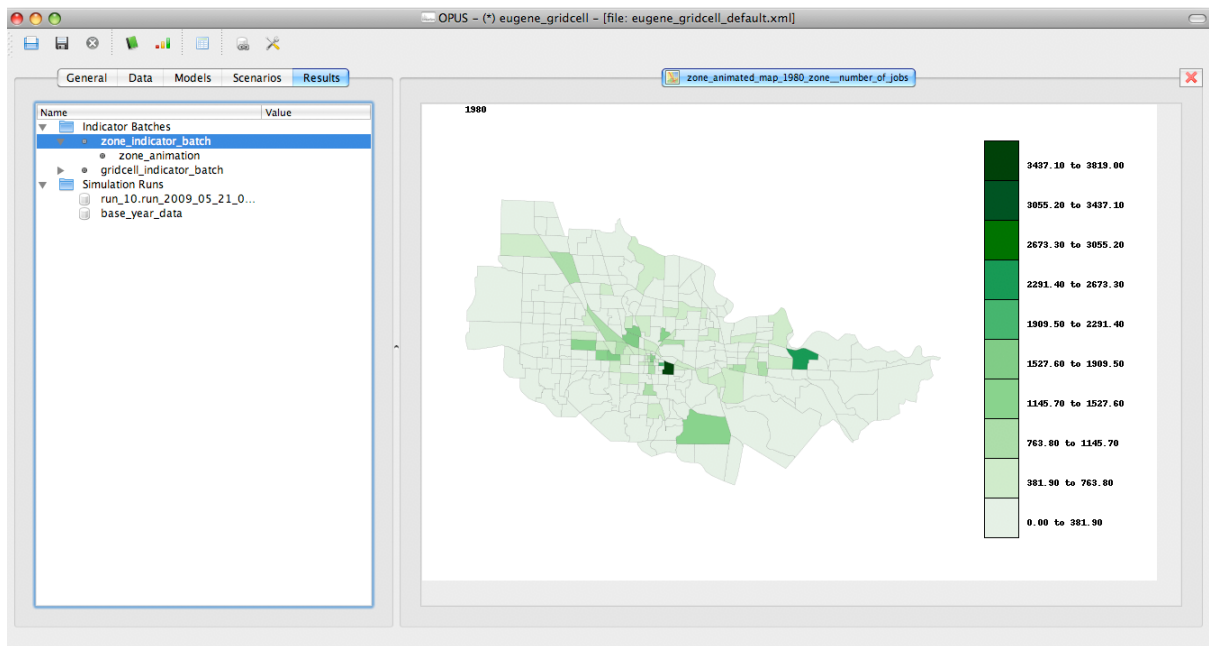


Figura 16: Interfaz Software UrbanSim

Tomado de : <http://www.urbansim.org/downloads/manual/dev-version/opus-userguide/node14.html>

- *SLEUTH (Slope, Land cover, Exclusion, Urbanization, Transportation, and Hillshade.)*

Este sistema fue desarrollado por el Dr. Keith C. Clarke, del Departamento de Geografía de la Universidad de California, Santa Bárbara. Patrocinado por el USGS (United States Geological Survey's Urban Dynamics). El Software SLEUTH funciona a partir del principio de modelación de Autómatas celulares, y se enfoca en estudiar la expansión urbana como un crecimiento incontrolable e ingobernable que surge a partir de la interacción de sistemas autónomos, y como este crecimiento trae consecuencias territoriales y ambientales. Estas inquietudes llevaron a unir esfuerzos en el *Proyecto Gigalopolis* que nació de la colaboración de la Universidad de California y USGS para aplicar el SLEUTH en diferentes territorios de Estados Unidos.

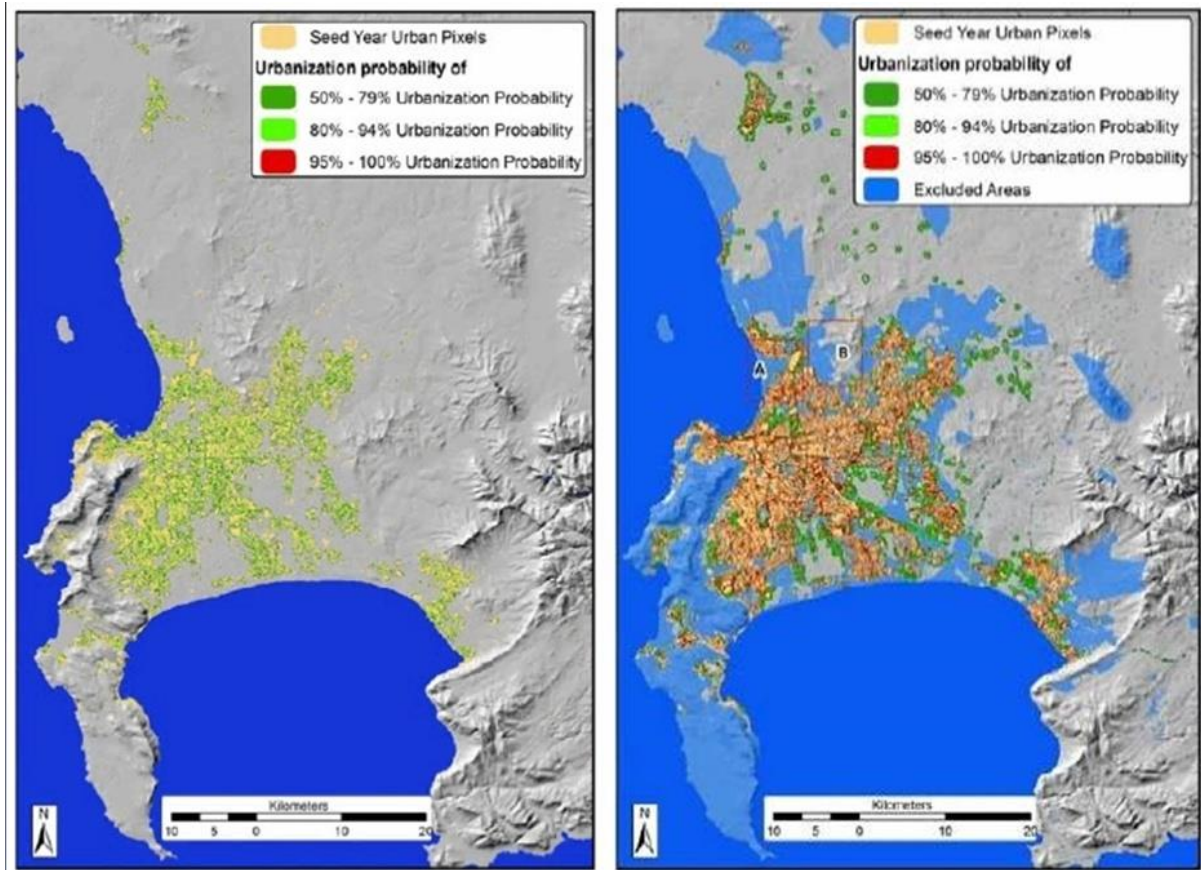


Figura 17: Aplicación crecimiento urbano con SLEUTH

Tomado de : <http://carlosreynoso.com.ar/automatas-celulares/>

- NETLOGO

Creado por Uri Wilensky en 1999, NetLogo es un software para modelar sistemas multiagentes en el estudio de sistemas complejos. Entre las disciplinas que se ven beneficiadas por la aplicación de este software la biología, medicina, física, química, matemáticas, informática, economía, psicología social y desde luego las ciencias sociales. NetLogo se consolida como la próxima generación de lenguajes de modelado multiagente incluyendo StarLogo y StarLogoT.

“ Los modeladores pueden dar instrucciones a cientos o miles de "agentes" todos operando independientemente. Esto hace que sea posible explorar la conexión entre el comportamiento a nivel micro de los individuos y los patrones de nivel macro que surgen de su interacción.”

(Portal web NetLogo. Tomado de: <http://ccl.northwestern.edu/netlogo/docs/>)

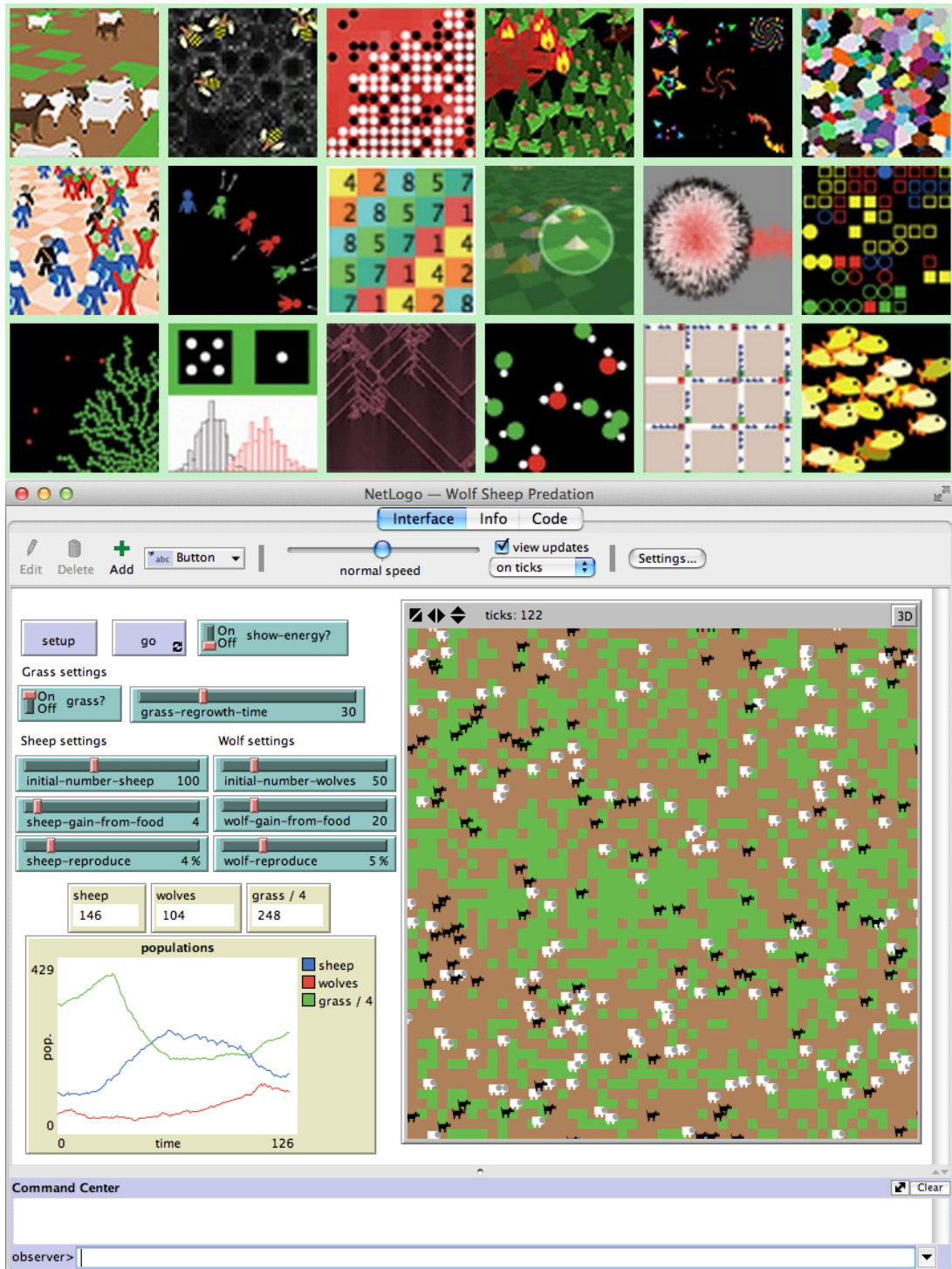


Figura 18: Interfaz Netlogo

Tomado de: <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/en/5/5c/Netlogo-ui.png>

- SIG (Sistemas de Información Geográfica)

Los SIG son herramientas computacionales que conforman un sistema integrado para gestionar y analizar sistemas complejos de información espacial, este sistema integra, almacena, analiza, edita, comparte información referenciada geográficamente. La base de un SIG son capas de información espacial organizada en un formato digital que da cuenta de variables (formato raster) y objetos (formato vectorial), esta estructura permite combinar en un sistema información con orígenes y formatos muy diversos.

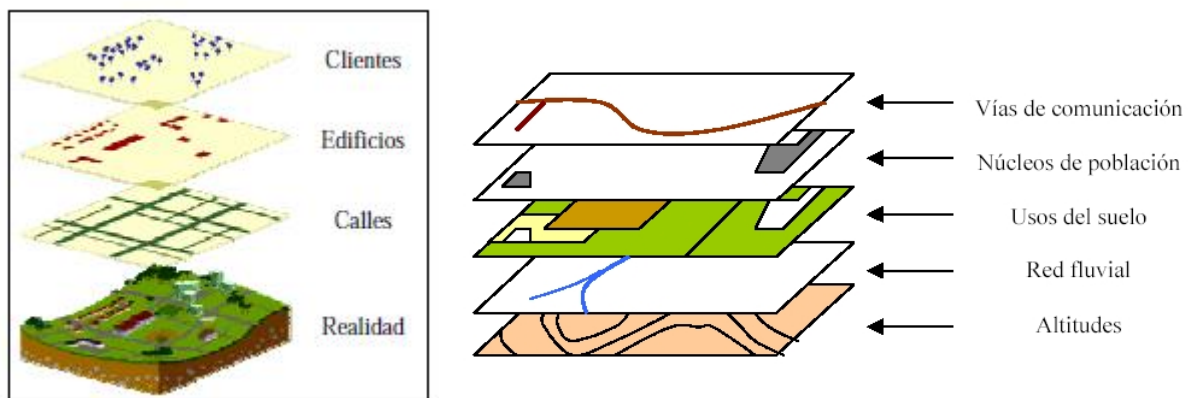


Figura 19: Esquema SIG

Tomado de: Peña, 2006 p. 3 y <http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Sig.jpg>

En 1990, el *National Center for Geographic Information an Analysis* (NCGIA) de estados Unidos, define los SIG como “sistema de hardware, software y procedimientos elaborados para facilitar la obtención, gestión, manipulación, análisis, modelado, representación y salida de datos espacialmente referenciados, para resolver problemas complejos de planificación y gestión”. (Peña, 2006. P. 4)

Por su versatilidad en la integración de la información y las diferentes técnicas de análisis, los SIG tienen diversas aplicaciones:

1. Científicas: medioambientales y relacionadas con el espacio, desarrollo de modelos empíricos, modelización cartográfica, modelos dinámicos y teledetección.
2. Gestión: cartografía automática, información pública, catastro, planificación física, ordenación territorial, planificación urbana, estudios de impacto ambiental, evaluación de recursos y seguimiento de actuaciones.
3. Empresarial: marketing, estrategias de distribución, planificación de transportes y localización óptima.
(Peña, 2006 p.5)

Entre las tareas comunes que se ejecutan, se cuentan:

- Organización de datos, para sustituir mapas analógicos por mapas digitales.
- Visualización de datos, de acuerdo con los niveles de información y el contexto deseado.
- Producción de mapas, con rejillas de coordenadas, escala gráfica, numérica y leyendas
- Consulta espacial, para determinar las propiedades de un objeto o del lugar.
- Análisis espacial, gracias a la combinación de capas y al cruce de datos.
- Previsión, uno de los propósitos es el de verificación de escenarios, modificando parámetros para evaluar diferentes eventos y su impacto en el sistema de acuerdo con la variación de las condiciones.
- Creación de modelos, gracias a la capacidad de almacenamiento, recuperación y análisis de datos espaciales, esta plataforma es ideal para desarrollar y aplicar modelos distribuidos espacialmente y validar escenarios hipotéticos.

(Peña, 2006)

a) *ArcGIS+*: es una de las plataformas de Sistemas de Información Geográfica más conocidas y utilizadas posee todas características y propiedades mencionadas anteriormente.

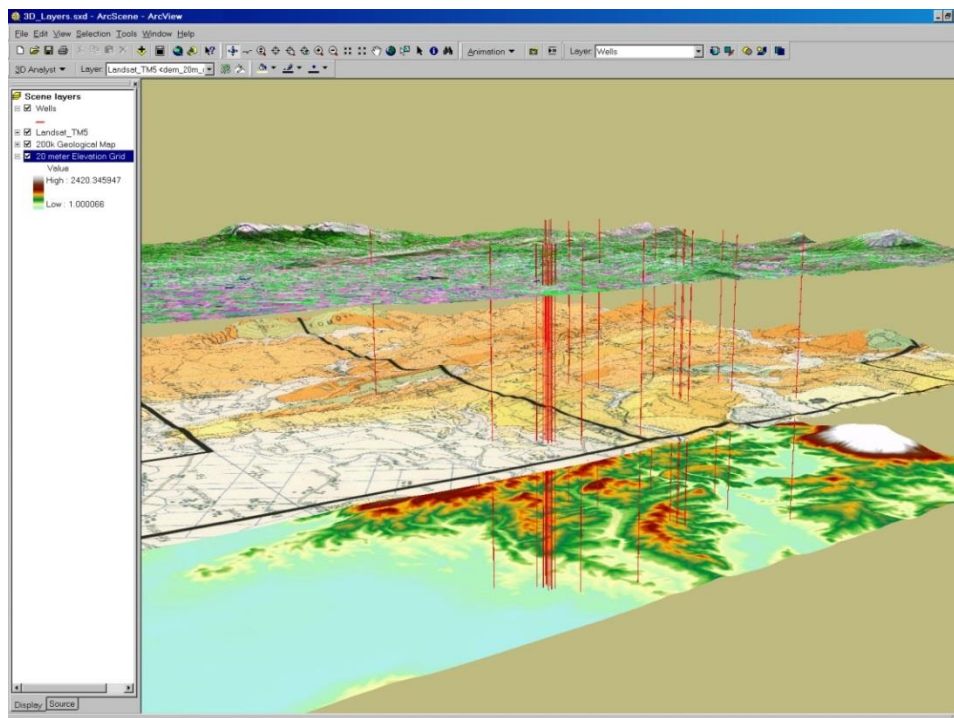


Figura 20: Interfaz Software ArcGis

Tomado de:

[http://www.horton.ednet.ns.ca/staff/webb/geology/7MtnBuild%20Meta%20rxs/ArcGIS%208_x%203D%20Analyst,%20Geographic%20Information%20Systems%20\(GIS\)!_files/albania_arcgis-lg.jpg](http://www.horton.ednet.ns.ca/staff/webb/geology/7MtnBuild%20Meta%20rxs/ArcGIS%208_x%203D%20Analyst,%20Geographic%20Information%20Systems%20(GIS)!_files/albania_arcgis-lg.jpg)

b) *ENVI* : Este software SIG, está diseñado para procesar y analizar imágenes geospaciales, se integra con ArcGIS , emplea diferentes métodos científicos automatizados para extraer información georeferenciada de imágenes hiperespectrales, multiespectrales pancromáticas, como las imágenes compuestas por bandas del satélite LANSAT de la NASA que veremos más adelante en el experimento de aplicación.

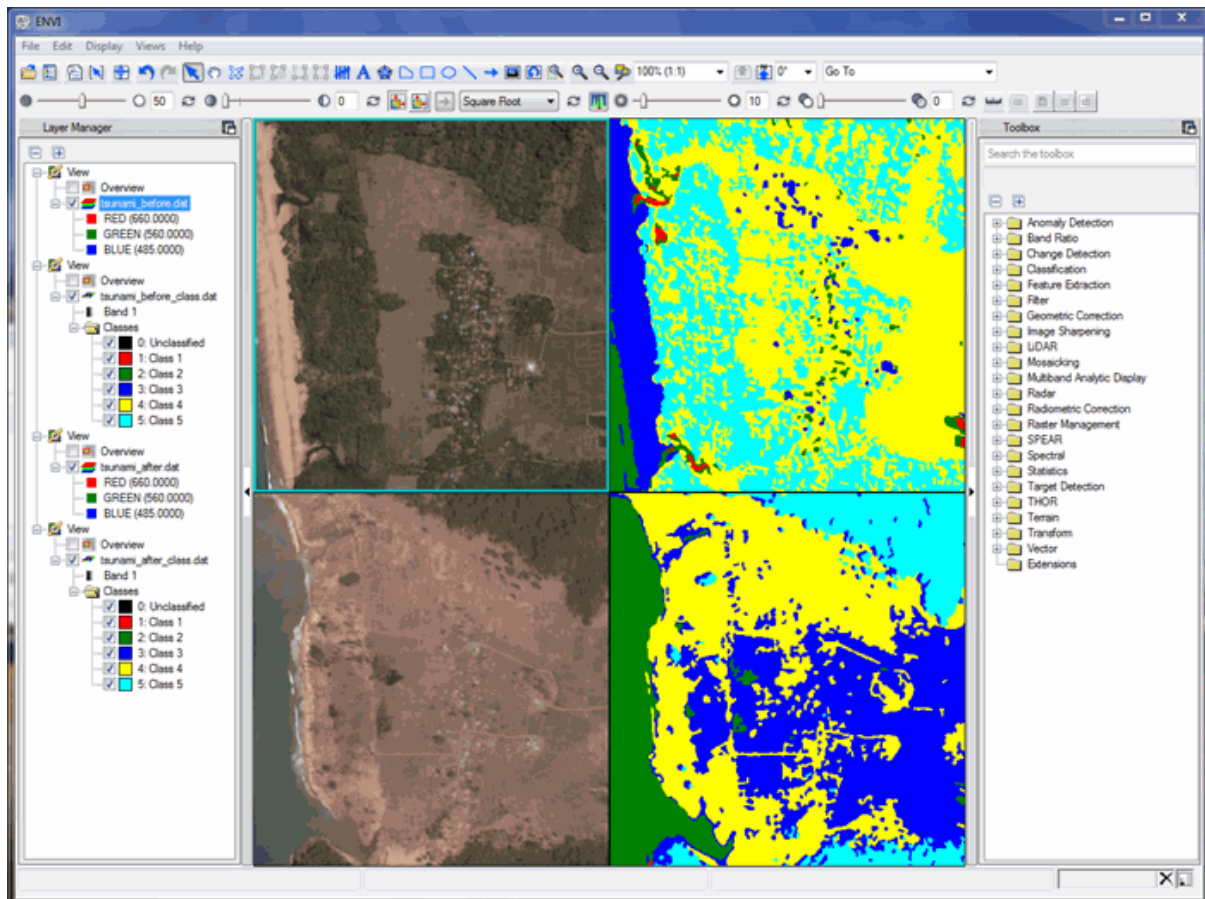


Figura 21: Interfaz Software Envi

Tomado de <http://www.exelisvis.com/docs/html/images/newENVImultiview.gif>

2.5 Experimento: Análisis Computacional de Crecimiento Urbano, Villavicencio 1986 -2012

El ejercicio que describiremos a continuación es un experimento de modelación cuyo propósito es emplear algunas herramientas y programas mencionados en el capítulo anterior, para realizar un análisis computacional de crecimiento urbano que pueda ser aplicado a cualquier asentamiento poblacional.

El proceso comenzó con la extracción y compilación de datos (en este caso geográficos) de imágenes multiespectrales del satélite LANSAT 7 de la NASA, luego se analizaron con programas SIG como ArcGIS y Envi y más adelante se procedió a determinar los autómatas celulares y establecer los parámetros para construir un modelo básico en NetLogo. Cabe mencionar que el objetivo de este experimento es aplicar algunos de los conocimientos y conceptos trabajados, para dar una idea de cómo la Arquitectura y el Urbanismo puede beneficiarse al emplear estas herramientas en el análisis urbano. A continuación explicaremos con detalle el proceso.

Para este caso tomamos a Villavicencio como área de estudio por los siguientes motivos:

- En primer lugar, era necesario escoger una población que no fuera tan grande como Bogotá para que el ejercicio no fuera demasiado complejo, ni tan pequeña para que las imágenes satelitales tuvieran la resolución necesaria.⁴
- En segundo lugar, la población debería estar ubicada hacia el oriente del país más allá de las cordilleras, debido a las altas precipitaciones y la densidad de la nubosidad que impide obtener imágenes claras de esta geografía.⁵

⁴ En el caso que la población de estudio sea demasiado pequeña, es posible comprar las imágenes en alta resolución a compañías privadas, como Digitalglobe, o a través de distribuidores autorizados como PROSIS en Colombia, una imagen pequeña dependiendo el área puede estar a un costo aprox. de 700.000 pesos.

⁵ Si el asentamiento está ubicado en zonas con bastante nubosidad y es casi imposible conseguir una imagen limpia, es posible procesar las imágenes de Radar o Lidar, es una tarea mucho más compleja y que requiere otro tipo de procedimientos y expertos especializados.

1. Busca Imágenes multiespectrales del satélite LANSAT NASA

Una imagen multiespectral captura los datos geográficos en frecuencias específicas en todo el campo electro magnético y permite la extracción de información que el ojo humano no puede percibir, en bandas rojo, verde y azul. Por su precisión y la capacidad de cuantificar la información que se extrae, se utilizan para estudiar la cobertura vegetal de los bosques, los cultivos, los recursos hídricos, la geología, y en este caso, el uso de la tierra.

Para obtener estos datos geográficos utilizamos el banco de imágenes del Satélite LANSAT de la Nasa, desde 1972 ha recopilado imágenes de la tierra que le permite a los científicos estudiar los cambios en la estructura natural.

Tenemos dos portales donde podemos extraer esta información, <http://reverb.echo.nasa.gov/> y <http://glcfapp.glcf.umd.edu:8080/esdi/> podemos acceder de forma gratuita a estas imágenes, en el segundo portal es necesario hacer un registro de usuario.

The image shows a screenshot of the Earth Science Data Interface (ESDI) website. The top section features the NASA logo and the text 'National Aeronautics and Space Administration' and 'EOSDIS NASA's Earth Observing System Data and Information System'. The main navigation bar includes 'EOSDIS Home', 'Reverb Home', 'About', and 'Tutorial'. The central area is titled 'Step 1: Select Search Criteria' and contains a 'Spatial Search' section with a map of the world and a search box containing the coordinates '4 96667, -74 61667'. To the right of the map is a 'Search Terms' section with a text input field containing 'MODIS Fire AST_L1A'. Below the map is a 'Temporal Search' section with 'START' and 'END' date pickers. The bottom section is titled 'Step 2: Select Datasets' and shows a search for 'Landsat 7 Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+) V1'. The website footer includes a 'Welcome to the Earth Science Data Interface (ESDI) at the Global Land Cover Facility' message, a 'Tips' section, 'Other Links', and an 'ESDI Login' form with fields for 'Email:' and 'Password:'. The login form also includes 'Submit', 'Register', and 'Lost password?' buttons.

Figura 22: Pagina web para búsqueda de imágenes LANSAT

Una vez en los portales ingresamos los datos de búsqueda del área de estudio, seleccionando el satélite Landsat 7, luego de esto, se despliega un listado de imágenes y podemos hacer una pre visualización para proceder luego a descargar el archivo con las bandas.

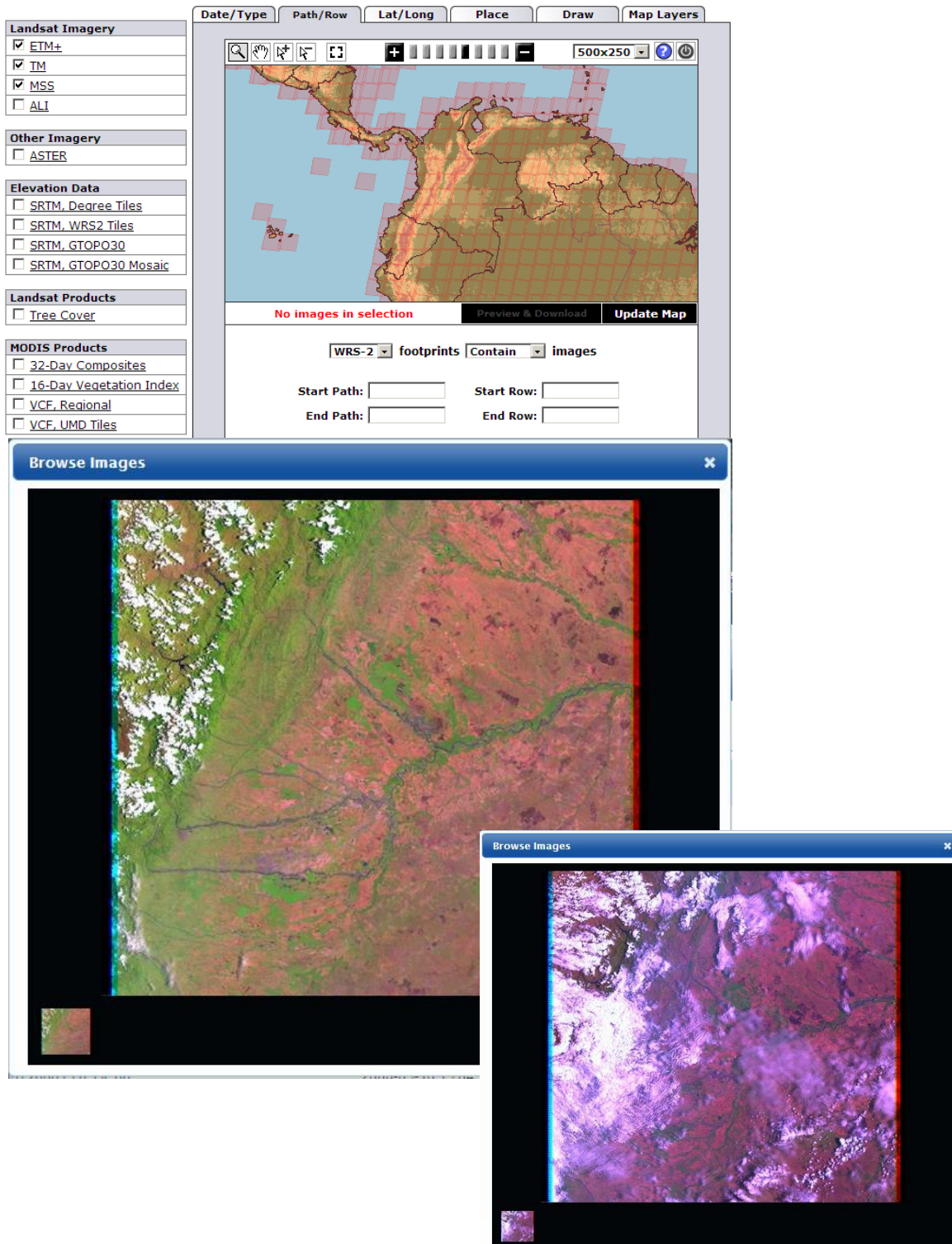


Figura 23: Pre visualización de imágenes satelitales para descarga.
(Captura de Pantalla)

2. Cargar y agrupar bandas en ENVI

Luego de descargar los archivos .zip nos dirigimos al programa ENVI para pegar las bandas en una sola imagen, proceso similar a pegar una serie de layers o capas de un archivo.

La imagen resultante es de falso color que permite al ojo humano ver en relieve y contraste los detalles casi imperceptibles.

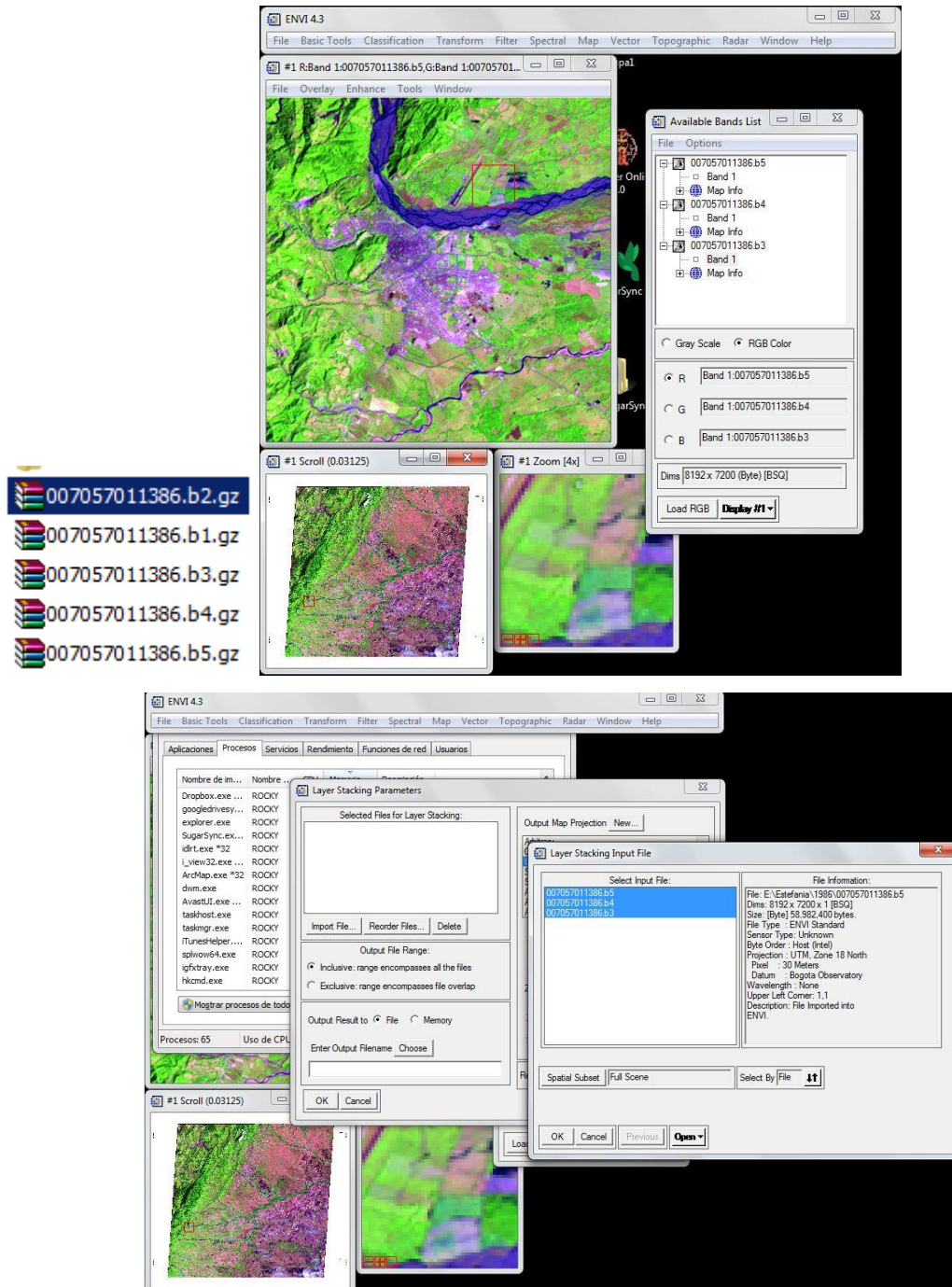


Figura 24: Carga y agrupación de bandas en Envi
(Captura de Pantalla)

3. Llevar la imagen a ArcGIS y recortar área de estudio.

Con las bandas agrupadas en ENVI, llevamos la imagen a ArcGIS, identificamos el área de estudio dibujamos un polígono y recortamos con la herramienta clip.

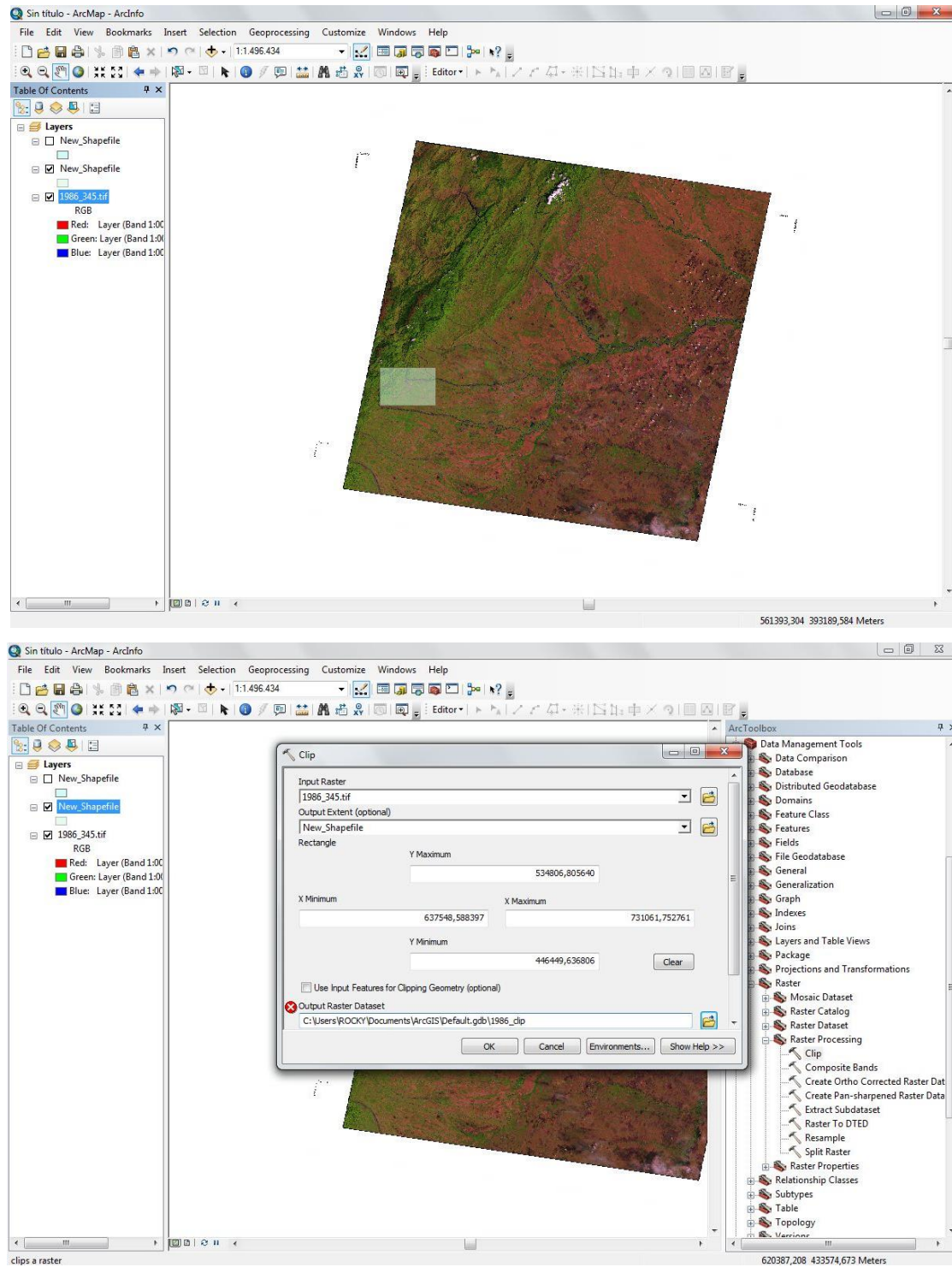


Figura 25: Recorte de área de estudio en ArcGis
(Captura de Pantalla)

4. En ENVI hacer clasificación ROI (Region of Interest)

Con la imagen recortada, volvemos a ENVI y hacemos la clasificación ROI, esto quiere decir que a partir de una toma de muestras, el software automáticamente va categorizar las coberturas que identifiquemos en la imagen. En este caso cobertura vegetal, urbana y el río.

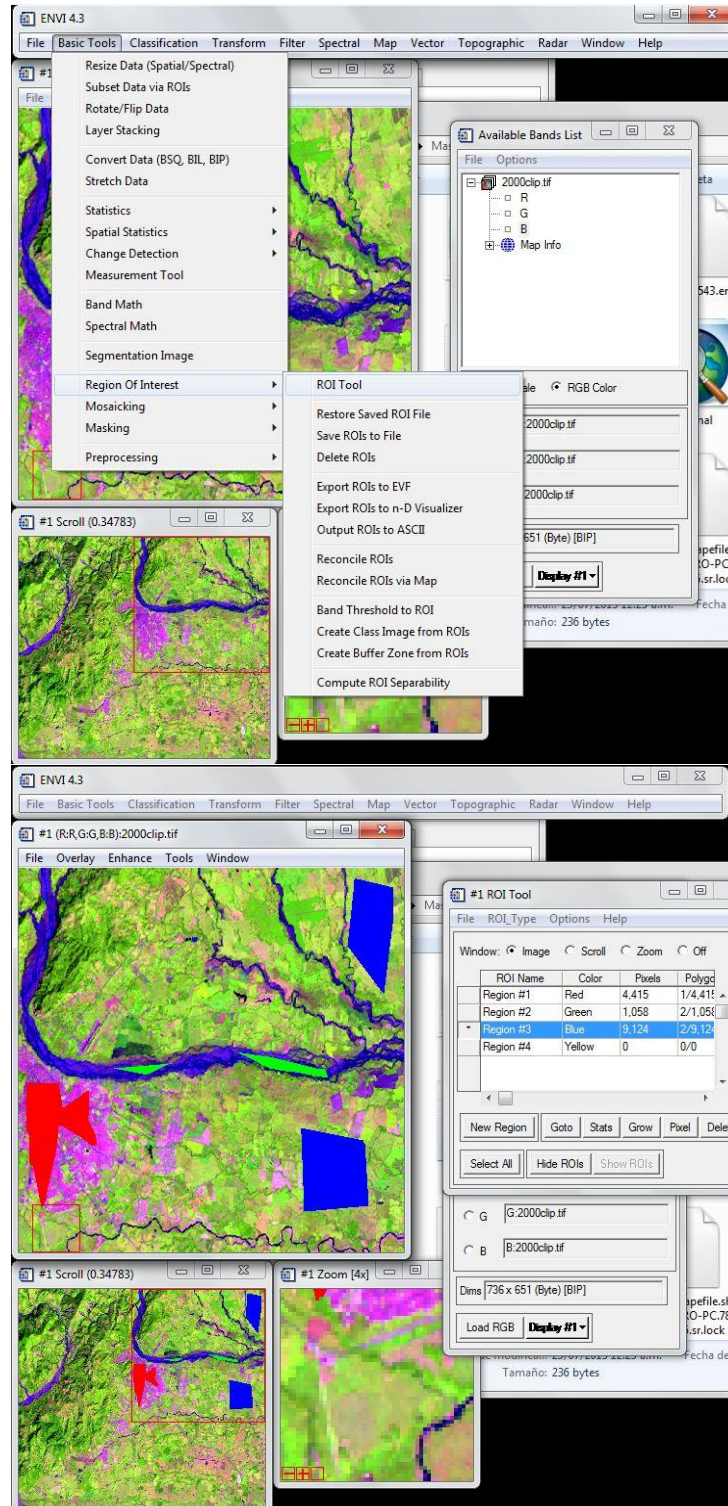


Figura 26: Clasificación ROI en Envi
(Captura de Pantalla)

5. Pasar la clasificación a un formato de vectores e importarlo a ArcGIS

Esto permite que se aplique la clasificación a toda el área y genere un formato de imagen que pueda ser trabajado en ArcGIS y allí se asignan los colores correspondientes a la categoría.

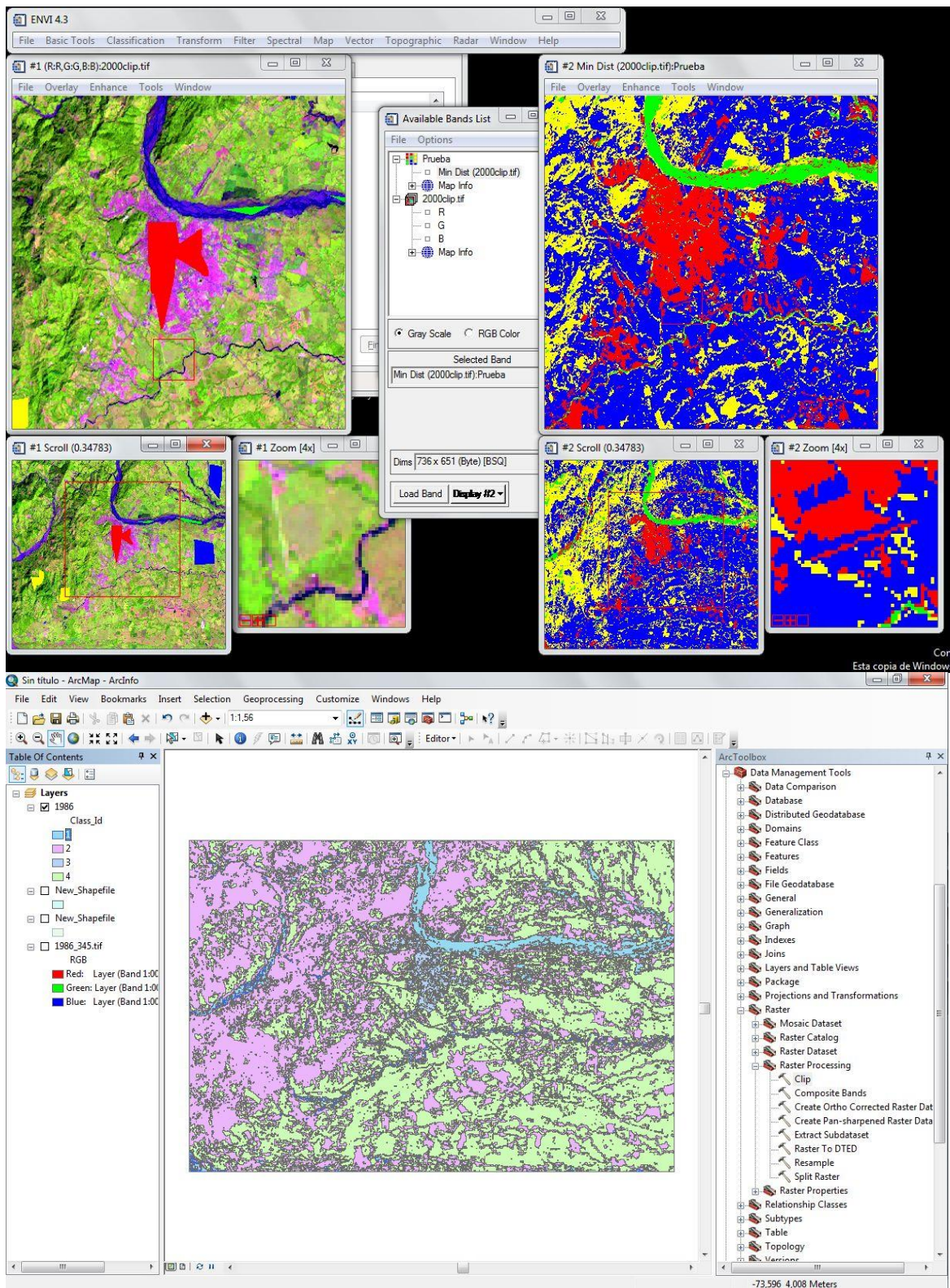


Figura 27: Formato vectores
(Captura de Pantalla)

6. Calcular los cambios a través del tiempo.

Los pasos anteriores se realizaron con cada una de las imágenes seleccionadas (1986, 1992, 2000, 2007 y 2012) estos años se escogieron porque fueron las imágenes con mejor resolución y nivel de detalle que obtuvieron de la base de datos del satélite de manera gratuita.

A continuación cada una de las imágenes se lleva a ArcGIS para comparar las categorías año a año y calcular los cambios en la ocupación del suelo, para este proceso se establece una ecuación que se traduce de la siguiente manera:

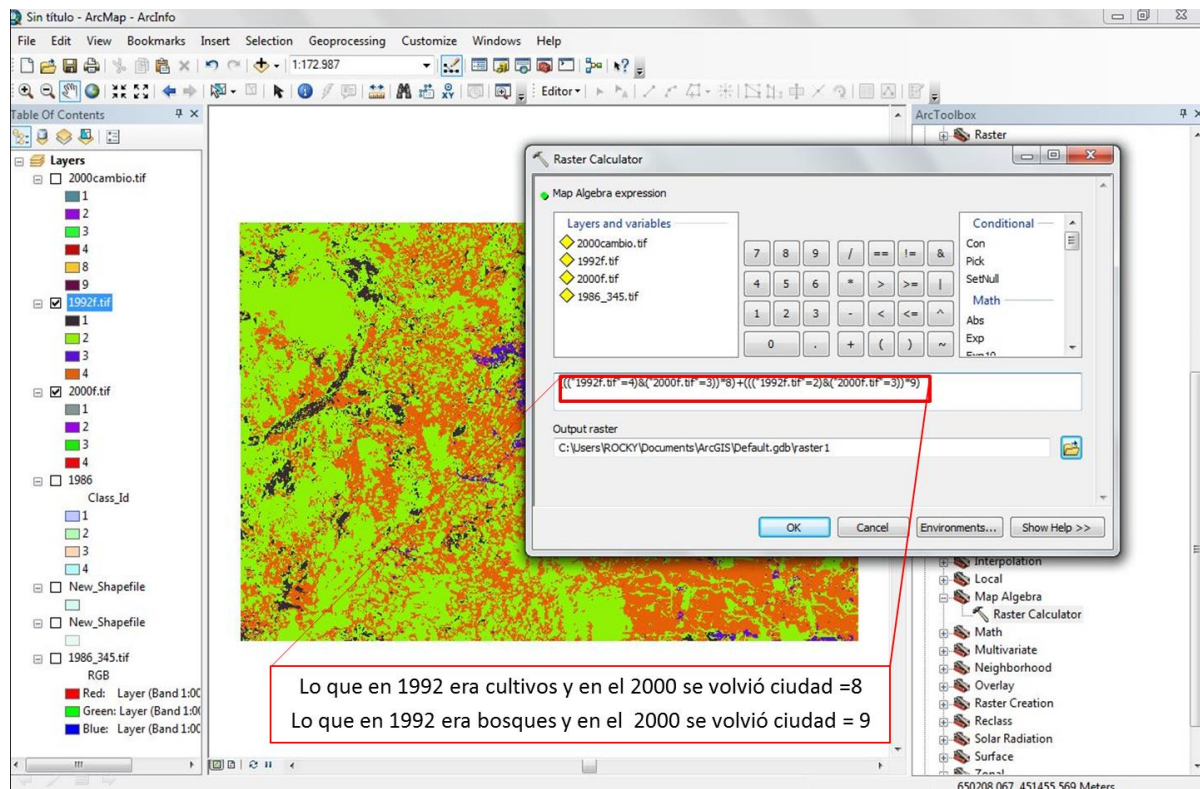


Figura 28: Calcular cambios en ArcGis
(Captura de Pantalla)

El resultado que obtendremos será una imagen que contiene el crecimiento urbano de dos años comparados, diferenciados por colores, (1986 vs. 1992), (1992 vs. 2000), (2000 vs. 2007), (2007 vs. 2012) y una imagen final para comparar el crecimiento urbano en 27 años de Villavicencio (1986 vs. 2012). A continuación presentamos las imágenes de este proceso.

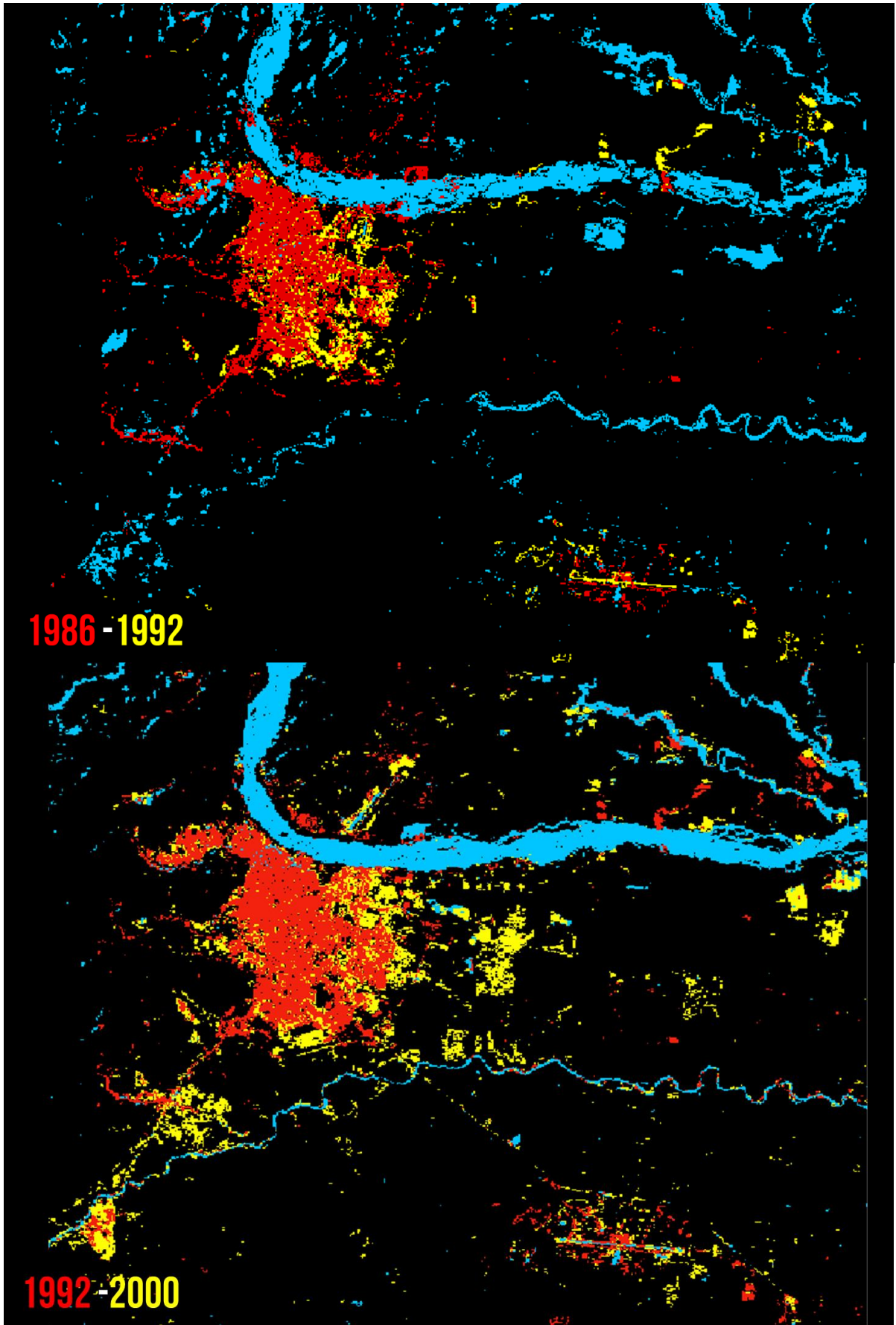


Figura 29: Comparación crecimiento Villavicencio (1986 vs 1992) y (1992 vs 2000)
(Captura de Pantalla)

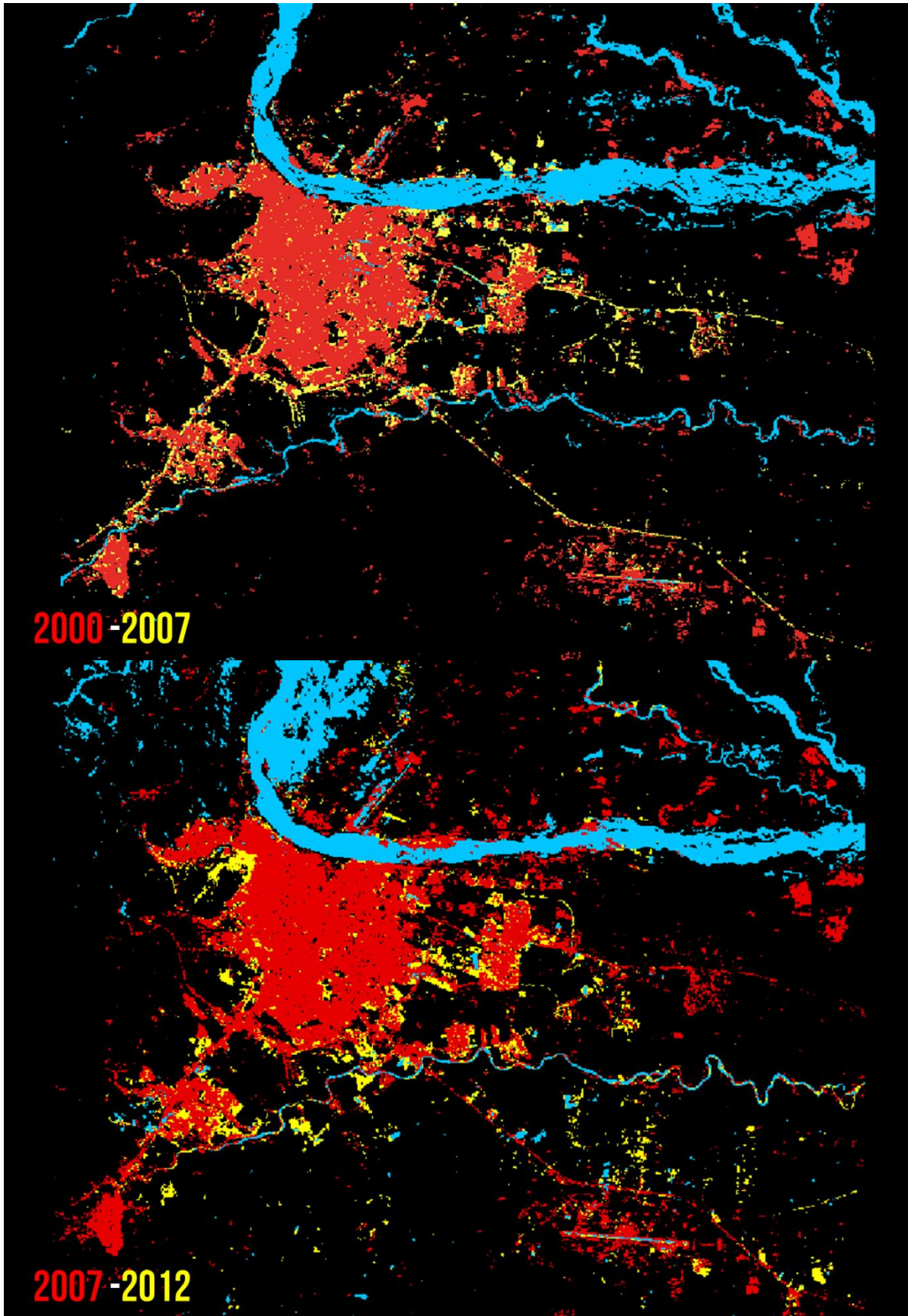


Figura 30: Comparación crecimiento Villavicencio (2000 vs 2007) y (2007 vs 2012)
(Captura de Pantalla)

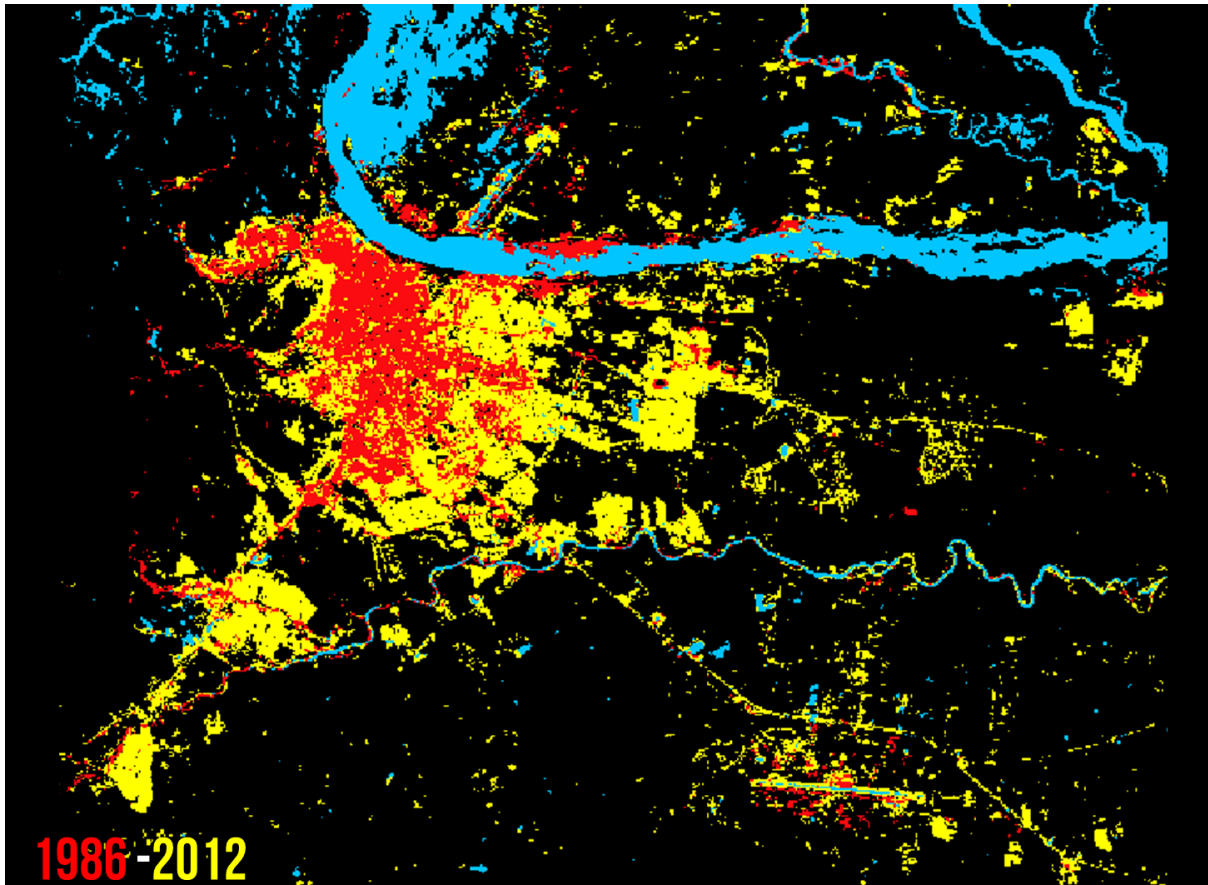


Figura 31: Comparación crecimiento Villavicencio (1986 vs 2012)

(Captura de Pantalla)

Hay varios elementos que podemos resaltar de este ejercicio con los SIG, que sin duda contribuyen notablemente los métodos y el nuevo conocimiento para la Arquitectura y el Urbanismo.

1. *Precisión en la información:* Una de las ventajas de los SIG es que permiten analizar y clasificar la totalidad del área de estudio, incluyendo aquellos asentamientos y características geográficas que son imperceptibles para el ojo humano, como lo podemos ver en la imágenes hay varios pixeles de información minúsculos que representan mínimos asentamientos y salen a la luz gracias a la precisión y la alta granularidad que puede alcanzar el software.
2. *Imagen numérica cuantificable:* Emplear estos sistemas para realizar estudios de crecimiento urbano y análisis de ocupación del suelo permite analizar diferentes sistemas con una precisión matemática, ya que estos pixeles se traducen en datos que pueden ser procesados en lenguajes de programación, para identificar parámetros de comportamiento, modelar problemas y trabajar con un sin número de variables al mismo tiempo. Lo que constituye una gran ventaja frente a los métodos tradicionales de análisis urbano enfocados en cartografías (análogas).

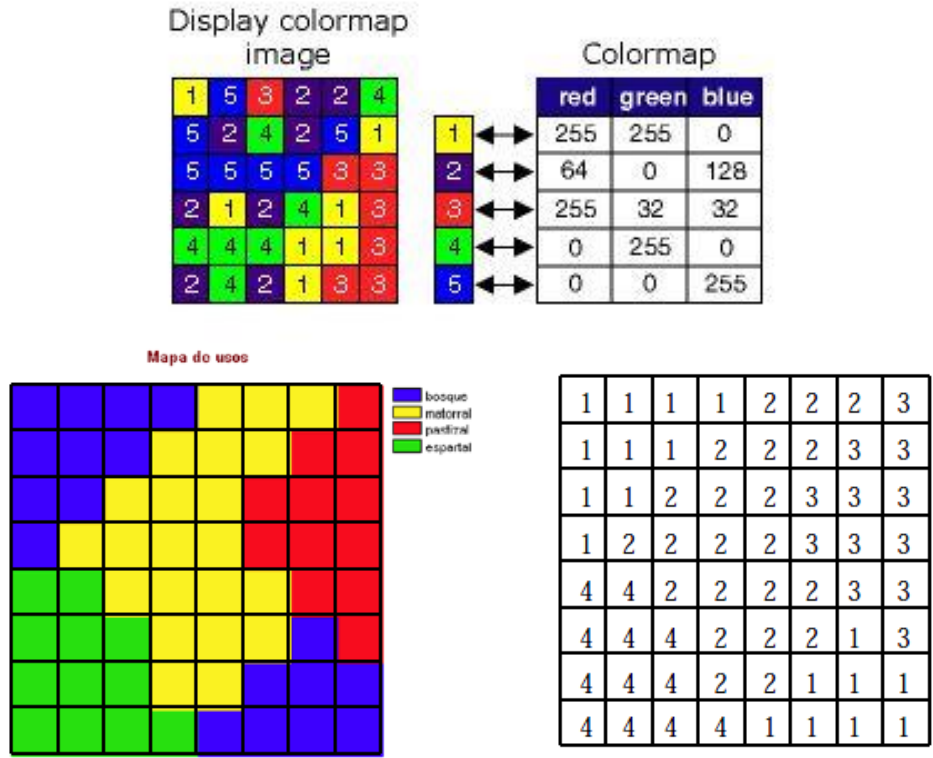


Figura 32: La Imagen Numérica
Codificación de datos en un mapa raster
 Tomado de: Peña, 2006 p.28)

3. *Agregación de niveles de información:* Adicionales a la información geográfica, se pueden incluir y georeferenciar un sinnúmero de variables, por ejemplo, la densidad de población, datos sobre economías e industrias, es posible investigar sobre políticas públicas y planeación en relación a los periodos de gobierno para mapear el impacto de políticas de desarrollo en una población específica.

La metodología heurística caracterizada por seguir lógicas no lineales, nos permite construir caminos específicos para estudiar problemas complejos cuyas variables crecen exponencialmente, para esto, basta emplear alguna técnica de modelado computacional y agregar los niveles de información de acuerdo al comportando el sistema.

Luego de obtener la información y los datos con los que vamos a trabajar, en este caso, datos geográficos, vamos a continuar con el experimento de modelación, y cabe resaltar para esta segunda etapa, que más allá de los resultados que se puedan obtener,⁶ se trata de crear un

⁶ A este respecto cabe aclarar que los procedimientos siguientes por su manejo de variables y lenguajes matemáticos muy específicos, van más allá de los conocimientos de la autora, y del dominio de la Arquitectura.

camino ensayando algunas de las herramientas que vimos anteriormente para intuir como podría desarrollarse el modelo y tener claros procedimientos básicos, de igual manera, comprender el proceso de construcción del modelo, permite al experto pensar los problemas para que puedan ser modelados y trabajar de manera más eficiente en equipo con el modelador.

7. Reducir Granularidad

Para este ejercicio en específico, que es un experimento sencillo con el software para modelar el crecimiento urbano, se planteó la posibilidad de reducir la granularidad de los elementos a analizar. Esto quiere decir que los niveles de detalle van a ser pocos, para poder ilustrar de manera sencilla el proceso a seguir.

A continuación con el uso de Photoshop, dibujamos una rejilla y se realiza un ejercicio manual de pixelación de la imagen, agrupamos la cantidad de píxeles de menor tamaño y les damos el color que predomine en la mayoría.

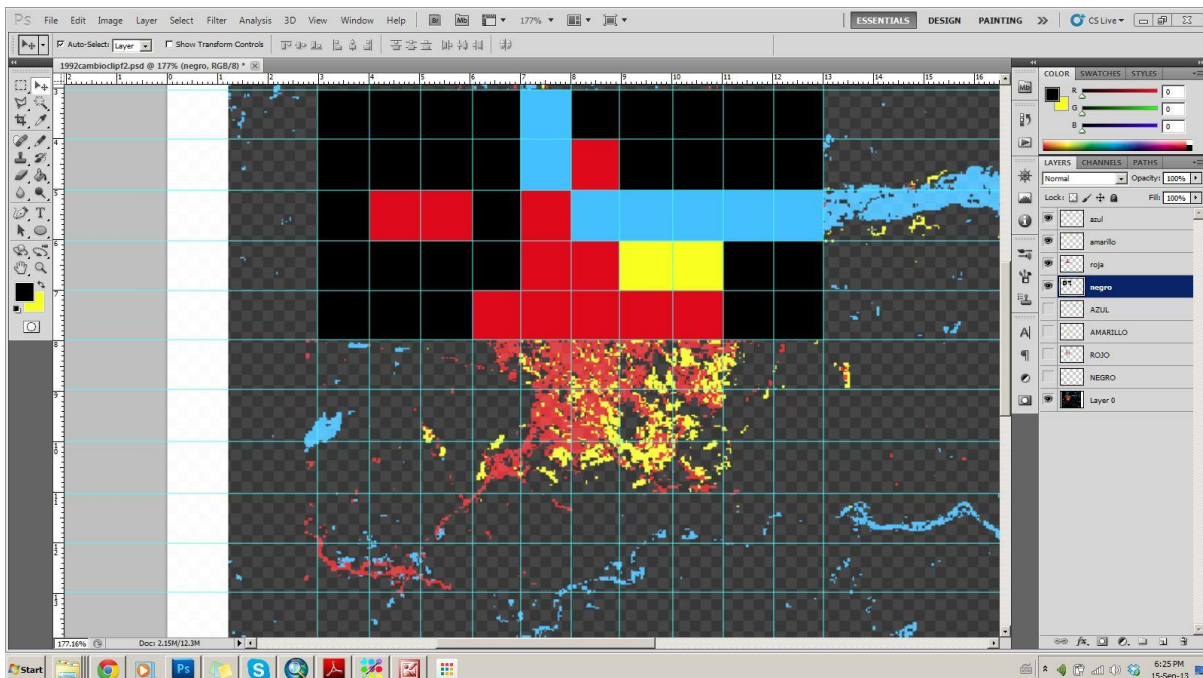


Figura 33: Reducción de Granularidad, identificación autómatas celulares
(Captura de Pantalla)

Por tanto el objetivo no es obtener resultados contundentes, -para esto se necesitaría de un equipo experto en programación, algoritmos genéticos y redes neuronales.- sino ilustrar las posibilidades del método.

El paso siguiente es importar la imagen a un formato de celdas numeradas en Excel con las categorías correspondientes, 1= Río, 2= Cobertura Vegetal, 3= Cobertura Urbana, 4= Cambio en el crecimiento.

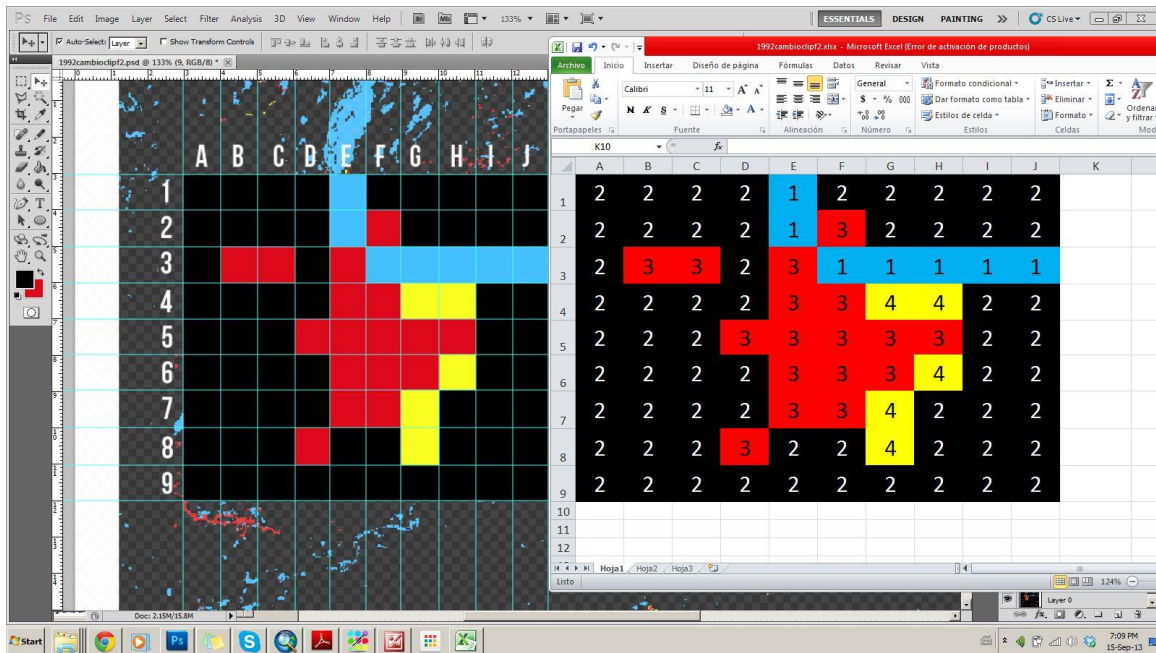


Figura 34: Identificación cobertura de autómatas
(Captura de Pantalla)

Sin embargo para simplificar el procedimiento, reducimos las categorías a dos:

2= Cobertura Vegetal y 3= Cobertura urbana

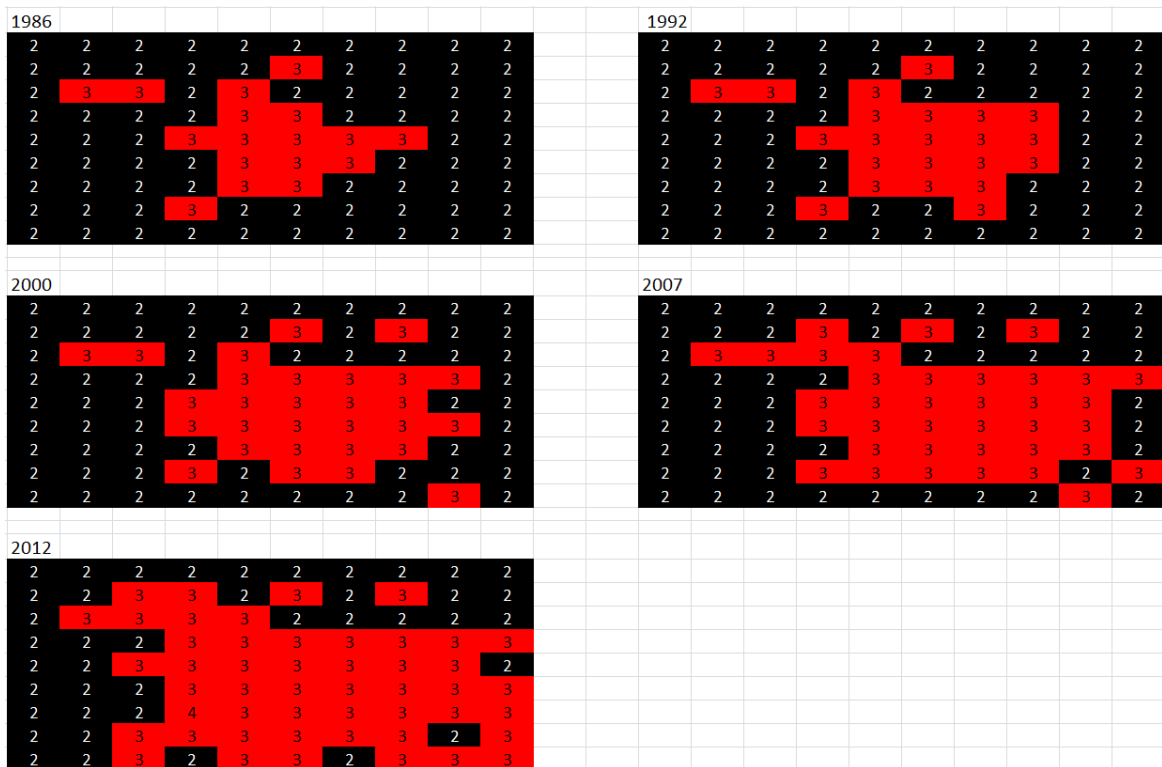


Figura 35: Identificación de Autómatas por cada año
(Captura de Pantalla)

8. Cálculo de probabilidades

Con base en las categorías anteriores debemos calcular las probabilidades del cambio de cada uno de los autómatas de un año a otro. Para esto teniendo en cuenta las vecindades en la construcción de autómatas celulares, utilizamos para el análisis la vecindad de Moore, de tal manera que la celda calculada será el centro de la vecindad de un grupo de 9 vecinos.

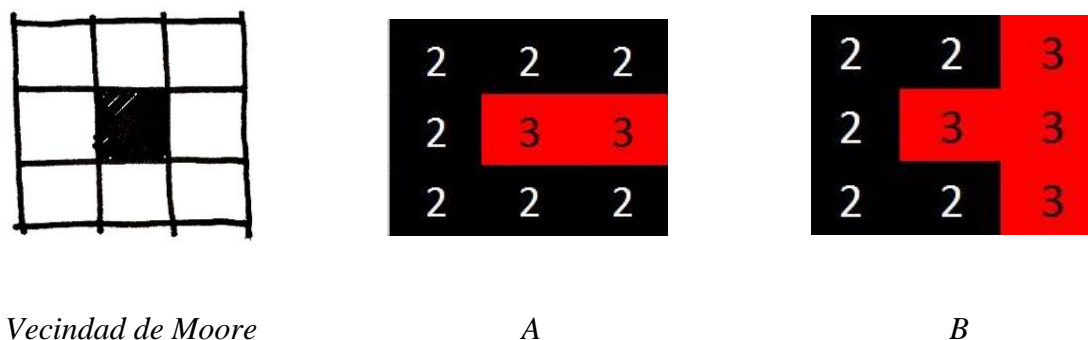


Figura 36: Vecindad de Moore para cálculo de probabilidades
(Captura de Pantalla)

Por ejemplo en la vecindad a) el autómata central tiene un vecino a la derecha, en la vecindad b) el autómata central tiene 3 vecinos a la derecha. A partir de este análisis realizamos el cálculo de probabilidades del cambio de los autómatas en el tiempo. Calculando el número de vecinos.

TABLA CÁLCULO PROBABILIDADES					
# Vecinos		1986-1992	1992-2000	2000-2007	2007-2012
0	N	35	29	16	14
	Ncam	0	2	0	0
	Pcambio	0	0.0689655	0	0
1	N	19	19	17	11
	Ncam	1	0	2	2
	Pcambio	0.05263158	0	0.1176471	0.1818182
2	N	8	9	16	11
	Ncam	1	2	1	2
	Pcambio	0.125	0.2222222	0.0625	0.1818182
3	N	6	5	3	7
	Ncam	2	0	2	5
	Pcambio	0.33333333	0	0.6666667	0.7142857
4	N	3	4	4	5
	Ncam	1	3	2	1
	Pcambio	0.33333333	0.75	0.5	0.2
5	N		2	4	4
	Ncam		0	1	1
	Pcambio		0	0.25	0.25

Figura 37: Cálculo de vecinos y probabilidades por años
(Captura de Pantalla)

PROBABILIDADES				
# Vecinos	1986-1992	1992-2000	2000-2007	2007-2012
0	0	0.0689655	0	0
1	0.0526316	0	0.1176471	0.1818182
2	0.125	0.2222222	0.0625	0.1818182
3	0.3333333	0	0.6666667	0.7142857
4	0.3333333	0.75	0.5	0.2
5		0	0.25	0.25

Figura 38: Resultado cálculo de probabilidades por años
(Captura de Pantalla)

A partir de estos resultados, podemos tomar un caso de estudio de un asentamiento que se esté comenzando a crecer, construir un modelo computacional y aplicar estas probabilidades para calcular el crecimiento de los vecinos empleando las mismas porciones de años. Estas serían las reglas que permitirían comprender algunos aspectos del comportamiento y la evolución del sistema a través del tiempo.

CAPÍTULO 3: PROSPECTIVAS ESTÉTICAS

*...Si quieres construir un barco,
no reúnas a las personas para recoger la madera
y no les asignes tareas y trabajos,
sino, enséñales a anhelar la inmensidad infinita del mar.
- Antoine de Saint Exupéry*



Figura 39: Visualización de dinámicas urbanas de Foursquare

Tomado de: <https://vimeo.com/75404940>

3.1 Ciudades y *Big data*

El mundo se transforma rápidamente en digital, esto cambia por completo la manera como los seres humanos se relacionan consigo mismos y su entorno. Hoy en día una sola persona posee varios dispositivos electrónicos que producen toneladas de información cada minuto, cada segundo: los celulares, GPS, tablets, y los conocidos “*weareables*” (que van desde textiles electrónicos, relojes inteligentes hasta sistemas de monitoreo cardiaco) recopilan paquetes de datos sobre nuestra ubicación, preferencias, consumo, trayectos, actividades, frecuencias, comportamientos, hábitos, recorridos. De la misma manera, en las ciudades se instalan cámaras, sensores, medidores, kioscos digitales que se encargan de compilar información del tráfico, el clima, la velocidad, las emisiones de carbono, el consumo de luz y agua.

La ciudad se constituye en una red inteligente de datos, un sistema complejo donde la información crece exponencialmente y es necesario decodificar e interpretar estas múltiples relaciones que ya no solo ocurren entre seres humanos, sino entre los mismos dispositivos, cada uno de ellos se comunica con el otro sin necesidad de la intervención humana transformando por completo la manera como el mundo interactúa hoy en día (Krum, 2013); la comunicación se produce a partir de códigos numéricos, que son transmitidos de manera inalámbrica, invisibles e imperceptibles y solamente podemos comprender a través de una interfaz digital.

Este proceso constituye un reto para todas las áreas del conocimiento, ¿Cómo acceder a estos lenguajes? ¿Qué herramientas me permiten decodificar esta información? ¿Qué tipo de datos necesito y cómo hacer uso de ellos? Fácilmente podemos caer en una encrucijada, sobra tecnología, sobran datos, pero aún no sabemos qué hacer con ellos. Se llega a lo que se puede conocer como “*analfabetismo por hiperinformación*” (Peláez, 2013) y a este punto se llega: donde *la pregunta ya no es tecnológica sino organizacional*, (Batty, 2012 p. 192) y yo agregaría metodológica. Finalmente, el tema del *Big Data* gira entorno a cómo gestionar la información para generar conocimiento lo suficientemente relevante que soporte la toma de decisiones ¿Por dónde comenzar?

Es indispensable encontrar los mejores mecanismos para integrar este universo de datos y generar valor a los sistemas y servicios de la ciudad, con el propósito de poner esta información al servicio de los ciudadanos, el objetivo: hacer más eficientes y equitativas las ciudades, pero vamos más allá, comprender la naturaleza de estas relaciones para diseñar proyectos que emerjan de las mismas dinámicas urbanas y se adapten a las necesidades de una población en constante cambio, este es el desafío para la arquitectura y el urbanismo en un futuro cercano, plantear nuevas preguntas y vislumbrar caminos para comprender el funcionamiento de la ciudad. ¿Cómo está conectada, cómo genera nuevos datos? Y como estos datos conducen a la construcción de nuevas teorías y modelos relevantes para la comprensión de los fenómenos urbanos, y como se pueden aplicar estos modelos estratégicos para planear la ciudad a partir de este nuevo entendimiento (Batty, 2012) Un nuevo entendimiento que se conoce como el movimiento de Ciudades Inteligentes, este nuevo capítulo, sin duda, nutrirá y guiará los próximos desarrollos para la arquitectura y el urbanismo.

3.2 La imagen numérica

Con el surgimiento de todos los paquetes de información, la visualización, representación y el análisis de datos, adquirieron nuevas perspectivas, gracias a la computación gráfica, la 'imagen' más allá de ilustrar conocimientos o conceptos, se transforma en una representación cuantificable de un fenómeno complejo.

La imagen numérica es el resultado de un ejercicio de modelación, su construcción se produce a partir de ecuaciones matemáticas, que pueden ser transformadas de manera infinita

Los valores numéricos pueden ser ampliados, disminuidos, invertidos, comprimidos o dilatados en los más variados sentidos, dislocados de posición girados, sumados con otros o de ellos restados, todo a través de operaciones matemáticas. El resultado de todos esos cálculos, puede ser visualizado en la pantalla de un monitor, de la misma forma como un concepto abstracto (una ecuación, por ejemplo) también puede tener una expresión geométrica visible. (Machado, 2003, p. 60 - 61)

La imagen numérica es una simulación computacional de un entorno real o imaginado, es un universo donde se puede jugar libremente con elementos, objetivos y reglas, volver atrás o adelante en cualquier etapa, construir fenómenos y adjudicar comportamientos específicos, sin embargo, como constituye una abstracción de un sistema es imposible reconstruir todas y cada una de las condiciones del mismo (en el caso que sea una sistema real).

La capacidad de representar acciones, implica que se pueden tomar decisiones, crear y anticipar escenarios, en el diseño arquitectónico y urbano se está acostumbrado a proyectar nuevas realidades, pero la diferencia sustancial radica en la capacidad de la simulación para experimentar con parámetros, trazar dinámicas, probar hipótesis y obtener resultados, para comprender el posible comportamiento de los usuarios y medir el impacto potencial de dichas intervenciones en el entorno.

“El sistema una vez elaborado, vive su propia vida, explora sus propios límites, descubre sus propias finalidades, se organiza a sí mismo, en fin, se comporta como un mundo aparentemente cerrado, con sus vicisitudes y sorpresas.”(Quéau, 1986 p 117 en Machado 2003)

Se camina hacia nuevos escenarios contruidos por imágenes inteligentes, imágenes que son capaces de actuar sobre sí mismas, transformarse, perfeccionarse e interferir en su ambiente, responder a él, se constituyen en objetos de manipulación, escenarios estratégicos de acción (Machado, 2005) lo que representa un desafío y una gran oportunidad para la Arquitectura y el Urbanismo, desafío para comenzar a formar competencias que faciliten comprender lenguajes matemáticos y una gran oportunidad para trabajar en equipos interdisciplinarios en la construcción de modelos que permitan comprender las dinámicas internas de la ciudades, estudiar la factibilidad de escenarios prospectivos y diseñar proyectos urbanos con criterios de validación suficientemente sólidos.

3.3 Hacia una teoría científica de ciudades

De acuerdo con Michael Batty (2008) a pesar de un siglo de esfuerzos, la comprensión de cómo evolucionan las ciudades sigue siendo lamentablemente inadecuada. Pero las investigaciones que se han adelantando en los últimos años, enfocadas a comprender las ciudades como organismos vivos y complejos, conducen a una nueva teoría integrada de cómo las ciudades evolucionan, se autoorganizan y se adaptan. Esta naciente comunidad de práctica que emerge en la intersección de las ciencias computacionales, la geografía, economía, ecología, estudios sociales y urbanos proporciona nuevos conocimientos sobre el uso de los recursos, la densidad de la población, el crecimiento de las ciudades, las dinámicas urbanas y los retos de sostenibilidad que enfrentaremos en los próximos años.

La construcción de esta nueva teoría, tiene el potencial para enriquecer los enfoques actuales de planificación de la ciudad y reemplazar las estrategias tradicionales de planeación impositiva (de arriba hacia abajo) con prospectivas estéticas que partan de la comprensión interna de las dinámicas urbanas. Del mismo modo, permite evaluar la factibilidad de muchas teorías urbanas que se han desarrollado en los últimos años, a la vez que provee a los planeadores urbanos de herramientas operativas para el procesamiento de numerosos datos empíricos. (Batty, 2008)

Lo cierto es que todavía se desconoce mucho de la naturaleza interna de las dinámicas urbanas, no se tiene una clara idea de que tan grande es una ciudad en términos de la densidad de sus actividades, del volumen de sus construcciones, del espacio natural y la manera en que interactúan las personas, la información y el espacio físico. (Batty, 2008) Todavía quedan muchos interrogantes por resolver y seguirán en la mesa para los desarrollos de los próximos tiempos, esta nueva ciencia tiene el potencial para orientar estas inquietudes.

Finalmente, la pregunta por la sostenibilidad de los espacios urbanos recae directamente en la capacidad de sacar el máximo provecho con el menor uso de recursos, y este nuevo conocimiento permite estudiar las ciudades en términos de su tamaño, escala y forma para comprender qué tipo de geometrías permiten tener una mayor eficiencia energética, y como las distribución óptima de las redes pueden beneficiar este proceso. Lo que lleva a la imperiosa necesidad de estudiar a fondo el funcionamiento de las redes y a su paso,

comprender el “metabolismo de la ciudad” , haciendo uso de modelos computacionales se puede analizar diversas dinámicas urbanas como: ubicación y la densidad de la vivienda, el aprovisionamiento de los servicios públicos, el desarrollo de la industria y los medios de transporte, el consumo de energía, agua, alimentos y la producción de desperdicios y CO₂; con el objetivo de probar la efectividad de diferentes políticas públicas, y la factibilidad de los planes urbanos y escenarios prospectivos.

Hasta ahora hemos comenzado en serio la construcción de teorías de cómo funcionan las ciudades como sistemas complejos. Lo que sí sabemos, sin embargo, es que los planes geométricos idealizados producidos sin tener en cuenta las dinámicas urbanas, no pueden resolver ninguno de las problemáticas urbanas actuales, y esta nueva ciencia nos hace mucho más conscientes de los límites de la planificación. A medida que aprendemos más sobre el funcionamiento de los sistemas complejos, vamos a interferir menos, pero de maneras más apropiada.

Los cambios que hemos propuesto pueden ser mucho más eficaces en la resolución de problemas, que las antiguas formas de planificación. El reto es enriquecer agresivamente esta ciencia y desarrollarla hasta el punto en que puede ser utilizada con éxito para planificar mejor las ciudades. Este no es más que el comienzo. (Batty, 2008, 771)

3.4 Retos y desafíos para la planeación urbana

La planeación urbana y regional, seguirá existiendo, pero ciertamente no en su forma actual.. (Mc Adams, 2008, p. 8)

Comprender las dinámicas urbanas a través de la teoría de la complejidad y las metáforas cambiará radicalmente la manera cómo opera la planeación de las ciudades, sin embargo, es muy temprano para considerar el estado actual de este desarrollo científico como un nuevo paradigma. Existen numerosos ejemplos que demuestran la aplicación de estos conceptos y modelos como una excelente herramienta para el análisis urbano, proporcionando nuevas perspectivas sobre las cuales se puede transformar la disciplina. Mc Adams, (2008) nos ilustra estos posibles escenarios:

- *Abandono de la planificación tradicional de largo alcance:*

La naturaleza lineal y estática de los planes de largo alcance, va en oposición directa a las dinámicas naturales de la urbanización, para McAdams:

Es ridículo pensar que uno puede planear durante 20 años a sabiendas de que factores desconocidos como las recesiones económicas, los cambios tecnológicos, los desastres naturales pueden cambiar la estructura de un área urbana obviando por completo cualquier atisbo de un plan ordenado de desarrollo. (2008, p. 9)

Es necesario continuar en la recolección y análisis de datos, para determinar las necesidades de los diferentes segmentos y examinar los impactos en el posible desarrollo futuro de una ciudad o región, además es pertinente remplazar estos planes por políticas que permitan asegurar múltiples cambios en las metas y los objetivos, de tal manera que respondan a las necesidades de una población en constante cambio.

- *Examen de demanda y oferta de escenarios urbanos y las políticas frente a las opciones de planeación física.*

Con el desarrollo de varios modelos basados en el caos, (Autómatas celulares y sistema de agentes) es posible examinar la oferta y la demanda de diferentes escenarios. Si bien, hacen falta unos años para desarrollar estas herramientas, no hay duda de que son muy útiles para diseñar escenarios prospectivos, ¿qué pasaría si...?

- *Repensar la naturaleza de los procesos*

El ambiente urbano es un sistema en constante cambio, muchos factores hacen impredecibles estas dinámicas, los organismos de planeación urbana deberían enfocarse en desarrollar políticas y procesos, más que en regular la zonificación estática del suelo urbano. Modelar dinámicas urbanas a través del sistema de agentes permite repensar los procesos de organización social para identificar las necesidades de los ciudadanos, y empoderarlos para que actúen en un micro nivel y puedan transformar los ambientes urbanos. Esto sin duda cambia el enfoque impositivo de planeación ‘de arriba hacia abajo’ por un proceso que emerge ‘de abajo hacia arriba’.

- *Cambiar el ambiente urbano*

El entorno urbano de las ciudades es dinámico, es el resultado de numerosas acciones individuales determinadas por unos límites que han sido establecidos por los ‘super agentes’ a través del tiempo: el gobierno, los políticos y las organizaciones. Si se modelan estas relaciones a través de agentes podremos repensar los ambientes urbanos a partir de un nuevo conjunto de reglas para estudiar escenarios alternativos de intercambio, distribución y comportamiento.

- *El nuevo rol de los planeadores urbanos y los organismos de planeación*

“La ciudad ya no es un sistema que se planea y se traza, como una decisión de proyectación, de política o de norma, se trata en cambio de un sistema que emerge.” (Hernández, et, al., 2012, p.71) .

A partir de las metáforas de la complejidad, se construye una nueva perspectiva que redefinirá los límites de la disciplina, que se encaminará a evaluar el comportamiento de los agentes, antes que el espacio físico, ya que este finalmente es el producto de unas dinámicas que moldean y si se quieren ‘esculpen’ territorio. La mirada racionalista y las lógicas positivistas heredadas de la modernidad han quedado atrás, en un proceso natural donde la continua evolución y emergencia de nuevas experiencias y conocimientos, complementan y remplazan los obsoletos. Una de estas ideas que viene a ser replanteada, es la concepción de que la planeación urbana debe ser neutral y separada de la política, dando lugar a que los estudios y recomendaciones se adopten al azar de acuerdo con las ideologías del político de turno. Para ser efectivos en el contexto actual, los organismos de planeación deben actuar con autoridad independiente. (Mc Adams, 2008)

La perspectiva de la complejidad puede contribuir mucho para que el enfoque de la planeación pase de hacer predicciones a trabajar interdisciplinariamente con el gobierno para crear políticas sobre las áreas urbanas donde las múltiples relaciones entre grupos y vecindarios determinen el futuro de las intervenciones, esto gracias al entendimiento de las necesidades e intereses particulares de los ciudadanos y su empoderamiento en la toma de decisiones en cuanto al proceso de planeación. (Mc Adams, 2008)

CONCLUSIONES

La teoría de la complejidad no es la panacea, y puede ser prematuro proclamarla como el nuevo paradigma. Sin embargo, sus metáforas están trayendo nuevas luces y revitalizando diversos temas en maneras que la ciencia de la modernidad había sido incapaz. El desarrollo de la teoría de la complejidad en las bases de las matemáticas y la física, y su transferencia a las ciencias sociales incluyendo el campo del urbanismo (geografía urbana, economía urbana, planeación del transporte urbano, planeación urbana etc.) y sus herramientas (tecnologías de análisis espacial y estadístico etc.) demuestran una vez más la solidez de las metáforas y sus conceptos. Se espera que estos sean estudiados más adelante y posiblemente, lideren los cambios en la percepción de los fenómenos urbanos y en la práctica de la planeación.” (Mc Adam, 2008 p. 13)

- La complejidad de la ciudad hasta ahora está siendo comprendida como condición de la evolución tecnológica y cultural, esto implica una postura radical sobre los enfoques de planeación urbana utópicos, idealista e impositivos, para dar paso a una nueva perspectiva, una planeación que emerge de procesos autopoieticos, que se hacen visibles gracias a la capacidad de las herramientas computacionales de acceder a micro niveles de información.
- Durante el siglo XIX y buena parte del XX el enfoque de urbanistas y estudiosos de las ciudades era *arriba hacia abajo* esta mirada consistía en aproximarse a los fenómenos de las ciudades e imponer un orden en todo aquello que se consideraba caos y desorden; este enfoque hace referencia a la manera impositiva de planear o diseñar el espacio urbano, basado en la preconcepción de ideologías y utopías. En la segunda parte del siglo XX esta visión ha desaparecido por completo y la aproximación a los enfoques de planeación se ha dado de *abajo hacia arriba*, bajo la noción que todas las ciudades están ordenadas, estos sistemas emergen sin un plan específico y sin leyes determinadas, pero esta red interconectada se organiza exhibiendo un comportamiento inteligente y el propósito de este trabajo es comprender ese orden y mejorarlo de alguna forma.
- La ciudad es un sistema compuesto de múltiples sistemas, estos están conectados en diferentes niveles en un intercambio constante de información, materia y energía; los flujos continuos se encuentran lejos del equilibrio, son inestables, variados, lo que permite la emergencia de nuevas formas de habitar, de múltiples entidades y

experiencias urbanas que colapsan, se adaptan, transforman y generan patrones de distribución aleatorios. “La ciudad no es un sistema que se planea y se traza, como una decisión de proyectación, de política o de norma; se trata en cambio de un sistema que emerge” (Hernández, et al. 2012 p.71)

- La exploración de la metodología heurística como construcción de un camino particular para analizar dinámicas urbanas a través de modelos y herramientas computacionales parte de un trabajo interdisciplinario que propone a partir de estos elementos: 1) Desarrollo de marco teórico para comprender los sistemas de habitabilidad urbana, 2) Explorar proceso de modelación de problemas urbanos. 3) Experimentar a través de diversas herramientas computacionales. 4) Vislumbrar Escenarios Prospectivos.
- La creación de modelos computacionales es un vehículo para experimentar con la teoría, permite mejorar nuestra comprensión y conocimiento del mundo en que vivimos gracias a que el ejercicio de modelar problemas permite inferir un tipo de conocimiento sobre el sistema real que no resultaba evidente antes de construir y usar el modelo. De esta forma los modelos son necesarios para informar el proceso de toma de decisiones, más que para dar soluciones, los modelos no nos van a dar la respuesta correcta de lo que hay que hacer, en cambio, proveen escenarios de experimentación para simular lo que podría ser el impacto de políticas o intervenciones urbanas.
- En el proceso del modelado se identifican tres roles: el *experto*, tiene un gran conocimiento del sistema real y su funcionamiento, sin embargo, no necesariamente tiene que estar familiarizado con la creación de modelos; de otro lado, el *modelador* es un profesional cuya labor consiste en diseñar e implementar y analizar modelos computacionales, esto significa que tiene conocimientos avanzados en cálculo simbólico, lógica proposicional, o algún lenguaje de programación. Finalmente, el *ordenador* ejecuta o resuelve el modelo.
- Las prospectivas estéticas buscan construir una visión alterna de ciudad a partir de la decodificación de múltiples niveles de información. Estamos ante la emergencia de una nueva manera de pensar y habitar el espacio urbano donde la relación con el

entorno se produce a través de una interfaz digital, así la evolución biológica, cultural y urbana son una sola.

- Las metodologías heurísticas permiten la construcción de redes de conocimiento robustas y flexibles creadas colectivamente, esta es la base de la sociedad del conocimiento, estos espacios permiten la emergencia de procesos innovadores donde cada una de las áreas del conocimiento, cuentan con un conjunto de prácticas, cuerpos conceptuales y metodológicos que hacen de los entornos urbanos un escenario para la experimentación y el descubrimiento.
- Para modelar problemas a través de herramientas computacionales hay que tener en cuenta los siguientes procedimientos: Abstracción, Diseño y codificación, Inferencia, Análisis, Interpretación y Aplicación.
- Realizar modelos computacionales es muy importante para estudiar problemas complejos, ya que permite explicar el sistema, es un método para recolectar datos, posibilita la comprensión de escenarios prospectivos a través de nuevas preguntas y caminos y lo más importante cultivar la incertidumbre como hábito científico.
- La manera más efectiva de estudiar dinámicas urbanas es a través de la construcción de modelos computacionales para simular los comportamientos del sistema. En el caso de una ciudad se maneja dos capas mínimas de representación, una que constituye las unidades de infraestructura física de la ciudad, y la otra el comportamiento de los individuos dentro de esta infraestructura física. La modelación a través de autómatas celulares y sistema de agentes nos permite abarcar estas dos capas. En estos modelos los agentes son objetos computacionales autónomos con capacidad de realizar acciones, percibir su entorno y comunicarse con otros. (Aguilera 2000)
- La teoría de la complejidad ha desarrollado una serie de representaciones para describir los fenómenos, ha empleado términos familiares, a estos se les conoce como metáforas, estas son símbolos o representaciones lingüísticas que permiten simplificar las discusiones, las matemáticas y las teorías muy complejas, para facilitar su comprensión y aplicación, son abstracciones que describen los fenómenos,

mediante el uso de un lenguaje común y familiar. (Mc. Adams, 2008) Las metáforas juegan un rol muy importante en la ciencia, son el vehículo para la exploración y el descubrimiento, permiten relacionar procesos desconocidos con experiencias familiares. Por ejemplo el ya conocido Efecto Mariposa: ‘el aleteo de las alas de una mariposa puede provocar un Tsunami al otro lado del mundo’.

Entre las metáforas más conocidas de la complejidad se encuentran el caos, los fractales, estados emergentes y autoorganizados, grupo del que hacen parte el sistema multiagentes.

- Los Autómatas Celulares y el Sistema Basado en Agentes son los modelos más utilizados para estudiar sistemas de complejidad creciente como los mercados financieros y entornos biológicos, sociales y urbanos; estos modelos computacionales se construyen para representar las acciones y el comportamiento de agentes individuales localizados en el espacio y en un tiempo determinado.
- Existen diferentes herramientas y modelos computacionales basados en sistemas multiagentes que permiten analizar dinámicas urbanas, algunos de estos son: Duem, UrbanSim (OPUS), SLEUTH, NetLogo, y los Sistemas de Información Geográfica como ArcGis y Envi.
- A partir del ejercicio de experimentación con algunas de estas herramientas se puede concluir que el beneficio para la Arquitectura y el Urbanismo está en la precisión de la información, el trabajo con imágenes numéricas cuantificables, y la posibilidad de trabajar simultáneamente con un sinnúmero de variables, a través de la agregación de niveles de información.
- La ciudad se constituye en una red inteligente de datos, un sistema complejo donde la información crece exponencialmente y es necesario decodificar e interpretar estas múltiples relaciones que ya no solo ocurren entre seres humanos, sino entre los mismos dispositivos, cada uno de ellos se comunica con el otro sin necesidad de la intervención humana, se transforma por completo la manera como el mundo interactúa hoy en día (Krum, 2013).

- Este proceso constituye un reto para todas las áreas del conocimiento, ¿Cómo acceder a estos lenguajes? ¿Qué herramientas me permiten decodificar esta información? ¿Qué tipo de datos necesito y cómo hacer uso de ellos? Aquí *la pregunta ya no es tecnológica sino organizacional*, (Batty, 2012 p. 192) y yo agregaría metodológica. Finalmente, el tema del *Big Data* gira entorno a cómo gestionar la información para generar conocimiento lo suficientemente relevante que soporte la toma de decisiones. ¿Por dónde comenzar? Los modelos computacionales son el primer paso.
- Con el surgimiento de todos los paquetes de información, la visualización, representación y el análisis de datos, adquirieron nuevas perspectivas, gracias a la computación gráfica, la ‘imagen’ más allá de ilustrar conocimientos o conceptos, se transforma en una representación cuantificable de un fenómeno complejo.
- Todos estos avances nos conducen a las puertas de una teoría científica de ciudades, a una nueva teoría integrada de cómo las ciudades evolucionan, se autoorganizan y se adaptan. Esta naciente comunidad de práctica emerge en la intersección de las ciencias computacionales, la geografía, economía, ecología, estudios sociales y urbanos y proporciona nuevos conocimientos sobre el uso de los recursos, la densidad de la población, el crecimiento de las ciudades, las dinámicas urbanas y los retos de sostenibilidad que enfrentaremos en los próximos años.

Hasta ahora hemos comenzado en serio la construcción de teorías de cómo funcionan las ciudades como sistemas complejos. Lo que sí sabemos, sin embargo, es que los planes geométricos idealizados producidos sin tener en cuenta las dinámicas urbanas, no pueden resolver ninguna de las problemáticas urbanas actuales, y esta nueva ciencia nos hace mucho más conscientes de los límites de la planificación. A medida que aprendemos más sobre el funcionamiento de los sistemas complejos, vamos a interferir menos, pero de maneras más apropiada. Los cambios que hemos propuesto pueden ser mucho más eficaces en la resolución de problemas, que las antiguas formas de planificación. El reto es enriquecer agresivamente esta ciencia y desarrollarla hasta el punto en que puede ser utilizada con éxito para planificar mejor las ciudades. Este no es más que el comienzo. (Batty, 2008, 771)

De esta manera, se enmarcan nuevos retos y desafíos para la planeación urbana, el abandono de la planificación tradicional de largo alcance, el examen y la demanda de oferta de escenarios urbanos frente a las políticas de planeación física, repensar la naturaleza de los procesos biológicos, culturales y urbanos como uno solo, transformar el ambiente urbano a partir de nuevos conjuntos de reglas, y lo más importante, repensar el rol de la planeación, para ser defectivos en el contexto actual, los organismos de planeación deben actuar con autoridad independiente al sistema de gobierno y los políticos de turno. (Mc Adams, 2008)

Finalmente, agradezco a todos ustedes su tiempo y atenta lectura,
culmino esta investigación con una frase de José Fariña,

“La tecnología es un medio, pero no podemos esperar que por sí sola resuelva problemas que son fundamentalmente ético-políticos.” (Fariña, 2012)

BIBLIOGRAFÍA

Aguilera, A. (Mayo, 2000). Simulaciones multiagentes de ambientes urbanos. *Vetas, Revista de El Colegio de San Luis*, Año 2, número 5, pp. 205 - 224 Recuperado de: <http://www.colsan.edu.mx/investigacion/pepi/herbert/archivos/vetas05.pdf>

Epstein, J. (October, 2008). 'Why Model?': *Journal of Artificial Societies and Social Simulation* 11(4)12 Recuperado de <http://jasss.soc.surrey.ac.uk/11/4/12.html>

Baynes T, (April, 2009). Complexity in Urban Development and Management. Historical Overview and Opportunities. *Journal of Industrial Ecology*. Volume 13 Number 2 pp. 214 - 227. Recuperado de : <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1530-9290.2009.00123.x/abstract>

Batty M, (2005). *Cities and Complexity. Understanding Cities with Cellular Automata, Agent-Based Models, and Fractals*. Cambridge, Massachusetts: The MIT Press.

Batty M, (February, 2008). The Size, Scale, and Shape of Cities. *Science* 319, pp. 769 – 771. Recuperado de: <http://www.uvm.edu/~cmplxsys/newsevents/pdfs/2008/batty2008a.pdf>

Batty M, (2009). Urban Modeling. N. Thrift and R. Kitchin (Editors) *International Encyclopedia of Human Geography*, Elsevier, Oxford, UK, pp. 51 -58. Recuperado de <http://www.casa.ucl.ac.uk/rits/BATTY-Urban-Modelling-2009.pdf>

Batty M, (2011). Randomness, cities and urban order. *Environment and Planning B: Planning and Design* 38 (1) pp. 2 - 4 Recuperado de: <http://www.envplan.com/abstract.cgi?id=b3801ed>

Batty M, (2012). Smart cities, big data. *Environment and Planning B: Planning and Design* 39(2) pp. 191 – 193 Recuperado de : <http://www.envplan.com/abstract.cgi?id=b3902ed>

Cabrera, A., Hernandez, A. (2011) *La complejidad y la formación en administración. Aproximaciones a una nueva visión de la ciencia*. Bogotá: Editorial Universidad del Rosario.

Fariña, J (Enero, 2012) *Smart Cities, los inventos del TBO*. Blog de Jose Fariña, Urbanismo, territorio, paisaje y sostenibilidad. Recuperado de: <http://elblogdefarina.blogspot.com/2012/01/smart-cities-los-inventos-del-tbo.html>

Hernandez, I., Hernandez, J., Niño, R, (2012). Visiones alternativas de ciudad.: Complejidad, sostenibilidad y cotidianidad. *Bitácora*, Universidad Nacional de Colombia 20. pp. 67-77

Izquierdo, L (Julio, 2008). Modelado de Sistemas complejos mediante simulación basada en agentes y mediante dinámica de sistemas. *Empiria, Revista de Metodología de Ciencias Sociales*. No 16, pp. 85 – 112. Recuperado de: http://luis.izqui.org/papers/Izquierdo_Galan_Santos_Olmo_2008.pdf

Jacobs J, (1973). *Muerte y vida de las grandes ciudades*. Madrid: Península.

Krum, C (2013, 19 de noviembre). *The Future of Mobile* [conferencia] WebCongress, Bogotá

Maldonado, C (2005). Heurística y producción de conocimiento nuevo en la perspectiva CTS. En: Hernandez, I (comp) *Estética, ciencia y tecnología. Creaciones electrónicas y numéricas*. pp. 98 -127. Bogotá: Editorial Pontificia Universidad Javeriana.

Machado, A (2005). El imaginario numérico. En: Hernandez, I (comp) *Estética, ciencia y tecnología. Creaciones electrónicas y numéricas*. pp. 47 – 69. Bogotá: Editorial Pontificia Universidad Javeriana.

McAdams M, (2008). Complexity Theory and Urban Planning. *Urbana: Urban Affairs and Public Policy*. Recuperado de: <http://www.urbanauapp.org/wp-content/uploads/Spring-Fall-2008-Michael-A.-McAdams.pdf>

Munizaga, G (1992). *Diseño Urbano, Teoría y Método*. Chile: Ediciones Universidad Católica de Chile.

Nowak, A., Rychwalska, A. Borkowski, W., (June, 2013) Why Simulate? To Develop a Mental Model. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation* 16 (3) 12 Recuperado de: <http://jasss.soc.surrey.ac.uk/16/3/12.html>

Peña, J (2006) *Sistemas de información geográfica aplicados a la gestión del territorio.*, España: Editorial club universitario.

Peláez, A (2013, 8 Septiembre), entrevistado por Estefanía Vega, Bogotá

Piera, J (Mayo, 2013) *Predicción del crecimiento en núcleos urbanos mediante autómatas celulares*. GIS & Chips. Recuperado de: <http://www.gisandchips.org/2013/05/28/prediccion-del-crecimiento-de-nucleos-urbanos-mediante-automatas-celulares/>

Weaver, W. (1948). Science and complexity. *American Scientist* 35: pp 536-541
Republish on : Classical Papers - Science and complexity E:CO Vol. 6 No. 3 2004 pp. 65-74