

ARQUITECTURA BIOC COMPUTACIONAL Y EVOLUCIÓN DE ECOSISTEMAS BIODIVERSOS

HABITABLES



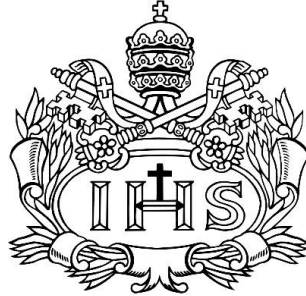
Autor

Carlos Andrés Acosta Yaver

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE ARQUITECTURA Y DISEÑO
CARRERA DE ARQUITECTURA
Bogotá D.C.
2017**

Arquitectura biocomputacional y evolución de ecosistemas habitables

**ARQUITECTURA BIOCUMPUTACIONAL Y EVOLUCIÓN DE ECOSISTEMAS BIODIVERSOS
HABITABLES**



Autor
Carlos Andrés Acosta Yaver

**Presentado para optar al título de
ARQUITECTO**

Director
Raúl Niño Bernal

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE ARQUITECTURA Y DISEÑO
CARRERA DE ARQUITECTURA
Bogotá D.C.
2017**

Nota de advertencia:

“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 qué las tesis no contengan ataques personales contra persona alguna, antes bien se vea en ellas el anhelo de buscar la verdad y la justicia”.

Artículo 23 de la Resolución N° 13 de Julio de 1946.

Para Raúl,

**Por su gran apoyo, sus orientaciones, su valiosa dedicación y su gran
conocimiento.**

Para mis padres,

por su motivación, su apoyo y amor incondicional.

Para Carol J. García,

Por su gran apoyo durante el desarrollo del trabajo y sus grandes consejos

**Para aquellos que me enseñaron el camino sin fin del cuestionamiento a lo
preestablecido,**

por fomentar en mi la investigación y el aprendizaje constante.

Prefacio

A través de diversas investigaciones desarrolladas respecto a la arquitectura desde un enfoque de la estética, he evidenciado que los modelos clásicos de diseño y planeación urbana no dan respuesta al hábitat y a la habitabilidad, por lo que este trabajo de grado teórico-experimental se enfoca en la investigación de nuevas formas de estudios y proyecciones de la arquitectura biocomputacional bajo una metodología heurística transversal de modelaciones y simulaciones bioinformáticas, proyectando una simbiosis con ecosistemas biodiversos evolutivos, junto con la vida artificial y el hábitat.

Para el desarrollo del trabajo de grado, se escogió el Humedal Santa María del Lago, al ser un ecosistema complejo dentro de la urbe, el cual presenta múltiples variables e interacciones para ser investigadas y relacionadas.

En los primeros capítulos se expondrá una breve descripción y localización del caso de estudio (la problemática); posteriormente se profundizará en la escogencia del área del caso de estudio y se investigará el fenómeno de transformación e impactos sobre el ecosistema humedal a través de la urbanización, hasta llegar al punto crítico de su deterioro, lo cual llevará a evidenciar el problema. Consecutivamente se hará una investigación detallada de los componentes del ecosistema del humedal para tener en cuenta las diversas variables en la propuesta de simulación.

En seguida se desarrollará el marco teórico epistemológico y la metodología heurística computacional, la cual se despliega a través de procesos de simulaciones transversales, para de esta forma llegar a la propuesta.

Tabla de contenidos:

1. Índice de Figuras	6
2. Primer Módulo:	10
2.1. Caso de estudio	11
2.2. Problema.....	12
2.2.1. Contexto del Humedal Santa María del Lago	12
2.2.1.1. Bogotá.....	12
2.2.1.1.1. Disponibilidad cartográfica.....	12
2.2.1.1.2. Accesibilidad al “BIG Data”	13
2.2.1.2. Sector de humedales	13
2.2.1.2.1. Infraestructura	14
2.2.1.2.2. Localización geoestratégica	14
2.2.1.3. UPZ Boyacá Real y Humedal Santa María del Lago	15
2.2.1.3.1. Patrimonio histórico, simbólico y cultural de la zona y el humedal.	15
2.2.1.3.1.1. Breve historia desde el siglo XX del Humedal Santa María del Lago. ..	17
2.2.1.3.2. Potencial socio-económico	24
2.2.1.3.3. Potencial Ambiental	26
2.2.1.3.3.1. Ecosistemas y Humedales en Colombia.....	26
2.2.1.3.3.2. Ecosistema Humedal Santa María del Lago	30
2.2.2. Enunciado de la Problemática.	52

2.2.3.	Diagnóstico	54
2.2.3.1.1.	UPZ # 30 Boyacá Real, Localidad de Engativá, contaminación del Humedal Santa María del Lago (impactos) y debilitamiento urbano.	54
2.2.3.2.	Problema P, NP y NPC.....	76
3.	Objetivos.	78
3.1.	Objetivo general.....	79
3.2.	Objetivos específicos	79
4.	Marco Teórico.....	80
4.1.	Humedales, Ecosistemas y Biodiversidad	80
4.2.	Organismos vivos y vida artificial, Sistemas complejos adaptativos.	88
4.2.1.	Paisajes Fitness	97
4.2.2.	Autómatas celulares	99
4.2.3.	Inteligencia de enjambre.....	102
4.2.4.	GTIPO, FTIPO y Sistemas Lindenmayer	105
4.3.	Economía azul y estrategias de la evolución para la sostenibilidad y regeneración. ..	110
4.4.	Habitabilidad y adaptabilidad en la arquitectura	111
4.4.1.	Arquitectura móvil.....	111
4.4.2.	Arquitectura del tiempo o Arquitectura líquida.....	112
4.4.3.	Arquitecturas de la vida o genéticas, y materiales inteligentes para una sostenibilidad ambiental.....	115
5.	Metodologías Heurísticas.....	122

Arquitectura biocomputacional y evolución de ecosistemas habitables

5.1.	Hipótesis	123
5.2.	Variables Heurísticas <i>bottom-top</i>	124
5.3.	Paisajes fitness por análisis raster y BIG data para Indicadores espaciotemporales y como método de búsqueda.	124
5.4.	Funciones fitness de sistemas urbanos.	128
5.4.1.	Accesibilidad del sistema vial (C+I)= (AV)	128
5.4.2.	Saturación de flujo en el sistema vial (SVT)	130
5.4.3.	Densidad y altura de las edificaciones (D+A)	131
5.4.4.	Ocupación por Usos del suelo según el horario laboral (OUhl).....	132
5.4.5.	Contaminación auditiva por cuadrantes (CAT).....	133
5.4.6.	Ecuación, A mayor aglomeración espaciotemporal de Personas y productos mayor contaminación ambiental $f_{x1} = f_{x2} f_{x1} = (D + AOU)hl + AV + (SVT + CAT) - Bm + NDVI$	134
5.4.7.	Autómatas celulares como atractores para la expansión del humedal a futuras áreas benefactoras.	136
5.5.	Ecosistema artificial e inteligencia de enjambre.....	140
6.	Proyecto	141
6.1.	La descomposición de materia orgánica en humedales: la importancia del componente microbiano, sistemas-L y cubiertas verdes	141
6.2.	Estrategias evolutivas para la ampliación del ecosistema.....	142
6.3.	Para una futura continuación del proyecto.	149

7. Fuentes.....	151
7.1. Bibliografía.....	151

1. Índice de Figuras

Figura 1. Localización caso de estudio	11
Figura 2. Área y Matriz de estudio	11
Figura 3. Año 1938, fecha septiembre 9, vuelo A-28, N° Sobre 408, escala original 1:24.000.....	18
Figura 4. Año 1967, fecha febrero 1, vuelo C - 1190, N° Sobre 23362, escala original 1:9.600	19
Figura 5. Año 1977, fecha julio 23, vuelo C - 1763, N° Sobre 28860, escala original 1:7.400.	20
Figura 6. Año 1998	22
Figura 7. Proyecto Humedal Santa María del Lago. 2000	23
Figura 8. Plano Barrios UPZ # 30	25
Figura 9. Barrios y conjuntos residenciales del área de influencia directa del PED Humedal Santa María del Lago.....	32
Figura 10. Barrios del área de influencia indirecta del PED Humedal Santa María del Lago	33
Figura 11. Área de influencia del PED Humedal Santa María del Lago	34
Figura 12. Tingua Pico amarillo o Fulica americana colombiana	37
Figura 13. Cavia porcellus.....	37
Figura 14. Grundulus bogotensis	37
Figura 15. Rana Hyla labialis.....	37
Figura 16. Lechuga de agua (Pistia stratiotes).....	38
Figura 17. Enea (Typha sp)	38
Figura 18. Hoja de buitres (Limnocharis sp)	38
Figura 19. Junco (Scirpus sp)	38
Figura 20. Especies de árboles y arbustos encontradas en el Parque Ecológico Distrital Humedal Santa María del Lago en el año 2003	39

Figura 22. Tronco de árbol	40
Figura 21. Copa de árbol	40
Figura 23. Árboles en el área de estudio.....	40
Figura 24. Árboles en el humedal.....	41
Figura 25. Índice de biomasa por cuadrante.....	41
Figura 26. Comunidades de plantas acuáticas presentes en el cuerpo de agua del PED Humedal Santa María del Lago.....	43
Figura 27. Especies de macrófitas reportadas en el PED Humedal Santa María del Lago en el período 2001 – 2005.	44
Figura 28. Paisaje fitness de NDVI.....	45
Figura 29. Chrysophyceae (Algas pardo doradas).....	46
Figura 30. Bacillariophyceae (diatomea).....	46
Figura 31. Xanthophyceae (Algas pardo amarillentas)	46
Figura 32. Morfoespecies de fitoplancton reportadas en el PED Humedal Santa María del Lago ...	46
Figura 33. Oferta ambiental	48
Figura 34. Valores mensuales más altos de brillo solar	50
Figura 35. Temperatura anual de Bogotá.	51
Figura 36. Zonas estudiadas.....	54
Figura 37. Perdida en porcentajes del Humedal	56
Figura 38. Escombros observados en algunos sectores del PED Humedal Santa María del Lago 2007.....	59
Figura 39. Tabla Y. Bioindicadores y morfoespecies de fitoplancton reportadas en el PED Humedal Santa María del Lago.....	61
Figura 40. Datos de la Estación de la red de monitoreo de calidad de aire de Bogotá RMCAB	64

Arquitectura biocomputacional y evolución de ecosistemas habitables

Figura 41. Sistema arbóreo	64
Figura 42. Áreas de protección	66
Figura 43. Nivel de remoción media y vertientes al humedal	66
Figura 44. Imágenes Satelitales, Calentamiento Global NASA.....	67
Figura 45. Zonas del PEDH Santa María del Lago dadas por el uso de los visitantes.....	72
Figura 46. “Interrelaciones entre los componentes ambientales del ciclo global del agua, incluyendo el ciclo del “agua verde” y del “agua azul” “Interrelaciones entre los componentes ambientales del ciclo global del agua, incluyendo el ciclo del “agua verde” y del “agua azul”	86
Figura 47. La vida al borde del caos	89
Figura 48. Alfabeto de Sistema L utilizado en este trabajo de grado	107
Figura 49. Diagrama 1	117
Figura 50. Bioarchitecture 1	119
Figura 51. Dennis Dollens, Bio architecture2	121
Figura 52. Heurísticas bottom-top	124
Figura 53. Análisis Imagen Raster.	125
Figura 54. Proceso de paisaje fitness	126
Figura 55. Accesibilidad vial	129
Figura 56. Paisaje fitness accesibilidad vial.	130
Figura 57. Saturación de flujo en el sistema vial	131
Figura 58. paisaje fitness de densidad y altura de las edificaciones.	132
Figura 59. Usos del suelo según el horario laboral.	133
Figura 60. Contaminación auditiva por cuadrantes.	134
Figura 61. Sumatoria de los genotipos de los paisajes explorados.....	135
Figura 62. $f(x_1) = f(x_2)$	136

Figura 63. Proceso atumatas1	138
Figura 64. Autómatas 2	139
Figura 65. Ecosistema artificial 1.....	140
Figura 66. Ecosistema artificial memoria	141
Figura 67. Sistema-L árbol reciclador de carbono.....	142
Figura 68. Estrategia evolutiva 1	143
Figura 69. Enjambre, sistema L, Voronoi.....	143
Figura 70. Enjambre, sistema L, Voronoi.....	144
Figura 71. Estrategias de la evolución + Sistemas L + Inteligencia de Enjambre + Geometría y Superficie minimal.....	145
Figura 72. Estrategias de la evolución + Sistemas L + Inteligencia de Enjambre + Geometría y Superficie minimal 2.....	145
Figura 73. Parte del código Base o genoma para un posterior desarrollo.....	146
Figura 74. Implementación de techos verdes y ampliación de ecosistema.....	147
Figura 75. Formación de nodo de conexión.....	148
Figura 76. abstracción matemática de los recorridos.	148
Figura 77. Hibridación entre nodos y estrategias de superficie minimal.....	149
Figura 78 posibles implementaciones de sensores y del internet de las cosas con GPS y altímetros	150

2. Primer Módulo:

Aproximación

2.1. Caso de estudio

El Parque Humedal Santa María del Lago tiene una extensión de 10.8 ha, y cuenta con un espejo de agua de 5.64 ha. Está localizado al noroccidente de la ciudad de Bogotá en la localidad de Engativá, entre las carreras 73 A y 76, y entre las calles AV. 80 y calle 75.

Figura 1. Localización caso de estudio



Fuente: Google Earth (2017)

Para el desarrollo del trabajo de grado se abordó esta zona a través de un cuadrante como matriz de estudio en el sector de 2km X 2km con dos tipos de subdivisiones, 40X40 (en relación a la traza vial) y 100x100 (en relación a los lotes y para obtener una mayor resolución en *las imágenes de análisis raster* y los *paisajes fitness*, (estos dos conceptos se explicarán en el marco teórico y en la metodología).

Figura 2. Área y Matriz de estudio



Arquitectura biocomputacional y evolución de ecosistemas habitables

A continuación, se presentará el problema, y posteriormente los argumentos y motivos que conllevaron a la elección del caso de estudio en particular, haciendo un barrido a diferentes escalas desde un nivel nacional hasta el zonal, para luego desarrollar del diagnóstico y evidenciar el problema.

2.2. Problema

El daño al Humedal Santa María del Lago obedece a procesos de urbanización desde la implementación de modelos clásicos de planeación, cuya materialización extingue ecosistemas al no tener presente variables ambientales de aglomeración humana e interacciones no humanas.

2.2.1. Contexto del Humedal Santa María del Lago

Para desarrollar el planteamiento del problema, en este aparte se presentarán en orden las diferentes escalas contextuales de la UPZ 30 y el Humedal Santa María del Lago, así como las relaciones funcionales y físicas procedentes de su entorno. Adicionalmente, se especificarán las dificultades y fenómenos encontrados en la lectura preliminar del área de estudio.

2.2.1.1. Bogotá

El caso de estudio se ubica en la ciudad de Bogotá, Colombia. Existen una serie de ventajas de esta ciudad en comparación a otras respecto al tema de humedales y de datos de la ciudad en sí, lo que la convierte en la candidata más apta para el tema de desarrollo de trabajo de grado.

2.2.1.1.1. Disponibilidad cartográfica

Al ser la capital de Colombia, en comparación con otras ciudades, la actualización y disponibilidad de cartografías es más amplia, y esta información puede provenir tanto de la Secretaría Distrital de

Planeación, contando con un sistema de información geográfica GIS, planos catastrales; como también de la plataforma IDECA, del Instituto Agustín Codazzi y de imágenes satelitales provenientes de Google Earth y la NASA, junto con información biogeográfica y de migración.

2.2.1.1.2. Accesibilidad al “BIG Data”

La ciudad de Bogotá cuenta con las más completas bases de datos del país. Constantemente, por las entidades como el DANE y junto con otras consultorías estatales, se generan estadísticas, información ligada a la población, transporte y movilidad, densidades demográficas, PIB, etc. Toda esta información, al ser fiable, es uno de los insumos principales, junto con las cartografías para la modelación heurística propuesta sobre el cual se apoyen las simulaciones y la propuesta virtual.

2.2.1.2. Sector de humedales

Dentro de la ciudad existe una zona en la cual se encuentra una gran agrupación de red hídrica natural tanto de canales y de humedales, destacándose dos localidades: Engativá y Suba, puesto que cuentan con humedales y canales de gran interés para el Distrito, como bien se plantea en el POT y en el Plan de Manejo Ambiental del Parque Ecológico Distrital (PED) de Humedal Santa María del Lago. En Engativá se encuentran: los humedales de Jaboque, Santa María del Lago y Juan Amarillo, con el que limita por el costado norte. Se ubican además en su territorio, el canal Carmelo, Boyacá y Los Ángeles. Y en Suba: los humedales de Tibabuyes, Córdoba, La Conejera, Guaymaral y Torca. En estas dos localidades se encuentra fauna endémica con especies como las tinguas de pico rojo y pico amarillo, así como con importantes poblaciones migratorias procedentes de los hemisferios norte y sur (Secretaría de Planeación, 2009, p.10). Bajo estas condiciones, respecto a los humedales, se puede llegar a generar y conformar el desarrollo de un ecosistema habitable.

Arquitectura biocomputacional y evolución de ecosistemas habitables

2.2.1.2.1. Infraestructura

El sector de humedales se escogió debido a su desequilibrio en densidad y al estar equipada con infraestructura vial y servicios públicos para propiciar su crecimiento en altura, puesto que se piensa en re-consolidar diversas zonas de Bogotá que, según el secretario de Planeación Andrés Ortiz Gómez, la ciudad ya no se puede expandir más hacia su periferia, ya que el suelo del área de protección, que es el 50% del área total de Bogotá de sus 163000ha, no es urbanizable. Con base en esto, y para el planteamiento de propuesta, se tendrá una aplicación eficiente, de optimización plausible y eficaz de nuevas tecnologías (biocomputación, algoritmos genéticos y evolutivos, nuevos materiales) en la generación de un ecosistema habitable en el que se entre en simbiosis con estrategias o principios naturales y biológicos (evolución, resiliencia, sistemas complejos adaptativos, etc.), de los ecosistemas.

2.2.1.2.2. Localización geoestratégica

La ubicación del sector de humedales en el contexto urbano de Bogotá, tiene un privilegio a nivel geoestratégico, expresado en su relación con los principales centros neurálgicos de la ciudad. A su vez, es ser un territorio regularmente plano en su topografía, ligeramente inclinada de oriente a occidente, sobresaliendo una tipología de valle aluvial, por lo que tiende a ser más simple la adaptabilidad de estructuras.

Por su parte, la zona del humedal tiene un vínculo directo con un equipamiento educacional y la localidad donde se encuentra; cuenta con 1.367 equipamientos (Secretaría de Planeación, 2011, p. 26) y está en un área que ha devenido en una zona comercial, que, aunque la UPZ # 30 no tiene ningún bien de interés cultural, está a una distancia de más o menos 4km del Jardín Botánico junto

con el Centro Urbano Recreativo Compensar, la Universidad Libre de Colombia y la Unidad Deportiva el Salitre. Está a 8km del puerto aéreo de la ciudad (Aeropuerto el Dorado), relación directa con dos principales vías de conectividad y accesibilidad a la ciudad, calle 80 (AV. Medellín) y AV. Boyacá.

La zona, al tener una presencia de un sistema hidrológico importante y de humedales de gran extensión, hace que exista una dependencia tanto del sector como de la ciudad a dicha estructura ambiental principal, por la producción de agua potable y la influencia en la salud de los ciudadanos. Estas ventajas geográficas posibilitan la predicción de la capacidad del área de estudio, como territorio catalizador de la propuesta de ecosistema habitable, y su posibilidad de repercusión en gran parte de la ciudad.

2.2.1.3. UPZ Boyacá Real y Humedal Santa María del Lago

En esta sección se analiza, a escala precisa, la zona tentativa a desarrollar el proyecto, tras desglosar las diferentes escalas hasta llegar al humedal y la zona a intervenir: Humedal Santa María del Lago y sus alrededores inscritos dentro de la UPZ Boyacá Real.

2.2.1.3.1. Patrimonio histórico, simbólico y cultural de la zona y el humedal.

La zona de Engativá adquiere su nombre por los nativos chibchas, mediante la denominación compuesta “Engua-tiva” de la palabra “Engue” significa ameno y “tiva” se refiere a Señor, por lo que se afirma que el nombre original era “Ingativa”, que quería decir “Señor de lo ameno” Por su parte,

Arquitectura biocomputacional y evolución de ecosistemas habitables

otras versiones soportan que la expresión también se refiere a “Puerta del Sol” (Secretaría de Planeación, 2011, p. 6).

Desde su asentamiento muisca, siempre se vio beneficiada por los afluentes hídricos como el río Bogotá (también llamado río Funza), sus múltiples arroyos, quebradas, lagunas y sus humedales (Secretaría de Planeación, 2011, p. 6).

Junto con la Independencia de Colombia, arribó la abolición de los resguardos indígenas en 1821, la eliminación de propiedad colectiva de la tierra y su repartición en forma individual, con el propósito de permitir a cada indígena administrar su terreno. La distribución de estos resguardos se dio entre 1856 y 1858; pero el clero, políticos y la burguesía compraron las propiedades, lo que dejó a los indígenas en la miseria (Secretaría de Planeación, 2004, p. 9). Cabe destacar que:

En su época de municipio independiente, Engativá distaba 17 Km de la Ciudad de Bogotá y su actividad económica se centraba en la agricultura y la ganadería. Según el Diagnóstico Sociocultural de Engativá, en Engativá era tradicional la celebración de festividades religiosas, como la que se efectuaba en honor a San Isidro, patrón de los agricultores (Secretaría de Planeación, 2004, p. 10).

Con la llegada del siglo XX, el 17 de diciembre de 1954, mediante el Decreto No. 3640, el municipio Engativá, junto con Suba, Bosa, Fontibón, Usme y Usaquén, se anexaron al naciente Distrito de Bogotá, debido al proceso de crecimiento urbano de la ciudad y la necesidad del desarrollo de la capital (Hospital de Engativá, Secretaría Distrital de Salud, 2010, p. 10), puesto que primaba el proceso de crecimiento urbano sobre las tipologías rurales.

En 1972, mediante el Acuerdo 26, por disposición del Concejo de la ciudad, se organizaron 16 alcaldías menores, estando en la lista la Alcaldía menor de Engativá.

2.2.1.3.1.1. Breve historia desde el siglo XX del Humedal Santa María del

Lago.

El Humedal Santa María del Lago, a lo largo de la historia, tuvo diversos propietarios. Pero enfocándose en el siglo XX hacia adelante, se puede hacer un recuento respecto a sus propietarios y, de la misma manera, sus afectaciones sobre este, para comprender, por lo tanto, los cambios que presentó el humedal. En ese sentido:

En 1911 el predio del humedal, que era una zona rural, fue adquirido mediante juicio de remate por el señor Ruperto Restrepo. Luego, en 1918, el terreno fue comprado por la sociedad conyugal Archila Montejo. Años después, en 1936, la propiedad fue vendida por uno de los sucesores de la sociedad al ex presidente Alfonso López Pumarejo, quien pagó \$500.000 pesos por un área de 43.04 hectáreas. En el certificado catastral emitido ese año por el Instituto geográfico Agustín Codazzi figuran como elementos permanentes del suelo, además de la tierra para uso urbano, el uso destinado como espejo de agua corriente (Departamento Administrativo del Medio Ambiente (DAMA), 2000, p.64).

Después los López Pumarejo vendieron 8.40 hectáreas a la Asociación Provivienda, la cual, a su vez, vendió 3.4 hectáreas a la compañía urbanizadora Santa María del Lago.

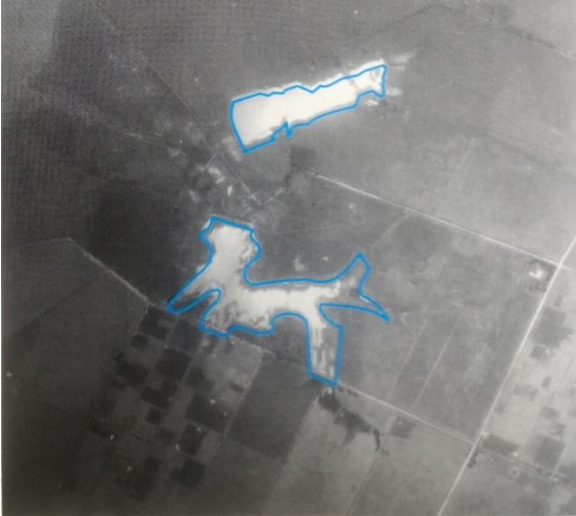
La descripción del cambio cronológico del Humedal Santa María del Lago se muestra a través de registros aerofotográficos datados a partir de 1938.

En la siguiente fotografía de 1938 se evidencia que el humedal tenía una mayor extensión y que poseía 2 cuerpos de agua, la zona de influencia del humedal era una zona agropecuaria y no existían

Arquitectura biocomputacional y evolución de ecosistemas habitables

infraestructuras urbanas (DAMA, 2000, p.66). En los registros de fotografías aéreas, aparece como una gran laguna de unas 12 hectáreas de extensión (Secretaría Distrital de Ambiente, 2010, p.102).

Figura 3. Año 1938, fecha septiembre 9, vuelo A-28, N° Sobre 408, escala original 1:24.000.



Fuente: Departamento Administrativo del Medio Ambiente (DAMA). (2000). Historia de los humedales de Bogotá con énfasis en cinco de ellos. Bogotá, Alcaldía Mayor. pp.66

Los cambios que comenzaron a afectar el humedal se dieron en 1955, donde, “en el costado norte se abrió una vía y en el costado occidental se realizó el trazado urbano y el loteo correspondientes al barrio la Graja. En los costados restantes se mantenían las fincas agrícolas. [...]

En la década de los setenta se construyó la avenida 80, estimulando la construcción de urbanizaciones en el sector. El humedal, por su parte, se vio reducido por los rellenos que se efectuaron para acondicionar un lote que se usaba como patio-taller de los trolebuses del Municipio. Por la misma época se inició la apertura de la avenida Boyacá, que separó los dos cuerpos de agua originales, y en las áreas inmediatas al lago se consolidan los barrios la Granja y Tabora con la infraestructura urbana correspondiente” (DAMA, 2000, p.65).

Los iniciales habitantes de los barrios del humedal narran que se podía pescar trucha, había curíes, patos y que se veía a las aves migratorias y nativas. También decían que se navegaba en bote.

“Para 1967 las acequias y manantiales que aportaban agua al lago presentaron una drástica reducción en sus caudales por la construcción de las nuevas vías. El sector oriental del lago presentaba un alto porcentaje de sedimentación siendo notoria la reducción del espejo de agua” (DAMA, 2000, p.67). También se muestra en la siguiente foto de ese mismo año, que uno de los cuerpos de agua, aunque mantenía su área sin urbanizar, perdió en gran medida su característica de humedal.

Figura 4. Año 1967, fecha febrero 1, vuelo C - 1190, N° Sobre 23362, escala original 1:9.600



Fuente: Departamento Administrativo del Medio Ambiente (DAMA). (2000). Historia de los humedales de Bogotá con énfasis en cinco de ellos. Bogotá, Alcaldía Mayor. pp.68.

“En 1977 se redujo aún más el espejo de agua y aumentó la vegetación de plantas flotantes, del lago que sobrevive, mientras los manantiales continuaron siendo afectados por la construcción de viviendas y vías urbanas. Asimismo, se inició el proceso urbanístico del barrio Santa María del Lago,

Arquitectura biocomputacional y evolución de ecosistemas habitables

localizado entre la Avenida Boyacá y el humedal” (DAMA, 2000, p.67). En la siguiente fotografía se puede apreciar cómo el sector del humedal fue seccionado por la avenida Boyacá, la cual redujo casi todo su tamaño, y si bien algunas de las urbanizaciones no invadían los terrenos que ocupaba el humedal, se logra percibir en gran parte su desvanecimiento.

Figura 5. Año 1977, fecha julio 23, vuelo C - 1763, N° Sobre 28860, escala original 1:7.400.



Fuente: Departamento Administrativo del Medio Ambiente (DAMA). (2000). Historia de los humedales de Bogotá con énfasis en cinco de ellos. Bogotá, Alcaldía Mayor. pp.68.

Para 1981, las áreas aledañas al humedal ya estaban totalmente urbanizadas y alrededor del lago se podía observar una franja de vegetación y pastos, que era usada como botadero de escombros. Por esa fecha los sectores aledaños al humedal presentaban un uso netamente residencial, excepto por el costado norte que continuaba siendo utilizado como patio de vehículos de transporte urbano (trolebuses). A finales de la década de los ochenta y comienzos de los noventa, se construyó un conjunto de nueve bloques de apartamentos en el lote donde funcionaba el patio taller de los trolebuses, alterando aún más la forma original del lago (DAMA, 2000, p.67).

Siete años después, la comunidad de los barrios aledaños, al tomar conciencia de la importancia del humedal y sus especies, conformó el comité Pro-lago para defensa y preservación del área como zona de uso público, para lo cual:

esta organización gestionó un proceso ante la Alcaldía Local de Engativá con el fin de esclarecer la posesión del lago, ya que para esa época se tenía conocimiento de más o menos siete propietarios con escrituras públicas. En 1995 la Corte Constitucional ratificó el fallo de tutela que determinó al humedal de Santa María del Lago como un bien de uso público de propiedad del Distrito Capital. En 1991 la forma del lago se mantenía con respecto a 1981, pero el área cubierta por el espejo de agua se redujo en un 30%, y aumentó en forma considerable la vegetación flotante, tanto en área como en densidad (DAMA, 2000, p.69).

En 1997 el humedal no sufrió ningún cambio debido a acciones conjuntas de la comunidad y las Instituciones, generando así acciones que favorecieron la conservación del ecosistema, evitando los accesos incontrolados, la caza de aves, vigilando la zona para evitar el vertimiento de escombros y la adecuación de viviendas informales o cambuches. Al pasar un año, “se conformó la Fundación La Tingua, integrada por estudiantes y vecinos del sector interesados en participar en proyectos y acciones para recuperar y proteger el humedal” (DAMA, 2000, p.69).

Arquitectura biocomputacional y evolución de ecosistemas habitables

Figura 6. Año 1998



Departamento Administrativo del Medio Ambiente (DAMA). (2000). Historia de los humedales de Bogotá con énfasis en cinco de ellos. Bogotá, Alcaldía Mayor. pp.70

Con la entrada del siglo XIX, la administración de Bogotá planteó el proyecto Humedal Santa María del Lago, en ejecución por parte del DAMA y la EAAB, planteando unos recorridos y el tratamiento hídrico, debido a que el humedal almacenaba aguas residuales vertidas en forma directa con una frecuencia anual de sedimentación aproximada del 5%, con respecto al área total del humedal, y por el proceso del crecimiento de vegetación flotante invasora como el buchón de agua.

Figura 7. Proyecto Humedal Santa María del Lago. 2000



Departamento Administrativo del Medio Ambiente (DAMA). (2000). Historia de los humedales de Bogotá con énfasis en cinco de ellos. Bogotá, Alcaldía Mayor. pp.70.

Bajo el Plan de recuperación del Humedal, se incluyeron obras civiles que fueron desarrolladas según el Plan de Manejo Ambiental, estas se basaron en lo siguiente:

ordenar el espacio para su uso público a través de señalización, observatorios, accesos y senderos peatonales, que orienten la circulación y estancia en el parque de modo que se evite molestias a la vegetación y la fauna u otros impactos, al tiempo que facilita la contemplación de la misma y la educación ambiental. [...] Conformar y definir adecuadamente los bordes urbanos mediante la construcción de andenes y cicloruta perimetrales (Secretaría Distrital de Ambiente, 2010, pp. 108-109).

En el 2009 hasta la fecha, el humedal cuenta con un cerramiento perimetral en malla eslabonada, donde, la Secretaría Distrital de Ambiente estaba y aún sigue a cargo de la administración del humedal, la cual incluye las labores de la vigilancia permanente, el mantenimiento del cuerpo de agua y la remoción de vegetación acuática. De igual manera, se llevan a cabo actividades en el Aula

Arquitectura biocomputacional y evolución de ecosistemas habitables

Ambiental Santa María del Lago, haciendo parte de una estrategia de educación ambiental que se desarrolla en el marco de la Política Pública Distrital de Educación Ambiental, de la cual hacen parte otras tres aulas (Mirador de los nevados, Entrenubes y Soratama), teniendo un soporte pedagógico que articula acciones entre aulas y con otras dinámicas educativas de la localidad y de la ciudad.

El humedal tiene dos porterías de acceso una en la carrera 76 y otra sobre la carrera 73 A, una oficina de administración, una oficina de educación ambiental, un salón de conferencias (auditorio), baños, espacios de almacenamiento de herramientas e insumos, senderos peatonales ecológicos, diez plazoletas, un teatrino, tres módulos didácticos, zonas verdes para recreación pasiva, un área de compostaje demostrativa ubicada en la calle 75 en el sector sur que se encuentra actualmente cerrado al público y una huerta ecológica que se utiliza en el proceso de educación ambiental. Con respecto a la infraestructura asociada al aula ambiental se observa la falta de un sitio especial para actividades de educación ambiental que resguarden los visitantes de las variaciones climáticas. (Secretaría Distrital de Ambiente, 2010, p. 110).

2.2.1.3.2. Potencial socio-económico

La zona en la que se ubica el Humedal Santa María del Lago, es la UPZ tipo 2 # 30 Boyacá Real, la cual es un “sector consolidado de estratos medios de uso predominantemente residencial, donde se presenta actualmente un cambio de usos y un aumento no planificado en la ocupación territorial” (Secretaría de Planeación, 2011, p. 14).

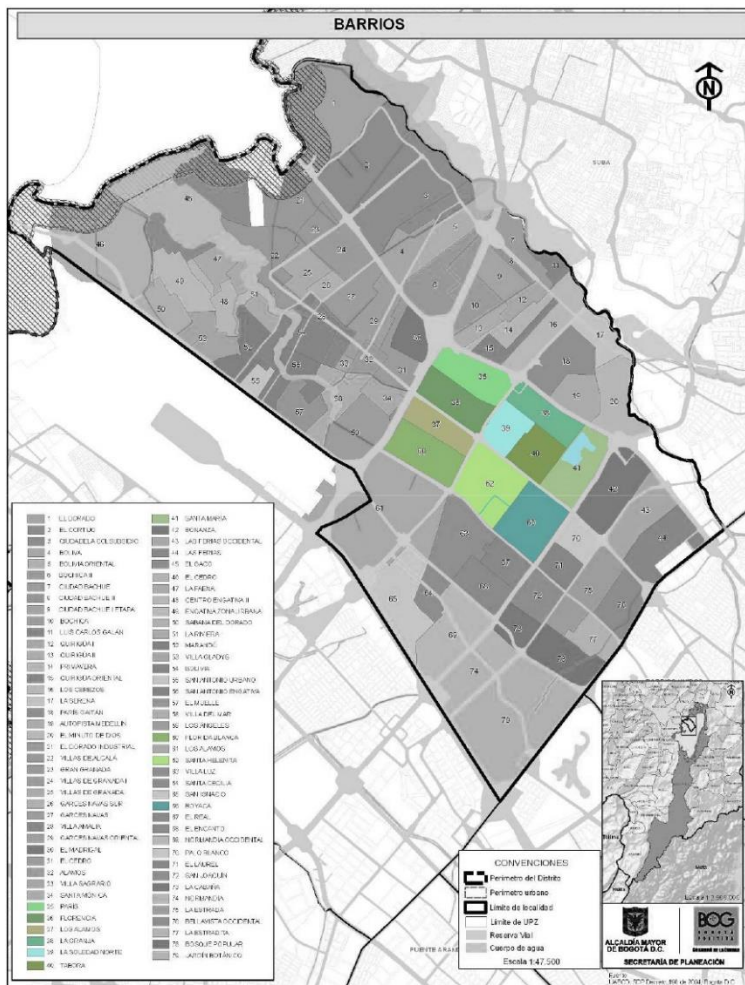
Por su parte, esta UPZ:

se ubica en la parte central de la localidad de Engativá, tiene una extensión de 453,8 hectáreas, equivalentes al 12,6% del total de área de las UPZ de esta localidad. Esta UPZ

limita, por el norte, con las UPZ Bolivia y Minuto de Dios; por el oriente, con la UPZ Las Ferias; por el sur, con las UPZ Santa Cecilia y Álamos; y por el occidente con la UPZ Garcés Navas (Secretaría de Planeación, 2011, p. 14).

Esta UPZ cuenta con diez “Barrios” o sectores catastrales: Boyacá, Santa Helenita, Florida Blanca, París, Florencia, Los Álamos, La Granja, la Soledad Norte, Tabora y Santa María, lugar donde se encuentra el humedal.

Figura 8. Plano Barrios UPZ # 30



Fuente: Secretaría de Planeación de Bogotá.

2.2.1.3.3. Potencial Ambiental

La zona tiene múltiples potenciales ambientales al contar con un *humedal* de gran tamaño, y como *ecosistema* de alta relevancia para la ciudad, junto con grandes ventajas por su *biodiversidad*, es esencial tener una aproximación general de estos conceptos los cuales se desarrollarán en el marco teórico, puesto que evidencian la importancia que tienen para el ambiente, planeta y sus diversos habitantes.

2.2.1.3.3.1. Ecosistemas y Humedales en Colombia.

Los ecosistemas humedales hacen parte de la abundancia de recursos hídricos en Colombia, y esto se debe a múltiples factores que convergieron, tanto la posición geográfica, como biogeográfica, el clima, la complejidad orogénica, etc. (Castellanos, 2006, p.1).

Dentro de la fauna, que junto con la flora teje la biodiversidad de estos ecosistemas de Colombia, están:

Aves: este se divide en tres grupos, residentes no exclusivas, no residentes o especies migratorias transcontinentales y especies endémicas (Naranjo, 1998, pp. 52-55), todos los grupos nidifican en los humedales utilizando, por lo tanto:

la vegetación palustre como soporte para nidos o refugio contra predadores. Diferentes especies construyen sus nidos en los diferentes estratos de vegetación. Algunas lo hacen en altura utilizando los tallos de las macrófitas como sostén, [...]. Otras especies construyen sus nidos en la superficie del agua, ya sea anclándolos a la vegetación emergente/flotante [...], o en forma de grandes plataformas construidas en base a la acumulación de material vegetal (Blanco, 1999, p. 220).

En el primer grupo se muestran 102 especies acuáticas distribuidas por todos los humedales del país, las cuales representan el 57% de las aves acuáticas residentes en Suramérica.

Respecto al segundo grupo, se evalúa que el 98,3% de las aves migratorias, provenientes de la región norte, utilizan los humedales del país como estación biogeográfica para descansar. Habitando la mayoría de estas 57 especies en sus humedales durante todo el invierno boreal y otras solo paran algunos meses para continuar su viaje hacia al sur.

En el tercer grupo, la especie endémica que se encuentra en el país es la tingua cundiboyacense o *Rallus semiplumbeus*, sumando otras 33 especies endémicas de Suramérica, que equivalen al 27.6% del total continental.

Mamíferos: Los mamíferos más comunes son el chigüiro o *Hydrochaeris hydrochaeris*, el cual es muy vulnerable ante la caza ilegal, las nutrias o *Pterouna brasiliensis* y el manatí o *Trichechus manatus*, el cual está en gran peligro de extinción.

Reptiles y anfibios: en los diversos humedales del país se encuentran “los Caimanes (*Crocodylus intermedius* y *Crocodylus acutus*) y las babillas (*Caiman crocodylus*). La iguana común (Iguana iguana), los galápagos (*Podocnemis vogli*), las tortugas (*Podocnemis spp*) y las serpientes, además de la gran cantidad de sapos, ranas y de más anfibios” (Castellanos, 2006, p. 2).

Peces: entre los más consumidos y por lo tanto conocidos, son el bagre tigre o *Pseudoplatystoma fasciatum*, *P. tigrinum*, róbalo o *Centropomus undecimalis* y pargo o *Lutjanus sp.* (Castellanos, 2006, p. 2).

Arquitectura biocomputacional y evolución de ecosistemas habitables

Y respecto a la Flora del tejido biodiverso están:

manglares (asociación vegetal de carácter anfíbio adaptada para ocupar substratos inestables en donde las especies características pertenecen a los géneros *Rhizophora*, *Pellicera* y *Avicennia*), gramalotes (vegetación enraizada o flotante cuya principal especie es *Paspalum repens* o gramalote), varzea (vegetación inundable por ríos de aguas claras), zurales (vegetación dominada por pastos), morichal (formación vegetal de caños y bajíos más o menos pantanosos, dominados por la palma *Mauritia flexuosa*) y bosques de galerías (vegetación arbórea con varios estratos que se desarrolla a lo largo de los ríos y los caños) (Castellanos, 2006, p. 2).

Dentro de la descripción también se deben agregar los grupos de igual relevancia o mayor, pero más extensos, como son los insectos, fitoplancton y zooplancton (organismos unicelulares microscópicos que flotan en el agua), invertebrados acuáticos y terrestres, hongos y bacterianas (Castellanos, 2006, p. 2). Estos son fundamentales para el manejo de materia orgánica y su descomposición se debe, en gran parte, a este ecosistema microbiano que a una escala mayor se completan los ciclos biogeoquímicos, y los humedales puedan funcionar como sumideros de carbono (Álvarez, 2005).

Es por esto que los humedales, al ser ecosistemas y a la vez una gran red de relaciones interconectadas, requieran de cada elemento que lo compone, y cuando una especie desaparece a causa de su débil reserva genética u otros factores, un nodo de la red se colapse y partes de la red se desintegren, por lo que, dependiendo de el volumen de especies en los humedales, su diversidad genética, y la complejidad del ecosistema puede generar tal riqueza de biodiversidad que el vacío de una especie en el tejido no causaría su desenmarañamiento total, permaneciendo resiliente y se recuperaría del cambio, pero esto no pasa en todos los casos. Pero en algunos ambientes, con tal

solo quitar un elemento importante (especie clave) se puede colapsar el sistema por completo (Preshoff, 2017).

Frente a lo anterior, cabe cuestionarse, ¿qué ocurriría cuando las prácticas destructivas, la polución y acidificación de las aguas debilitan a una especie clave o matan todo al mismo tiempo?

Es fundamental tener presente que la pérdida de especies clave deja una amenaza en la estructura ambiental.

Por lo que la biodiversidad es vital para la supervivencia de los organismos en el planeta, nosotros los humanos también estamos tejidos en la red de a la biodiversidad, puesto que cuando pocos de estos hilos se pierden, nuestro propio bienestar se ve amenazado (Preshoff, 2017).

Para evitar el desenmarañamiento y al comprender que los humedales son sistemas vivos que, al requerir un manejo sostenible (y no solo de protección), se conformó la convención de Ramsar, cuya misión es:

la conservación y el uso racional de los humedales mediante acciones locales y nacionales y gracias a la cooperación internacional, como contribución al logro de un desarrollo sostenible en todo el mundo". Dentro de esta convención participa como signatario el país de Colombia, por lo tanto, al participar el país se compromete a velar por la restauración y conservación con el propósito de impedir la pérdida o reducción de estos ecosistemas, lo cual afectaría contundentemente los índices de biodiversidad que sustenta actualmente el país (Castellanos, 2006, p.1).

2.2.1.3.3.2. Ecosistema Humedal Santa María del Lago

El ecosistema del humedal comenzó a emerger después del levantamiento final de la cordillera de los Andes del norte y del altiplano cundiboyacense ubicado en la cordillera Oriental de Colombia, en la cual se formó una cuenca que devino en lago, después a través del tiempo sobre depósitos de la formación de la Sabana, la cual, por su carácter arcilloso, permitió el moldeamiento de la superficie para adecuar la geoforma de los cuerpos de humedales, por lo que:

el altiplano cundiboyacense contenía una rica biota acuática en un vasto complejo de humedales, ubicados especialmente en la sabana de Bogotá (146.000 ha), [...] los cuales han sufrido una profunda transformación por influencia humana, de tal suerte que hoy pueden considerarse como uno de los ecosistemas más amenazados a nivel nacional” (Andrade, 1998, p.59). Estos fueron objeto sobre todo en el siglo pasado de grandes cambios para destinar las tierras a la agricultura, la ganadería y luego la urbanización. Se estima que actualmente los humedales solo cubren el 3% de su superficie original.

“Los humedales del altiplano son alimentados por escorrentía superficial o por inundación directa de los ríos, con alguna influencia de aguas subterráneas, especialmente durante las estaciones de lluvias (Andrade, 1998, p.62).

El Humedal Santa María del Lago o también denominado como El Parque Ecológico Distrital (PED) de Humedal Santa María del Lago, al ser parte de estos humedales del altiplano cundiboyacense y contar con varias de las características antes expuestas, hace parte de un gran sistema hídrico y tiene una gran área de influencia directa e indirecta sobre otros elementos del sistema, como de barrios urbanizados, como se plantea en el Plan de Manejo Ambiental del PED de Humedal Santa

María del Lago, las cuales se expondrán más adelante, junto con sus características específicas geográficas, geológicas, urbanísticas y ambientales.

Primero, para comprender las dinámicas que han venido transformando e impactando el humedal, se requiere exponer el surgimiento del mismo a través de una explicación geológica y geomorfológica:

El cuerpo de almacenamiento hídrico está conformado por pequeños niveles lacustres arcillosos, muy probablemente con un alto contenido de materia orgánica, dada la descomposición in situ del material vegetal acuático, contenido por el cuerpo de agua.

Geomorfológicamente el área de influencia directa del humedal es plana con una baja pendiente, no superior al 3%. Los taludes del vaso de almacenamiento tienen una pendiente pronunciada, alcanzando sobre algunos sectores valores cercanos al 40% y alturas que llegan a los 3 metros, observadas a partir del espejo de agua” (Secretaría Distrital de Ambiente, 2010, p. 29).

Este humedal se localiza al noroccidente de la ciudad dentro de la localidad de Engativá, entre coordenadas 1’010.600 - 1’011.150 Norte y 997.800 - 998.400 Sur, extendiéndose en dirección suroeste - noreste. Limita por el norte con el conjunto residencial de San Francisco; hacia el oriente con las carreras 74 y 73 A y el conjunto residencial Sago; por el occidente con la carrera 76 y por el sur con la calle 75.

El humedal Santa María del Lago, por lo tanto:

Pertenece a la cuenca hidrográfica del río Juan Amarillo o Salitre, este río nace en los cerros orientales con el nombre de quebrada Arzobispo y a partir de la Avenida Circunvalar se

Arquitectura biocomputacional y evolución de ecosistemas habitables

transforma en un canal abierto denominado Salitre y posteriormente, a partir de la Avenida 68 hacia el occidente, Juan Amarillo. En su recorrido recibe el aporte de numerosos afluentes como las quebradas Las Delicias, Río Negro, los Molinos y el Chicó (Secretaría Distrital de Ambiente, 2010, p. 9).

Anteriormente, el Humedal Santa María del Lago conformaba dentro de la cuenca del río Juan Amarillo una microcuenca, la cual cumplía la función de amortiguar y regular las crecientes de los cauces menores que llegaban al humedal para posteriormente entregar su aporte hídrico al río Juan Amarillo. Como consecuencia del urbanismo generado a sus alrededores, actualmente el humedal está aislado del río Juan Amarillo directamente, hoy día cuenta con un aporte hídrico de aguas freáticas, y con conexiones de drenajes subterráneos, de los cuales se profundizará más en el punto de diagnóstico.

El humedal cumple la función de nicho ecológico y actúa como filtro purificador de algunas aguas residuales provenientes de algunos barrios aledaños (DAMA, 2000, p. 66).

A continuación, se presentan los barrios del área de influencia directa e indirecta del PED Humedal Santa María del Lago en las dos tablas siguientes:

Figura 9. Barrios y conjuntos residenciales del área de influencia directa del PED Humedal Santa María del Lago

No.	BARRIO	UPZ	CARACTERISTICA	LIMITE
1	La Granja	30 "Boyacá Real"	Residencial consolidado	Occidente
2	Santa María del Lago	30 "Boyacá Real"	Residencial consolidado	Sur
3	Tabora	30 "Boyacá Real"	Residencial consolidado	Sur
4	Conjunto Residencial San Francisco (Propiedad Horizontal)	30 "Boyacá Real"	Residencial consolidado	Norte
5	Conjunto Residencial SAGO (Propiedad Horizontal)	30 "Boyacá Real"	Residencial consolidado	Oriente

Fuente: Plan de Manejo Ambiental del Parque Ecológico Distrital de Humedal Santa María del Lago, el cual hace parte de los Planes de Manejo Ambiental aprobados para los humedales de Bogotá, de la Secretaría Distrital de Ambiente. pp. 13 <http://ambientebogota.gov.co/planes-de-manejo-ambiental1>, visitado 27/02/2017.

El área de influencia directa hace referencia, según el Plan de Manejo Ambiental del Parque Ecológico Distrital, a los barrios del cual proceden las personas que visitan frecuentemente el humedal. Dentro de esta área también se destaca por su cercanía el parque de escala zonal Tabora, el cual hace parte de la Estructura Ecológica Principal del Distrito.

Figura 10. Barrios del área de influencia indirecta del PED Humedal Santa María del Lago

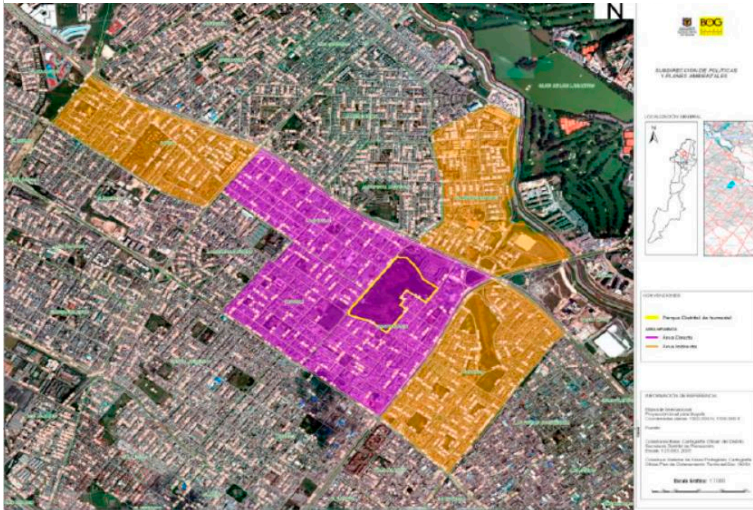
No.	BARRIO	UPZ	CARACTERISTICA	LIMITE
1	Minuto de Dios	29 "Minuto de Dios"	Residencial consolidado	Norte
2	Bonanza	26 "Ferias"	Con centralidad urbana	Oriente
3	San José de la Granja	30 "Boyacá Real"	Residencial consolidado	Occidente
4	Paris	30 "Boyacá Real"	Residencial consolidado	Occidente

Fuente: Plan de Manejo Ambiental del Parque Ecológico Distrital de Humedal Santa María del Lago, el cual hace parte de los Planes de Manejo Ambiental aprobados para los humedales de Bogotá, de la Secretaría Distrital de Ambiente. pp. 14 <http://ambientebogota.gov.co/planes-de-manejo-ambiental1>, visitado 27/02/2017.

El área de influencia indirecta hace referencia los barrios más lejanos, en el que se han identificado actores con un sentido de apropiación por el humedal. Estos barrios son Minuto de Dios, Bonanza, San José de la Granja y París (Figura 11.)

Arquitectura biocomputacional y evolución de ecosistemas habitables

Figura 11. Área de influencia del PED Humedal Santa María del Lago



Fuente: Plan de Manejo Ambiental del Parque Ecológico Distrital de Humedal Santa María del Lago, el cual hace parte de los Planes de Manejo Ambiental aprobados para los humedales de Bogotá, de la Secretaría Distrital de Ambiente. pp. 15 <http://ambientebogota.gov.co/planes-de-manejo-ambiental1>, visitado 27/02/2017.

Este humedal tiene una clasificación de fisiografía y origen ante el Distrito como humedal de planicie, de origen fluviolacustre del plano inundable del río Bogotá. El Humedal Santa María del Lago corresponde a los humedales que han evolucionado con la Sabana en su formación y en la utilización que de ella han hecho sus habitantes. Por lo tanto, “su comportamiento está ligado con los pulsos anuales y multianuales; son ecosistemas anfibios en los cuales la fase terrestre y la fase acuática no tienen límites precisos y varían estacionalmente” (Secretaría Distrital de Ambiente, 2010, p. 16).

También se cuenta con otra clasificación realizada por la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá EAAB y Conservación Internacional CI (2000) para la calificación de los humedales del Distrito Capital a partir de tres grupos de parámetros: físicos, socioculturales y bióticos.

En los físicos se estudia el control de inundaciones, la retención de sedimentos, la incidencia en el microclima local y la depuración de aguas, siendo el humedal un gran depurador de agua.

Bajo los parámetros socioculturales, el Humedal Santa María del Lago es uno de los humedales más importantes en cuanto a uso de recreación, investigación, valor paisajístico y educación ambiental, motivo que promueve la conservación del ecosistema con fines socioculturales y de oferta ciudadana.

Debido a esto, el humedal, bajo el artículo 96 Decreto 190 de 2004, es un área de alto valor escénico y/o biológico, que cumple una función básica en la conservación y recuperación de los recursos naturales de la ciudad.

En los parámetros bióticos se estudia la importancia en términos de diversidad, riqueza de especies de flora y fauna, riqueza de especies hidrobiológicas, oferta de hábitats para especies migratorias acuáticas y hábitats. En general, al compararlo con los demás humedales del Distrito, tiene una importancia media, estos parámetros se mostrarán a lo largo de este punto, teniendo presente que el contexto en su proceso de consolidación ha presentado una dinámica fluctuante dada por la expansión de la urbe, que de esta manera ha impactado en la conformación y cobertura tanto terrestre como acuática y semiacuática del humedal, por lo que se expondrán diversos estudios y conteos a través de los años sobre el humedal y así mismo evidenciar los componentes ambientales y sus cambios.

Este humedal según un estudio realizado de inventario de la macrofauna observada (desde febrero 23 hasta mayo 31 del 2001) contaba en ese entonces con:

3 especies de peces, una de anfibios, 31 de aves y 3 de mamíferos, registradas en los diferentes muestreos mensuales con una intensidad de uno por semana. Dentro de la fauna del citado humedal, se resalta la presencia de los mamíferos *Cavia porcellus* (Caviidae), *Oecomys speciosus* (Muridae) y *Olygoryzomys fulvescens* (Muridae), la rana *Hyla labialis*

Arquitectura biocomputacional y evolución de ecosistemas habitables

(Hylidae) y los peces *Eremophilus mutissii* (Trichomycteridae) y *Grundulus bogotensis* (Characidae), que se consideraban desaparecidos del humedal. También se registran por primera vez para el humedal, nueve especies de aves (*Anas platyrhynchos*, *Carduelis psaltria*, *Anser anser*, *Diglossa humeralis*, *Piranga olivacea*, *P. rubra*, *Rhamphocelus dimidiatus*, *Stelgidopteryx ruficollis*, *Vireo olivaceus*), al igual que el pez exótico (*C. auratus*). (Álvarez-León, 2009, p. 24)

En otro estudio, durante el II Censo de Aves en los Humedales de la Sabana de Bogotá, organizado por la ABO y el I Censo Nacional de Aves organizado por el Instituto de investigaciones Biológicas “Alexander von Humboldt” y *Calidris*, entre el 2 y 17 de febrero publicado en la revista 29 de, El Clarinero, se evidenció lo siguiente:

se registraron 6 especies de aves acuáticas, entre ellas una migratoria; aunque el número de especies observadas prácticamente se duplicó, hubo una leve disminución del número total de individuos. Por ejemplo, la población de fochas (*Fulica americana*) bajó, pues pasó de 68 a 0 individuos, en la de la tingua azul (*Porphyryla martinica*) de 15 a 0 individuos y en la del chamón (*Molothrus bonariensis*) que pasó de 55 a 3 individuos. No obstante, la población del zambullidor piquipinto (*Podilymbus podiceps*) aumentó de 2 a 17 individuos y se registró por primera vez al pato canadiense o cerceta aliazul (*Anas discors*). (Álvarez-León, 2009, p. 24)

Respecto a la fauna mamífera, se ha avistado una presencia de especies de roedores, felinos y algunas especies de la familia canidae. Lamentablemente no se encuentra información sobre estudios realizados en el PED Humedal Santa María del Lago respecto a la fauna de mamíferos (Secretaría Distrital de Ambiente, 2010, p. 81).

Imágenes de algunas de las especies que habitan el humedal:

Figura 12. Tingua Pico amarillo o *Fulica americana* colombiana



Fuente: <http://humedalesbogota.com/2012/04/10/aves-de-los-humedales-bogotanos/> (2017)

Figura 13. *Cavia porcellus*



Fuente: https://c2.staticflickr.com/8/7077/7223651910_3542e6cbd8_b.jpg (2017)

Figura 14. *Grundulus bogotensis*



Fuente: <http://www.fishbase.org/FishWatcher/uploads/images/Guapucha.JPG> (2017)

Figura 15. *Rana Hyla labialis*



Fuente: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/f/f5/Dendropsophus_labialis01.jpg

Respecto a la flora se encuentran las macrófitas y se reportaban, entre otros, la lechuga de agua (*Pistia stratiotes*), la lenteja de agua (*Lemna minor*), el helecho de agua (*Salvinia* sp), el candelabro (*Ceratophyllum* sp), la hoja de buitres (*Limnophyton* sp), la enea (*Typha* sp), el junco (*Scirpus* sp), el sapo (*Echinodorus* sp) y el carretón (*Marsilea* sp) (Secretaría Distrital de Ambiente, 2010, p. 32).

Arquitectura biocomputacional y evolución de ecosistemas habitables

Imágenes de algunas de las especies que habitan el humedal:

Figura 16. Lechuga de agua (*Pistia stratiotes*)



Fuente: <http://www.zimbabweflora.co.zw/speciesdata/images/11/112070-1.jpg> (2017)

Figura 17. Enea (*Typha* sp)



Fuente: <https://s-media-cache-ak0.pinimg.com/originals/61/63/81/6163818e5641dded5095f781f1fc8020.jpg> (2017)

Figura 18. Hoja de buitre (*Limnocharis* sp)



Fuente: <http://international.extension.ifas.ufl.edu/LaFlor/weeds-of-costa-rica/MALEZAS/FLORES/Limnocharis-laforestii.jpg> (2017)

Figura 19. Junco (*Scirpus* sp)



Fuente: <https://bugwoodcloud.org/images/384x256/5400844.jpg> (2017)

En cuanto a las plantas leñosas, estas se presentan de manera discreta, asociadas con ecosistemas andinos y de la Sabana de Bogotá, con arbustos y árboles sembrados que presentaron un porte medio como las acacias (*Acacia* spp), urapanes (*Fraxinus chinensis*), pinos (*Pinus* spp), eucaliptos (*Eucalyptus* spp), saucos (*Sambucus peruviana*), sauces (*Salix humboldtiana*), etc. (Secretaría Distrital de Ambiente, 2010, p. 32).

En el año 2003, en el trabajo de grado del estudiante Héctor Ramos de la Facultad de Ingeniería

Figura 20. Especies de árboles y arbustos encontradas en el Parque Ecológico Distrital Humedal Santa María del Lago en el año 2003

No.	FAMILIA	ESPECIE	NOMBRE COMÚN	TOTAL
1	BETULACEAE	<i>Alnus acuminata</i>	Aliso	144
2	MORACEAE	<i>Ficus soatensis</i>	Caucho	122
3	MYRTACEAE	<i>Eugenia umbellulifera</i>	Eugenia	113
4	ELAEocarpaceae	<i>Vallea stipularis</i>	Raque	99
5	LYTHRACEAE	<i>Lafoensia speciosa</i>	Guayacán	92
6	ESCALONIACEAE	<i>Escallonia paniculata</i>	Tíbar	91
7	ARALIACEAE	<i>Oreophanax floribundum</i>	Mano de oso	87
8	EUFORBIACEAE	<i>Croton funkianus</i>	Sangregado	87
9	ROSACEAE	<i>Prunus serotina</i>	Cerezo	85
10	CAPRIFOLIACEAE	<i>Viburnum triphyllum</i>	Garrocho	81
11	MELIACEAE	<i>Cedrela montana</i>	Cedro	80
12	MALVACEAE	<i>Abutilon insigne</i>	Abutilón	77
13	VERBENACEAE	<i>Cytharexylum subflavescens</i>	Cajeto	73
14	FLACOURTIACEAE	<i>Abatia parviflora</i>	Duraznillo	65
15	MYRTACEAE	<i>Myrcyanthes leucoxila</i>	Arrayan	63
16	MAGNOLIACEAE	<i>Magnolia grandiflora</i>	Magnolio	58
17	JUGLANDACEAE	<i>Juglans neotropica</i>	Nogal	57
18	MELASTOMACEAE	<i>Meriania nobilis</i>	Amarrabo	55
19	MELASTOMACEAE	<i>Tibouchina lepidota</i>	Sietecueros	52
20	FAGACEAE	<i>Quercus humboldtii</i>	Roble	42
21	MYRTACEAE	<i>Calistemon sp.</i>	Calistemo	41
22	ASTERACEAE	<i>Polymnia pyramidalis</i>	Arboloco	37
23	BIGNONIACEAE	<i>Tecoma stans</i>	Chicalá	37
24	MIRICACEAE	<i>Myrica pubescens</i>	Laurel	36
25	SOLANACEAE	<i>Cestrum buxifolium</i>	Tinto	33
26	HAMAMELIDACEAE	<i>Liquidambar styraciflua</i>	Liquidámbar	32
27	MYRSINACEAE	<i>Rapanea guianensis</i>	Cucharo	29
28	GUTTIFERAE	<i>Clusia multiflora</i>	Gaque	28
29	CAESALPINACEAE	<i>Adipera tomentosa</i>	Alcaparro enano	26
30	FLACURTIACEAE	<i>Xylosma spiculiferum</i>	Corono	26
31	EUPHORBIACEAE	<i>Ricinus communis</i>	Higuera	26
32	MELASTOMACEAE	<i>Bucquetia glutinosa</i>	Charne	25
33	ANACARDIACEAE	<i>Schinus molle</i>	Falso pimienta	24
34	COMPOSITAE	<i>Baccharis bogotensis</i>	Chilca	15
35	ONAGRACEAE	<i>Fuchsia sp.</i>	Fucsia nativa	14
36	ONAGRACEAE	<i>No aparece</i>	No aparece	14
37	ARECACEAE	<i>Ceroxylon quindiuense</i>	Palma de cera	10
38	ROSACEAE	<i>Pyracantha coccinea</i>	Holly espinoso	9
39	PITTOCORACEAE	<i>Pittosporum undulatum</i>	Jazmin del cabo	8
40	SILICACEAE	<i>Salix humboldtiana</i>	Sauce	8
41	ERYCACEAE	<i>Befaria resinosa</i>	Carbonero	7
42	MYRTACEAE	<i>Eucalyptus ficifolia</i>	Eucalipto poma	7
43	ROSACEAE	<i>Hesperomeles goudotiana</i>	Mortijo	7
44	COMPOSITAE	<i>Baccharis latifolia</i>	Salvio	7
45	VERBENACEAE	<i>Duranta mutisi</i>	Espino garbanzo	6
46	PODOCARPACEAE	<i>Decussocarpus rospigliosi</i>	Pino romeron	6
47	CUPRESSACEAE	<i>Cupressus lusitanica</i>	Pino	3
48	MIMOSACEAE	<i>Acacia decurrens</i>	Acacia	2
49	SOLANACEAE	<i>Cestrum nocturnum</i>	Caballero noche	2
50	SILICACEAE	<i>Salix viminalis</i>	Mimbre	2
51	LILIACEAE	<i>Yucca elephantipes</i>	Palmito	2
52	ARAUCARIACEAE	<i>Araucaria brasiliensis</i>	Araucaria	1
53	ARAUCARIACEAE	<i>No aparece</i>	Puya	1
54	FABACEAE	<i>Cytisus monspessulanus</i>	Retamo	1
			Total	2155

Plan de Manejo Ambiental del Parque Ecológico Distrital de Humedal Santa María del Lago, el cual hace parte de los Planes de Manejo Ambiental aprobados para los humedales de Bogotá, de la Secretaría Distrital de Ambiente. pp. 41-42 <http://ambientebogota.gov.co/planes-de-manejo-ambiental1>, visitado 27/02/2017.

Forestal de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, “se levantó un inventario al 100% de las especies de árboles presentes en el Parque Ecológico del Humedal, estudio que arrojó un total de 2155 individuos de árboles y arbustos, pertenecientes a 54 géneros, distribuidos en 36 familias” (Secretaría Distrital de Ambiente, 2010, p. 41).

Para el estudio de estas especies también se desarrolló una modelación para medir la cantidad de biomasa arbórea y el índice de Índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI)

Para el primero se tomó información de los BIG datos del GIS de Bogotá sobre los árboles, estos datos presentaban la geolocalización en coordenadas más la altura correspondiente a cada árbol, es así como a través de la abstracción topológica geométrica basada en la proporción aurea la cual se identifica como una de las estrategias evolutivas, desarrollo de dos fórmulas para el cálculo y modelado de biomasa.

Arquitectura biocomputacional y evolución de ecosistemas habitables

Para la medición y generación de las copas de los árboles se contaron como esferas bajo la proporción aurea en el radio respecto a la altura: $r = h - \frac{h}{\phi}$ para luego sacar el volumen $V = \frac{4}{3}\pi r^3$ (figuras 21, 22) y para la generación de los troncos, estos se abstrajeron como cilindros bajo proporción aurea en el radio respecto a la altura:

$$r = \frac{\left(\frac{h}{(\sqrt{\phi})\pi}\right)}{2}, \text{ para luego sacar el volumen del cilindro, } V = h\pi r^2$$

Figura 22. Copa de árbol

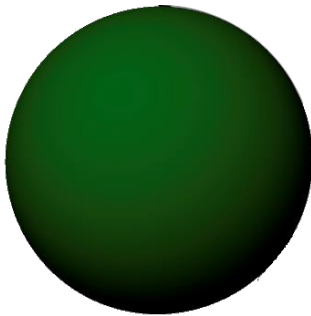


Figura 21. Tronco de árbol



Figura 23. Árboles en el área de estudio

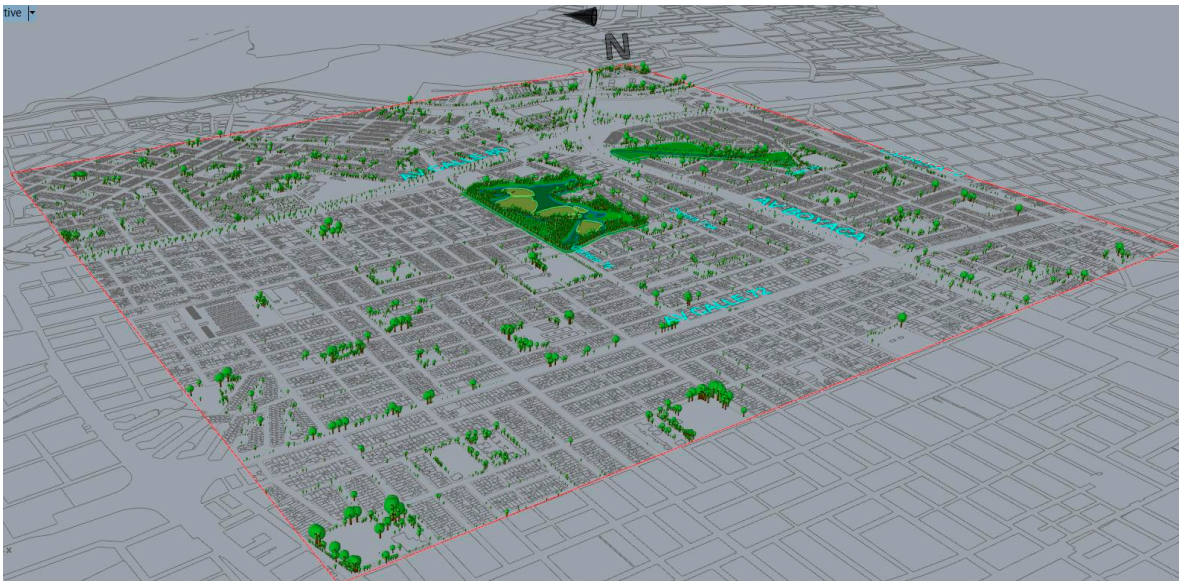


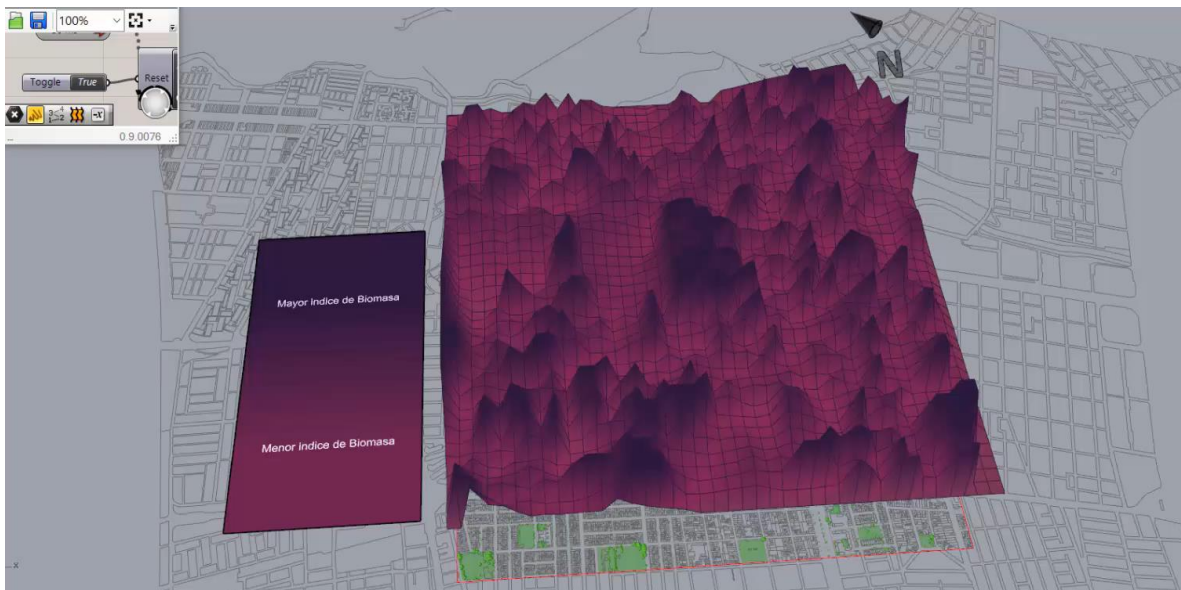
Figura 24. Árboles en el humedal.



A través la información de volumen se encontró que el volumen de la biomasa arbórea está en un promedio aproximado de 871.492,3 m³.

Con la información anterior también se identificaron los cuadrantes con mayor índice de biomasa arbórea, a través de la modelación de un paisaje fitness:

Figura 25. Índice de biomasa por cuadrante.



Arquitectura biocomputacional y evolución de ecosistemas habitables

En la cual se encuentra el humedal es el área con mayor índice de biomasa, pero la cual está aislada del sistema arbóreo del área de estudio.

De los árboles del humedal se estudió que del total de los especímenes 915 (60%), se encuentran entre los cinco y los diez metros de altura, de lo que se concluye que la vegetación es reciente y está en etapa de desarrollo.

De las especies que cumplen función de amortiguación (una barrera viva que minimiza factores contaminantes debido a su abundante follaje) se encontraron 705; de las que cumple la función de percha (especies de porte alto y que, por su estructura de copa, favorecen la presencia de aves al ofrecer un hábitat propicio para el avistamiento tanto de presas como de depredadores) se encontraron 612; de refugio (especies que tienen una copa densa de mediano porte, en la que la avifauna puede construir sus nidos) se encontraron 500; de alimento de avifauna, la cual contribuye a la cadena trófica, se encontraron 1167; de protección y recuperación del suelo se encontraron 952; de protección hídrica, que son de gran relevancia, puesto que como el humedal cuenta con afluentes directos, y aparte existe un deficiente patrón de distribución de estas especies que minimiza la función que deberían cumplir como sistema, de estas se encontraron 871.

En síntesis, la cobertura vegetal leñosa del humedal cumple en principio con funciones de alimento a la avifauna, seguida por la protección del suelo; pero las especies que brindan refugio para la nidación son escasas.

Respecto a la vegetación acuática y semiacuática que, al constituir el elemento estructural más notable del paisaje de los humedales, presenta diversas adaptaciones a las condiciones de saturación de humedad del suelo y a los diferentes grados de inundación, lo cual define los biotipos generales:

- De acuerdo con su posición dentro de la columna de agua se diferencian: las plantas sumergidas que se desarrollan en su totalidad debajo de la superficie del agua y las plantas emergentes que tienen la totalidad o parte de sus hojas y vástagos por encima de la superficie del agua.
- De acuerdo con la fijación de los sistemas de raíces se puede diferenciar las plantas libres y las plantas enraizadas.

Estas especies se especifican en la siguiente tabla por comunidades en ocupación de área:

Figura 26. Comunidades de plantas acuáticas presentes en el cuerpo de agua del PED Humedal Santa María del Lago

AREA (Ha)	DESCRIPCIÓN
0.03	Comunidad acuática dominada por botoncillo (<i>Bidens laevis</i>)
0.15	Comunidad acuática dominada por buchón (<i>Limnobiium laevigatum</i>)
0.11	Comunidad acuática dominada por lenteja de agua (<i>Lemna</i> sp.) y helecho de agua (<i>Azolla filiculoides</i>)
0.25	Comunidad acuática dominada por sombrilla de agua (<i>Hydrocotile ranunculoides</i>) y clavito (<i>Luwigia peploides</i>)
0.07	Comunidad acuática dominada por sombrilla de agua (<i>Hydrocotile ranunculoides</i>), botoncillo (<i>Bidens laevis</i>) y barbasco de pantano (<i>Polygonum</i> sp.)
0.46	Comunidad acuática dominada por sombrilla de agua (<i>Hydrocotile ranunculoides</i>), buchón (<i>Limnobiium laevigatum</i>) y botoncillo (<i>Bidens laevis</i>).
0.70	Comunidad acuática dominada por buchón (<i>Limnobiium laevigatum</i>), lenteja de agua (<i>Lemna</i> sp.), clavito (<i>Luwigia peploides</i>) y sombrilla de agua (<i>Hydrocotile ranunculoides</i>)
0.50	Comunidad acuática dominada por enea o espadafia (<i>Typha dominguensis</i>)
3.01	Espejo de agua

Plan de Manejo Ambiental del Parque Ecológico Distrital de Humedal Santa María del Lago, el cual hace parte de los Planes de Manejo Ambiental aprobados para los humedales de Bogotá, de la Secretaría Distrital de Ambiente. pp. 68

Arquitectura biocomputacional y evolución de ecosistemas habitables

<http://ambientebogota.gov.co/planes-de-manejo-ambiental1>, visitado 27/02/2017. Las especies de macrófitas que han sido reportadas en estudios realizados entre el año 2001 y 2005 son las siguientes (Figura 27.):

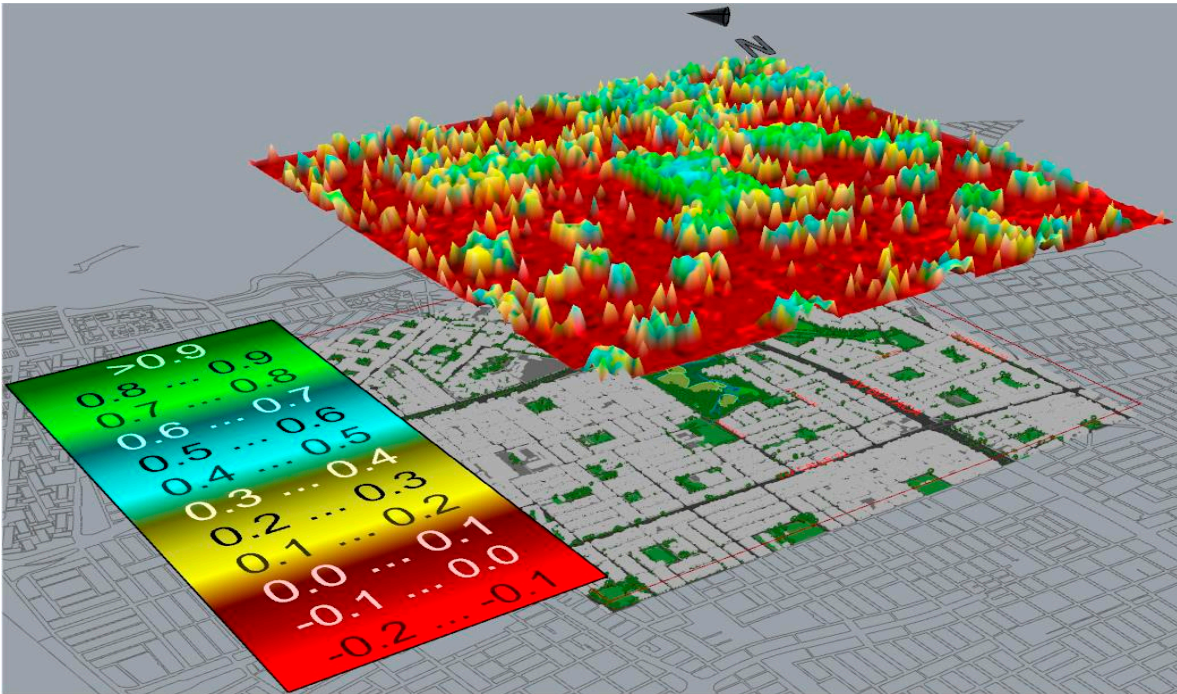
Figura 27. Especies de macrófitas reportadas en el PED Humedal Santa María del Lago en el período 2001 – 2005.

FAMILIA	ESPECIE
Araceae	<i>Zantedeschia aethiopica</i> Spreng.
Compositaceae	<i>Bidens laevis</i> Britton, Stems & Poggenb.
Cyperaceae	<i>Cyperus acuminatus</i> Torr. & Hook.
	<i>Cyperus alternifolius</i> L.
	<i>Cyperus papyrus</i> L.
	<i>Cyperus rufus</i> Kunth.
	<i>Scirpus californicus</i> Britton
Haloragaceae	<i>Myriophyllum elatinoides</i> Gaudich.
Hydrocaritaceae	<i>Limnobium</i> sp.
	<i>Limnobium laevigatum</i> (Willd.) Heine
Juncaceae	<i>Juncus bogotensis</i> H.B. & K.
Lemnaceae	<i>Lemna minor</i> L.
Onnagraceae	<i>Ludwigia peruviana</i> (L.) H.Hara
Salvinaceae	<i>Azolla filiculoides</i> Lam.
Polygonaceae	<i>Polygonum hydropiperoides</i> Michx.
	<i>Polygonum segetum</i> Kunth
Umbelliferae	<i>Hydrocotyle ranunculoides</i> L.f.
Typhaceae	<i>Typha latifolia</i> L.

Plan de Manejo Ambiental del Parque Ecológico Distrital de Humedal Santa María del Lago, el cual hace parte de los Planes de Manejo Ambiental aprobados para los humedales de Bogotá, de la Secretaría Distrital de Ambiente. pp. 69-70 <http://ambientebogota.gov.co/planes-de-manejo-ambiental1>, visitado 27/02/2017.

Posteriormente se estudió el índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI), la cual muestra a través de imágenes satelitales de 8 bandas, la cantidad, calidad y desarrollo de vegetación, bajo esta información también se desarrolló un paisaje fitness para encontrar los cuadrantes con mayor y menor índice:

Figura 28. Paisaje fitness de NDVI



Las zonas en rojo muestran la usencia de vegetación.

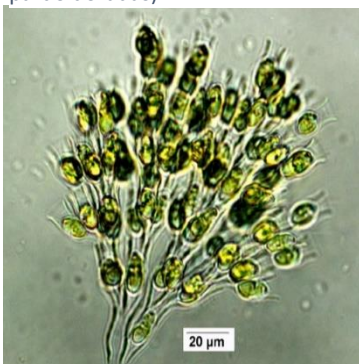
Otras de las especies nativas propias del ecosistema de humedal se encuentran en el cuerpo de agua a una escala más pequeña, como el “fitoplancton perteneciente a diferentes clases de microalgas como Bacillariophyceae (diatomeas), Chrysophyceae (Algas pardo doradas), Xanthophyceae (Algas pardo amarillentas) entre otras, las cuales ven limitado su desarrollo por la penetración de luz en la columna de agua. (Secretaría Distrital de Ambiente, 2010, p. 32).

En el zooplancton, encontrado en el PED Humedal Santa María del Lago, se reportan organismos pertenecientes a las familias Culicidae, Chironomidae del Orden Díptera, y los órdenes: Ephemeroptera, Hemiptera, Plecóptera y Trichoptera, entre otros” (Secretaría Distrital de Ambiente, 2010, p. 32).

Arquitectura biocomputacional y evolución de ecosistemas habitables

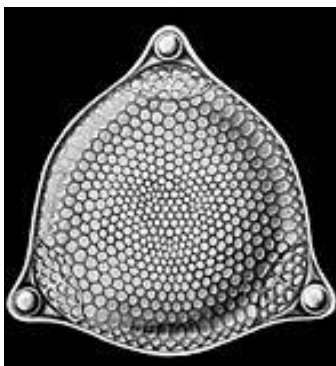
Algunas Imágenes de las micro especies que habitan el humedal:

Figura 29. Chrysophyceae (Algas pardo doradas)



Fuente: http://cfb.unh.edu/phycovey/Choices/Chrysophyceae/clonal_chrysophyceae/flagellated/DINOBYRON/Dinobryon_09_600x547-Swains_06.jpg (2017)

Figura 30. Bacillariophyceae (diatomea)



Fuente: <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/b/b9/Diatomeas-Haeckel.jpg/240px-Diatomeas-Haeckel.jpg> (2017)

Figura 31. Xanthophyceae (Algas pardo amarillentas)



Fuente: http://protist.lhosei.ac.jp/PDB/Images/Heterokontophyta/Excentrochloris/sp_02.jpg (2017)

En la siguiente tabla se muestra un listado de las morfoespecies de fitoplancton que han sido reportados en estos muestreos y su significado como bioindicador.

Figura 32. Morfoespecies de fitoplancton reportadas en el PED Humedal Santa María del Lago

Clasificación	Bioindicación
Clase Chlorophyceae, Orden: Clorococcales, Género: Coelastrum	Aguas estancadas
División: Clorophyta, Clase: Conjugatophyceae, Orden: Desmediales, Género: Cosmarium	pH ácido, mesotrófia
División: Clorophyta, Clase: Conjugatophyceae, Orden: Desmediales, Género: Closterium	Meso a Eutrofia
Clase Chlorophyceae, Orden: Clorococcales, Género: Pediastrum	Eutrofia, aguas estancadas o de corriente lenta
Clase: Chrysophyceae, Orden: Chrysomonadales, Género: Synura	Aguas ricas en Zinc
Clase: Bacillariophyceae, Orden: Pennales, Género: Stauroneis	
Clase: Bacillariophyceae, Orden: Pennales, Género: Navicula	Sedimentos y conductividad altos, mesotrofia
Clase: Bacillariophyceae, Orden: Centrales, Género: Rhizosolenia	Aguas someras estancadas o de corriente lenta, rica en sustancias nutritivas
Clase: Euglenophyceae, Orden: Euglenales, Género: Phacus	Sedimentos y conductividad altos, materia orgánica
Clase: Euglenophyceae, Orden: Euglenales, Género: Trachelomonas	Eutrofia, sedimentos y conductividad altos
Clase: Cyanophyceae, Orden: Chroococcales, Género: Merismopedia	Eutrofia
Clase: Cyanophyceae, Orden: Nostococales, Género: Spirulina	Aguas residuales
Clase: Cyanophyceae, Orden: Nostococales, Género: Lingbya	Estratificación, sucesión avanzada, eutrofia
Clase: Cyanophyceae, Orden: Nostococales, Género: Oscillatoria	Estratificación, sucesión avanzada, eutrofia

Plan de Manejo Ambiental del Parque Ecológico Distrital de Humedal Santa María del Lago, el cual hace parte de los Planes de Manejo Ambiental aprobados para los humedales de Bogotá, de la Secretaría Distrital de Ambiente. pp. 90. <http://ambientebogota.gov.co/planes-de-manejo-ambiental1>, visitado 27/02/2017.

En el 2008 se realizó un estudio sobre la influencia y relación de algunas variables abióticas sobre el fitoplancton del humedal, con el fin de establecer algunos grados de eutrofia y contaminación del cuerpo de agua, entre estos se encontraron representantes de:

Discomitochondria (en el más alto porcentaje 69.4%), Chlorofyta (12.6%), Bacillariophyta (9.2%) y Cyanophyta (8.7%) hallándose como los más representativos Closterium y Trachelomonas. Se determinó que los cambios en la composición taxonómica y la concentración de azufre e hidrogeno, pueden estar influenciados por los cambios en la relación N: P, como consecuencia del patrón de lluvias (Secretaría Distrital de Ambiente, 2010, p. 91).

De acuerdo a otros estudios realizados el mismo año, de forma cualitativa, se ubicó evidencias de la eutrofia debido a características como: “olor vegetal fuerte, color pardusco del agua, sedimentos fangosos negruzcos con olor a ácido sulfhídrico y la gran masa de macrófitas enraizadas y flotantes que cubren el 76% del espejo de agua)” (Secretaría Distrital de Ambiente, 2010, p. 91).

Estos factores impactan en el ecosistema directamente generando que la oferta ambiental se reduzca en los humedales, por lo que es necesario explorar cuál es la oferta del PED Humedal Santa María del Lago.

Bajo un estudio del Protocolo de Recuperación y Rehabilitación Ecológica de Humedales en Centros Urbanos, se estudió una oferta ambiental, la cual se muestra a continuación en la siguiente tabla

Arquitectura biocomputacional y evolución de ecosistemas habitables

Figura 33.Oferta ambiental

VALORACIÓN	BURRO	CAPELLANÍA	CONEJERA	CÓRDOBA	JABOQUE	JUAN AMARILLO	LA VACA	MEANDRO DEL SAY	SANTA MARÍA	TECHO	TIBANICA	TORCA-GUAYMARAL
Espejo de agua	0,3	0,1	0,2	0,7	0,3	0,9	0,2	0,0	3,0	0,4	0,0	0,3
Área en tierras en cultivo	3,0	3,0	0,0	3,0	1,8	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	2,4
Área con cobertura de <i>Pennisetum clandestinum</i>	0,6	0,1	0,9	3,0	1,5	1,4	1,8	0,0	0,9	0,2	2,0	0,3
Proximidad entre humedales(0 -3)	2,0	0,9	1,9	2,0	2,0	2,0	2,1	2,0	1,8	1,5	2,0	3,0
Mantenimiento del flujo de agua	2,0	2,5	3,0	3,0	3,0	3,0	1,0	3,0	0,0	0,0	2,0	3,0
Mantenimiento de las fluctuaciones de agua (precipitación efectiva y drenaje canalizado)	2,1	3,4	2,7	3,5	2,0	3,0	1,0	0,5	3,1	3,0	1,1	1,7
Fragmentación	0	1	3	1	2	2	0	2	3	0	0	2
Factibilidad de ampliación: compensación	3,0	0,0	1,0	0,0	2,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,0	3,0
Presiones por crecimiento urbanístico e invasiones	2,0	2,0	3,0	3,0	2,0	2,0	0,0	3,0	3,0	0,0	0,0	1,0
Proyectos de infraestructura que impactan negativamente	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	3,0	3,0	0,0	0,0	1,0
Sumatoria (0 - 30)	15	13	16	19	16	17	9	17	18	8	12	17
Puntaje (1 - 100)	49	43	52	65	54	58	30	55	59	26	40	58

Fuente: Plan de Manejo Ambiental del Parque Ecológico Distrital de Humedal Santa María del Lago, el cual hace parte de los Planes de Manejo Ambiental aprobados para los humedales de Bogotá, de la Secretaría Distrital de Ambiente. pp. 21 <http://ambientebogota.gov.co/planes-de-manejo-ambiental1>, visitado 27/02/2017.

La estimación de los valores de los diferentes criterios tomados en cuenta, manejan una escala común de 0 a 3; siendo 0 la condición menos favorable y 3 la mejor. Es importante aclarar que cuando se hace referencia a la mejor condición, se refiere únicamente a la condición actual de los estos ecosistemas y sus diferencias o afinidades entre ellos mismos; ya [...] que todos los humedales distritales se encuentran en condiciones de alteración determinadas por su historia de transformación y que hay etapas o condiciones que nunca podrán retornar ni siquiera si se hace artificialmente. Para determinar el índice total de cada conjunto de características se sumaron los puntajes y finalmente para efectos comparativos, estas sumatorias se expresaron en una escala de 1 a 100 (Secretaría Distrital de Ambiente, 2010, p. 21).

Por lo que se expresa en la tabla anterior, aunque el humedal tenga ciertos puntos a favor bajo estudios del 2008 que no han sido actualizados por el Distrito, este mismo, tomó para definir el nivel de prioridad para la intervención y restauración de la vegetación acuática y semiacuática de los humedales, la relación de las características físicas y bióticas, evidenciando que todo humedal tiene la necesidad de su recuperación o rehabilitación ecológica, ya que ninguno tiene plena capacidad autorreguladora (Secretaría Distrital de Ambiente, 2010, p. 21). También es fundamental tener en cuenta que estas clasificaciones corresponden a la situación de la vegetación acuática y semiacuática en el momento de las observaciones en el año 2001 y es posible que actualmente existan modificaciones importantes en la distribución de las coberturas dadas por transformaciones posteriores.

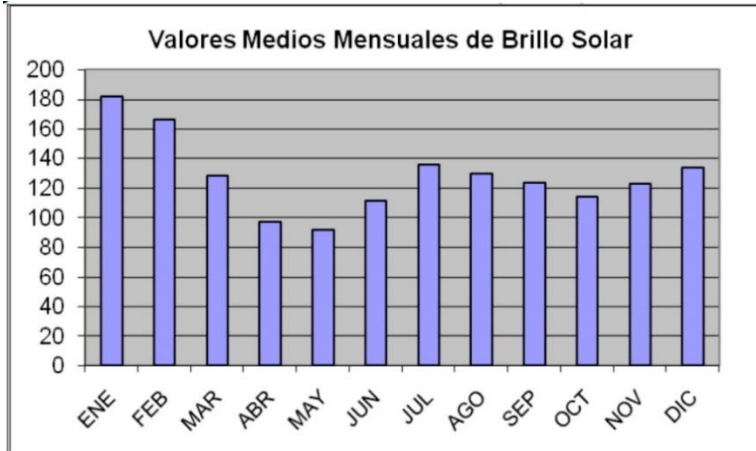
Por lo tanto, para la intervención y restauración de la vegetación acuática y semiacuática de los humedales, se deben tener en cuenta otras variables ambientales directamente del humedal y otras de su contexto que lo afectan de una o de otra forma.

En ese sentido, la humedad del humedal relativa media anual es, según el DAE en el 2007 del 80%, variando entre un 77 y un 84%.

Arquitectura biocomputacional y evolución de ecosistemas habitables

Según la estación meteorológica de El Dorado, los valores más altos de brillo solar son enero, febrero, julio y diciembre, mientras que los más bajos se registran en los meses de abril y mayo (Figura 34).

Figura 34. Valores mensuales más altos de brillo solar



Fuente: Plan de Manejo Ambiental del Parque Ecológico Distrital de Humedal Santa María del Lago, el cual hace parte de los Planes de Manejo Ambiental aprobados para los humedales de Bogotá, de la Secretaría Distrital de Ambiente. pp. 14 <http://ambientebogota.gov.co/planes-de-manejo-ambiental1>, visitado 27/02/2017.

La temperatura medida por la estación meteorológica de El Dorado, la cual también mide la temperatura anual de Bogotá, tiene impacto directo sobre el humedal, la cual se muestra más adelante en la siguiente tabla (Figura.35):

Figura 35. Temperatura anual de Bogotá.

Clima en Bogota / Eldorado

Históricos desde 1941 hasta 2017

Datos reportados por la estación meteorológica: 802220 (SKBO) | [Registros horarios](#)

Latitud: 4.7 | Longitud: -74.13 | Altitud: 2547

Valores climáticos medios anuales												
Año	T	TM	Tm	PP	V	RA	SN	TS	FG	TN	GR	
2007	13.1	18.8	8.2	-	8.8	202	0	73	103	0	0	
2008	12.9	17.9	8.7	-	8.8	212	1	84	100	0	0	
2009	13.6	19.1	8.9	-	10.3	206	2	67	76	0	2	
2010	13.9	20.4	9.1	-	9.0	255	3	93	91	0	1	
2011	13.8	19.9	9.6	-	9.9	252	5	116	86	0	1	
2012	13.5	19.5	8.6	-	10.5	227	0	88	73	0	0	
2013	13.8	19.8	8.6	-	10.8	193	0	85	83	0	0	
2014	13.8	19.6	8.9	-	10.4	214	1	81	60	0	2	
2015	14.1	20.0	9.0	512.08	11.2	183	0	48	29	0	1	
2016	14.3	20.1	9.0	-	10.2	209	0	67	75	0	0	
2017	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

Interpretación valores climáticos medios anuales

T	Temperatura media anual
TM	Temperatura máxima media anual
Tm	Temperatura mínima media anual

Fuente: Datos reportados por la estación meteorológica: 802220 (SKBO) consultados en, http://www.tutiempo.net/clima/Bogota_Eldorado/2010/802220.htm, visitado 01/03/2017.

En la tabla anterior se aprecia que la temperatura media desde que se hicieron los últimos estudios para el humedal (2007), publicados luego en el Plan de Manejo Ambiental del humedal, ha aumentado un grado de temperatura en promedio, y en 3 años consecutivos ha aumentado 0.3 grados por año en promedio, lo que significa que si continúa aumentando en los próximos 2 o 3 años aumentara un grado más.

Lastimosamente respecto a la variable climatológica de datos de evaporación es bastante corta y apenas cubre el periodo 1972-1982. Por ende:

El régimen es bimodal, con máximo principal en el periodo enero-abril y máximo secundario entre julio y octubre, el mes de menor evaporación es abril, seguido por diciembre. Los

Arquitectura biocomputacional y evolución de ecosistemas habitables

valores mensuales oscilan entre 102 mm en el mes de enero y 79 mm en abril. Es posible que la evaporación sea un poco mayor en el área aledaña al humedal, como consecuencia de la mayor temperatura media del aire (Secretaría Distrital de Ambiente, 2010, p. 21).

2.2.2. Enunciado de la Problemática.

El Humedal Santa María del Lago, como ecosistema de la estructura ambiental principal de la ciudad, se ha visto afectado y se ha puesto en peligro debido al crecimiento urbano del contexto territorial, puesto que los modelos clásicos de planeación urbana promueven la aglomeración humana, el aislamiento y fragmentación de ecosistemas, al no tener presente diversas variables, como fenómenos complejos de interacción de especies no humanas, de simulación y de ecosistemas artificiales, o los impactos relevantes como el calentamiento global, el desarrollo de la tecnología propia de nuestro tiempo y la emergencia en el entorno urbano de sus ciudadanos.

El humedal al ser invadido desde 1955 por el crecimiento urbano en la zona, denominada posteriormente como UPZ Boyacá Real # 30 de la localidad de Engativá de Bogotá, se redujo su espejo de agua, y presenta un debilitamiento ecosistémico. Debido a diversos cambios económicos mercantilistas deviene en una centralidad urbana, que se desarrolla a través de las dinámicas sociales respecto al crecimiento exponencial poblacional y al desplazamiento urbano por la llegada de la modernización e industrialización, ligados a la economía del mercado y las demandas del hábitat de la población.

Es así como el devenir de las dinámicas socioeconómicas de producción y consumo demandaban un ritmo de invasión y destrucción constante de ecosistemas, dado que la oferta urbana y arquitectónica presenta una visión sesgada ante la complejidad de los hábitats tanto de las

estructuras ambientales como la habitabilidad humana, cayendo así el humedal en estrés ambiental, deterioro, y por un largo periodo de tiempo, en abandono. Esto obedece a los rellenos de escombros para secar el espejo de agua generados por la industria de la construcción, para luego promover asentamientos sobre este biotopo, siendo en un inicio la ocupación de urbanizaciones residenciales, en las que sus habitantes posteriormente demandaban su transformación cambiando el uso del suelo.

Tras la demanda de transformación urbana y de planeación, aumentaron los servicios tanto del sector terciario como de la infraestructura. Por estos requisitos comerciales, de movilidad vial y de vivienda, se crean nuevas estructuras sobre el humedal a lo largo de tres décadas, causando un fraccionamiento del humedal y un aislamiento ante otras estructuras ambientales con las que se relacionaba.

Más tarde en 1995 la Corte Constitucional determinó al humedal de Santa María del Lago como un bien de uso público de propiedad del Distrito Capital, la llegada del sistema de transporte masivo Transmilenio sobre la troncal Av. calle 80 y la llegada del centro comercial Titán aumento el flujo y tránsito de ciudadanos en la zona, aumentando la polución y la demanda de nuevas construcciones en las UPZs adyacentes, fenómeno de urbanización que se presenta cada vez con un ritmo mayor, no solo en las zonas aledañas al humedal sino en gran parte de la ciudad.

Respecto a las medidas de protección con el humedal dadas por los organismos administrativos y el POT, es solo un intento de subsanar estados abióticos heredados de su previa invasión, sin tener presente que volver la zona un área de consolidación y el aislamiento por medio de una reja no protege los ecosistemas de la contaminación urbana de sus contextos inmediatos, y mucho menos del calentamiento global. Los entornos urbanos al humedal no tienen relación con el ecosistema al

Arquitectura biocomputacional y evolución de ecosistemas habitables

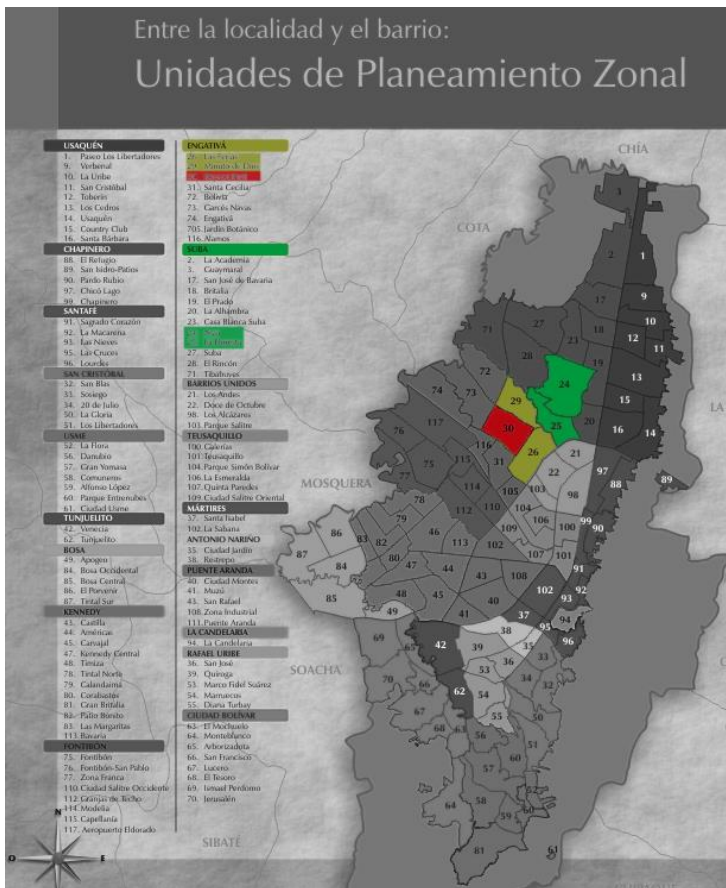
aislarlo a través de límites políticos catastrales, y también presentan un déficit al responder de forma eficiente al ritmo complejo de los cambios no solo ambientales sino a las formas de vida urbana, los que cada vez irán modificando sus demandas a invasiones que deberán soportar otros ecosistemas por el crecimiento poblacional y la expansión de la ciudad por la demanda socioeconómica actual.

2.2.3. Diagnóstico

2.2.3.1.1. UPZ # 30 Boyacá Real, Localidad de Engativá, contaminación del

Humedal Santa María del Lago (impactos) y debilitamiento urbano.

Figura 36. Zonas estudiadas



Fuente: creación propia, base cartográfica tomada de http://www.sdp.gov.co/portal/page/portal/PortalSDP/OrdenamientoTerritorial/upzenprocesoderevision/QueEs/mapa_upz.jpg (15/02/2017).

En el siguiente punto se expondrán algunos impactos ambientales asociados al urbanismo desmedido en la localidad y sus orígenes.

Respecto a la información consistente que se tiene sobre el impacto en el ecosistema y la vegetación terrestre del PED Humedal Santa María del Lago fue realizada en el año 2000 por U.T. Recuperaciones Ambientales (2001). Se tiene un inventario inicial respecto a los impactos.

En aquel momento, se identificaron algunos factores estresantes para el ecosistema, entre los cuales el estudio menciona:

El relleno sistemático con basuras, tierras y escombros, deterioro hidrológico de las cuencas tributarias, alteración hidráulica, vertimiento de aguas servidas domésticas, urbanización en áreas aledañas, destrucción de la vegetación nativa de la ronda, pastoreo en la ronda, introducción de fauna y flora extraña, perturbación de la fauna por ruido del tráfico automotor, destrucción de hábitats de fauna, depredación de fauna nativa por animales domésticos y otros asociados al hombre. A continuación, se profundizará en varios de estos impactos listados. (Secretaría Distrital de Ambiente, 2010, pp. 31-32).

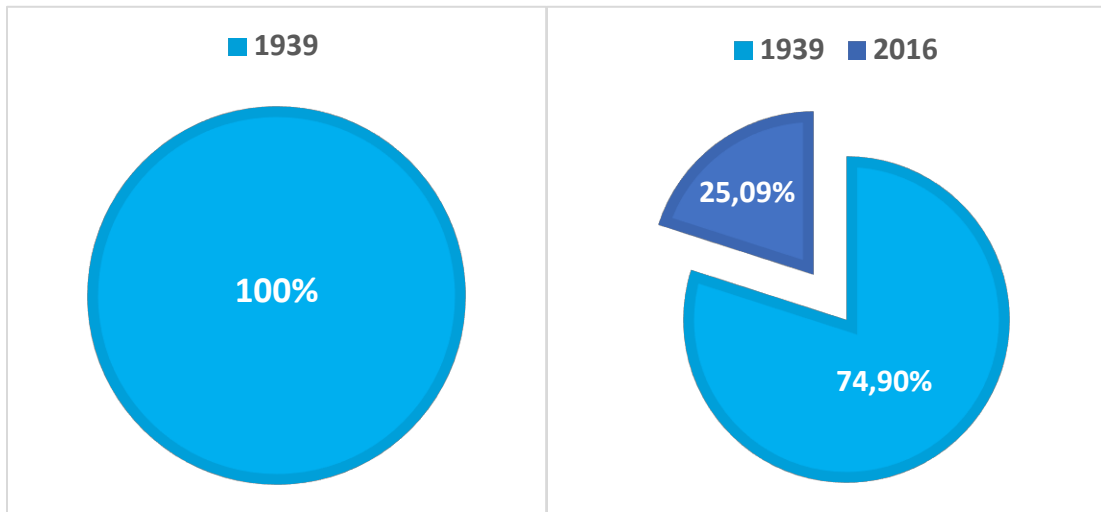
Teniendo presente el punto de la “Breve historia desde el siglo XX del Humedal Santa María del Lago” y los acontecimientos que fueron impactando el humedal, comenzando por la llegada de la urbanización a la zona causando la eutroficación del humedal, en un pequeño resumen se recuentan los impactos: construcciones viales como la calle 80, impacto por la construcción de la Escuela Distrital del Niño, el parqueadero de buses troleys y la urbanización acelerada de los alrededores, los rellenos acelerados con escombros y basuras, construcción del Conjunto Residencial SAGO, desaparición de flora y fauna, quemas, indigencia, lavado de caballos, campo de entrenamiento de

Arquitectura biocomputacional y evolución de ecosistemas habitables

perros de vigilancia privada, tala de árboles de la escuela distrital vecina (calle 80-carrera 76), cerca de ladrillo (1 m) y malla aldabonada (2m) y la construcción del conjunto residencial San Francisco.

Estos impactos, entre los que se comprenden 55 años de urbanización y aglomeración humana, hicieron que el humedal perdiera sus dos espejos de agua y 32.24 ha, lo que significa que redujo su área de un 100% en 1939 a un 25% en el 2010, perdiendo un 75% del humedal.

Figura 37. Pérdida en porcentajes del Humedal



Fuente: Creación Propia

Como se expuso anteriormente, el humedal hacía parte de la microcuenca del río Juan Amarillo, pero al verse separado “ahora está interconectado por drenajes subterráneos, con la parte superior del sistema Juan Amarillo (Schmidt - Mumm, 1998). Como aporte hídrico directo y permanente, el humedal recibe alrededor de 10 afluentes de entrada de aguas lluvias,” que durante de bastantes años algunas de estas estuvieron mezcladas con aguas negras a través de conexiones erradas, además de poseer una estructura de salida en concreto. (EAAB, 2005).” De la misma manera, a través de un estudio realizado por Hidroestudios S.A. en el 2000, se evidenció que una parte significativa del sistema de aguas lluvias vertían sus aguas al lago, conteniendo aguas servidas

provenientes de conexiones erradas, teniendo así el humedal un impacto de contaminación de aguas por mucho tiempo hasta que en el 2003 se corrigió el problema (Secretaría Distrital de Ambiente, 2010, p. 33).

Aunque fuese declarado Parque Ecológico Distrital de Humedal mediante el Decreto 619 de 2000 (POT Alcaldía Mayor de Bogotá D.C., 2000), haciendo parte del El Sistema de Áreas Protegidas (SAP)¹ y aunque de acuerdo con el Art. 79 Decreto 190 de 2004, el cual especifica que por medio del cual se compilan las disposiciones contenidas en los Decretos Distritales 619 de 2000 y 469 de 2003 (Plan de Ordenamiento Territorial del Distrito Capital), la Estructura Ecológica Principal del Distrito es la red de espacios y corredores que sostienen y conducen la biodiversidad y los procesos ecológicos esenciales a través del territorio, en sus diferentes formas e intensidades de ocupación, dotando al mismo de servicios ambientales para su desarrollo sostenible, cuya función es la conservación y recuperación de los recursos naturales, como la biodiversidad, el agua, el aire y, en general, del ambiente deseable para el hombre, la fauna y la flora (Art. 72 del Decreto 190 de 2004). De acuerdo con lo anterior, el humedal no ha tenido un desarrollo sostenible y la zona no ha tenido recuperación en biodiversidad, el agua y el aire.

Tras la consolidación de la vivienda en un principio de invasión sobre estructuras ambientales principales y sin tener en cuenta el Humedal Santa María del Lago, junto a la ocupación del sector terciario en la UPZ, y tras el proceso de transformación de usos alimentado por la dinámica económica, se desarrolló la UPZ mediante un sistema predio a predio en el que contando con una infraestructura clásica tanto en malla vial y de servicios públicos para vivienda densificada y en altura

¹ El Sistema de Áreas Protegidas (SAP): Conjunto de espacios con valores singulares para el patrimonio natural del Distrito Capital, la Región o la Nación, cuya conservación resulta imprescindible para el funcionamiento de los ecosistemas, la conservación de la biodiversidad y la evolución de la cultura en el Distrito Capital.

Arquitectura biocomputacional y evolución de ecosistemas habitables

se consolidó en casas de 1 a 3 pisos de altura, que como nuevos elementos se replicaron sobre el territorio bajo una lógica de agrupación, aunque “también hay sectores donde la construcción no es uniforme en altura, en tipología, ni en uso. La vivienda Unifamiliar es la predominante, así mismo existen tres Conjuntos de Vivienda Multifamiliar muy representativos como son: Recintos de San Francisco, conjunto Residencial Sago y Conjunto Residencial Santa María del Lago. A través del tiempo se han construido también edificios de tres (3), cuatro (4) y cinco (5) pisos. [...] La mayoría de habitantes son propietarios de sus viviendas, que se podría estimar en un 70% y el 30% restante vive en arriendo” (Secretaría Distrital de Ambiente, 2010, p. 116).

Respecto a la actividad económica del barrio, este:

cuenta con gran variedad de comercio, pues tiene desde comercio informal como mini-mercados, panaderías, floristerías, papelerías, fruterías, restaurantes, lavanderías, ferreterías, marqueterías, peluquerías, etc; hasta comercio tecnificado como supermercados de cadena, droguerías, servicio de telecomunicaciones, fábricas y almacenes de ropa, etc; también hay servicios de alto impacto como la estación de servicio, concesionarios de venta de automóviles, discotecas, talleres, lavaderos de carros, depósitos de materiales para construcción, etc. (Secretaría Distrital de Ambiente, 2010, pp. 116-117)

Teniendo en cuenta que después de las construcciones viales, al externalizarse las dinámicas comerciales y económicas sobre la zona junto al Humedal Santa María del Lago, y al localizar almacenes y bodegas justo al frente de este, se terminó de aislar el humedal de los habitantes de la ciudad sin cumplir lo propuesto en el POT decreto 190, resultado proporcionado bajo la lógica de la economía financiera, debido a que se superponen las dinámicas del consumo de la urbe sobre los ecosistemas. Estas lógicas de la economía fracasan como lo muestra Gunter Pauli, al basarse en el

crédito y la deuda (economía Roja) y la «economía verde», la cual trata de “preservar” el ambiente a costa de mayores inversiones de las empresas y que los consumidores paguen más, (Pauli, prefacio, xxix, 2010) no solo ante el mercado sino más impuestos al gobierno lo cual la vuelven inviable.

Además “los suelos del PED Humedal Santa María del Lago, no deberían presentar problemas de inestabilidad o asentamiento, por encontrarse fuera de la acción de la saturación del vaso de agua. Sin embargo, debido al relleno sistemático al que fueron sometidas las zonas de ronda, se ha incrementado la inestabilidad del suelo. La composición de los materiales descargados en el humedal presenta diversas características (basuras, tierras, escombros)” (Secretaría Distrital de Ambiente, 2010, p. 30). Así mismo en el 2007 se observaron en algunos sectores del humedal evidencias de estos materiales (Figura 38)

Figura 38. Escombros observados en algunos sectores del PED Humedal Santa María del Lago 2007.



Fuente: Plan de Manejo Ambiental del Parque Ecológico Distrital de Humedal Santa María del Lago, el cual hace parte de los Planes de Manejo Ambiental aprobados para los humedales de Bogotá, de la Secretaría Distrital de Ambiente. pp. 31 <http://ambientebogota.gov.co/planes-de-manejo-ambiental1>, visitado 27/02/2017.

Respecto a los factores físico-químicos, “de acuerdo a los resultados de estudios realizados entre los meses de mayo y septiembre del 2006 en el cuerpo de agua del humedal por parte de la

Arquitectura biocomputacional y evolución de ecosistemas habitables

Universidad Militar Nueva Granada, se puede inferir que se presentan condiciones de mesotrofia – eutrofia, además de aguas con contaminación moderada a alta” (Secretaría Distrital de Ambiente, 2010, p. 86). También se encontró con base en datos disponibles, generados por la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá, vertimientos de hidrocarburos sobre todo un elevado nivel de BTX.

En el factor para la evaluación ambiental se tomaron bioindicadores en relación al plancton y el humedal; la Universidad Jorge Tadeo Lozano desarrolló algunas caracterizaciones puntuales de las morfoespecies de fitoplancton los cuales se reportaron en muestreos, los cuales se muestran en la siguiente tabla y su significado como bioindicador. (Figura 39)

Figura 39. Tabla Y. Bioindicadores y morfoespecies de fitoplancton reportadas en el PED Humedal Santa María del Lago.

Clasificación	Bioindicación
Clase Chlorophyceae, Orden: Clorococcales. Género: Coelastrum	Aguas estancadas
División: Clorophyta, Clase: Conjugatophyceae, Orden: Desmediales, Género: Cosmarium	pH ácido, mesotrófia
División: Clorophyta, Clase: Conjugatophyceae, Orden: Desmediales, Género: Closterium	Meso a Eutrofia
Clase Chlorophyceae, Orden: Clorococcales. Género: Pediastrum	Eutrofia, aguas estancadas o de corriente lenta
Clase: Chrysophyceae, Orden: Chryomonadales, Género: Synura	Aguas ricas en Zinc
Clase: Bacillariophyceae, Orden: Pennales, Género: Stauroneis	
Clase: Bacillariophyceae, Orden: Pennales, Género: Navicula	Sedimentos y conductividad altos, mesotrofia
Clase: Bacillariophyceae, Orden: Centrales, Género: Rhizosolenia	Aguas someras estancadas o de corriente lenta, rica en sustancias nutricias
Clase: Euglenophyceae, Orden: Euglenales, Género: Phacus	Sedimentos y conductividad altos, materia orgánica
Clase: Euglenophyceae, Orden: Euglenales, Género: Trachelomonas	Eutrofia, sedimentos y conductividad altos
Clase: Cyanophyceae, Orden: Chroococcales, Género: Merismopedia	Eutrofia
Clase: Cyanophyceae, Orden: Nostococales, Género: Spirulina	Aguas residuales
Clase: Cyanophyceae, Orden: Nostococales, Género: Lingbya	Estratificación, sucesión avanzada, eutrofia
Clase: Cyanophyceae, Orden: Nostococales, Género: Oscillatoria	Estratificación, sucesión avanzada, eutrofia

Fuente: Plan de Manejo Ambiental del Parque Ecológico Distrital de Humedal Santa María del Lago, el cual hace parte de los Planes de Manejo Ambiental aprobados para los humedales de Bogotá, de la Secretaría Distrital de Ambiente. pp. 90 <http://ambientebogota.gov.co/planes-de-manejo-ambiental1>, visitado 27/02/2017.

En el 2008 se realizaron estudios sobre la influencia de algunas variables que no permiten que se desarrolle la vida sobre el fitoplancton del humedal con el propósito de establecer los grados de eutrofia y contaminación del cuerpo de agua. Se estableció que los cambios en la composición taxonómica y la concentración de azufre e hidrógeno, estaban influenciados por los cambios en la proporción de la relación Redfield (relación entre carbono, silicio, nitrógeno y fósforo en el fitoplancton), como consecuencia del cambio en el patrón de lluvias, por los cambios climáticos.

Arquitectura biocomputacional y evolución de ecosistemas habitables

(Secretaría Distrital de Ambiente, 2010, p. 91). Tras otro análisis cualitativo, en el 2008 el humedal podría ubicarse en la eutrofia, “debido a características encontradas como: olor vegetal fuerte, color pardusco del agua, sedimentos fangosos negruzcos con olor a ácidos sulfhídrico y la gran masa de macrófitas enraizadas y flotantes que cubren el 76% del espejo de agua)” (Secretaría Distrital de Ambiente, 2010, p. 91).

Se evidencia el cambio de predio a predio de las edificaciones, puesto que varias agrupaciones han terminado en conjuntos residenciales cerrados localizando todas las áreas de parqueo abiertos y de gran producción de CO₂ por la cantidad de habitantes, hacía el humedal, y tras poner un muro divisorio, entre la zona de parqueo y el humedal evidencia la ausencia de relación que se tiene entre la vivienda y el ecosistema.

También “debido a que el humedal se encuentra sobre un tramo de la Carrera 76 que se encuentra deteriorado por el flujo vehicular constante, se genera afectación por ruido, material particulado y emisión de gases, lo cual contribuye a la fuga de la fauna más sensible.” (Secretaría Distrital de Ambiente, 2010, p. 167).

En este sector es fundamental tener en cuenta la calidad del aire, puesto que al ser un área de consolidación urbana atravesada por grandes vías automovilísticas, se suele superar el límite máximo permisible de PM₁₀ (Material Particulado menor o igual a 10 micras) que para el año 2011 fue de 50 µg/m³ en la ciudad de Bogotá, y se dejó un parágrafo transitorio en la Resolución 610 de 2010, en el que se estableció que hasta el 31 de diciembre de 2010 el nivel máximo permisible fuera de 60 µg/m³ y se confirmó como nivel máximo permisible 50 µg/m³.

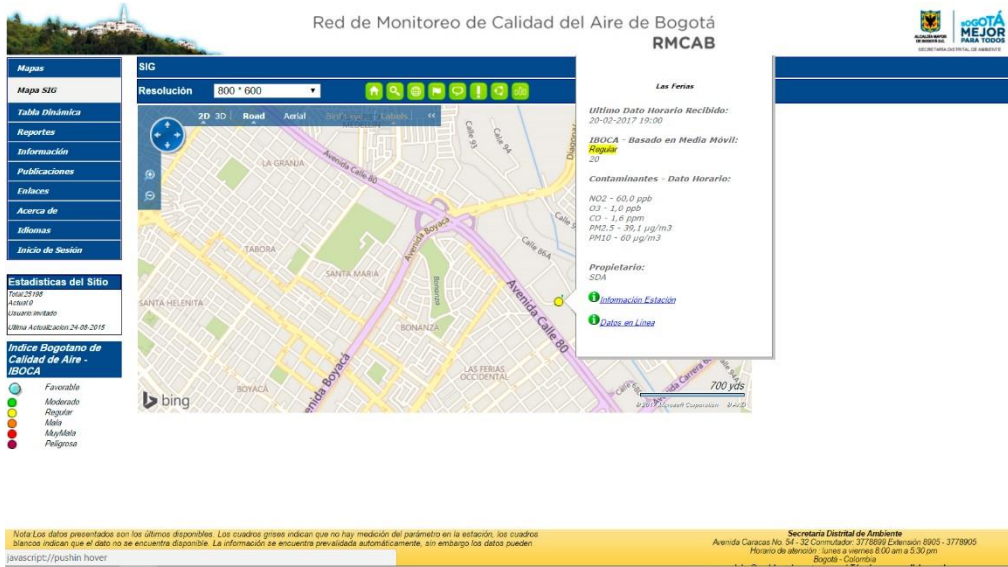
En 2010 la localidad de Engativá estuvo por encima del máximo permisible entre los 40 y 70 µg/m³ pero en el 2011 bajo a estar entre los 40 y 60 µg/m³ (Secretaría de Planeación, 2011, p. 50), en el

2016 también estuvo por debajo del límite, entre 38 y 46 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (OAB, 2017), Pero según el Informe anual de calidad del aire de Bogotá 2016 sobre el 2015, muestra que la concentración anual de PM10 durante los años 2014 y 2015 presentó en todas las estaciones reducciones apreciables, a excepción de la estación las Ferias, bajo los datos de esta estación que hace parte de la red de monitoreo de calidad de aire de Bogotá RMCAB de la Secretaría Distrital de Ambiente, en la Avenida Calle 80 # 69Q-50, en Las Ferias, ubicada a 1km del Humedal Santa María del Lago y a 1.5km de distancia del humedal Córdoba, muestra a la fecha (20/02/2017), un PM10 de 60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ², junto con un NO₂ (dióxido de nitrógeno) de 60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, estando por encima de los límites en un 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y respecto al CO (monóxido de carbono), proveniente de los combustibles fósiles, el cual si se llegase a respirar, así sea en módicas cantidades, puede producir la muerte por envenenamiento en pocos minutos al sustituir el oxígeno en la hemoglobina de la sangre, (Teitelbaum, 2012, pp. 1003-1004) de la cual se encontró en el área de estudio por debajo de los índices con un 1,6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, al igual que el índice del PM2.5 con un 39,1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, dando bajo el Índice Bogotano de Calidad de Aire, IBOCA, una calidad de aire regular (Amarillo: el cual indica que “Las personas de los grupos vulnerables pueden presentar enfermedades respiratorias o cardiovasculares o complicación de las mismas”)(OAB,2017). Esto se muestra en la captura de pantalla en la siguiente imagen. (Figura 40)

² Datos de la Estación de la red de monitoreo de calidad de aire de Bogotá RMCAB de la Secretaría Distrital de Ambiente, ubicada en la Avenida Calle 80 # 69Q-50, Las Ferias, <http://201.245.192.252:81/>, consultado 20/02/2017.

Arquitectura biocomputacional y evolución de ecosistemas habitables

Figura 40. Datos de la Estación de la red de monitoreo de calidad de aire de Bogotá RMCAB

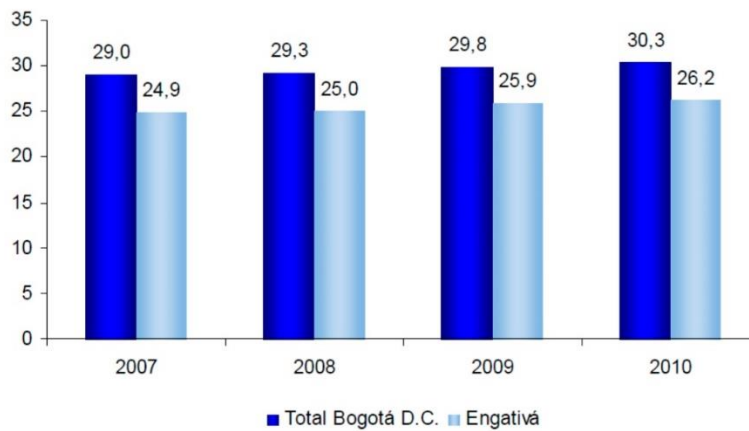


Fuente: <http://201.245.192.252:81/>, consultado 20/02/2017.

También es fundamental tener una aproximación al sistema arbóreo del lugar puesto que de estos también depende la calidad de aire.

Figura 41. Sistema arbóreo

Bogotá D.C. Número de árboles por hectárea en el área urbana 2007 –2010



Fuente: 21 Monografías de las localidades de Bogotá D.C., Localidad #10 Engativá, Distrito Capital de Bogotá D.C., Pag. 39. 2011.

“En Bogotá, el número de árboles por hectárea dentro del perímetro urbano, tiene una tendencia creciente entre 2007 y 2010, como se observa en la gráfica anterior donde se presentan datos anuales. Así mismo, para el primer semestre de 2011 se tiene una densidad de 30,5 árboles por hectárea. En la localidad de Engativá se mantiene esta tendencia, no obstante, para 2010 se tiene una diferencia de 4,1 puntos porcentuales por debajo, con respecto a la densidad arbórea del total Bogotá” (Secretaría de Planeación, 2011, p. 39). Estando Engativá en el puesto número 10 ante otras localidades, esta escases se debe a la ausencia de oferta de “espacios disponibles para la siembra de nuevos árboles que tiende a reducirse a rondas hídricas, humedales y nuevas zonas de espacio público, de uso público entregadas principalmente por constructoras, lo que hace que proyectos de gran magnitud, en donde se plantan cientos de árboles sean cada vez más escasos y se presente el escenario contrario en donde, en barrios enteros, sólo se puedan plantar algunos árboles incrementando el costo de estas actividades. Esta última situación, en muchos casos se debe a la apropiación del espacio público por particulares que lo explotan ilegalmente cambiando el uso del suelo” (Secretaría de Planeación, 2011, p. 40).

Las zonas que afectan el humedal, no solo afectan la calidad del aire sino también, el sistema de vertientes de aguas negras perjudica gravemente al humedal Córdoba conectado al Humedal Santa María del Lago contaminándolo, debido a la irresponsable infraestructura de la UPZ de Niza la cual no solo se posicionó en una zona que por ser de humedal tiene un nivel de remoción media (ver (Figura 43) sino que tiene sus vertientes hacia el humedal.

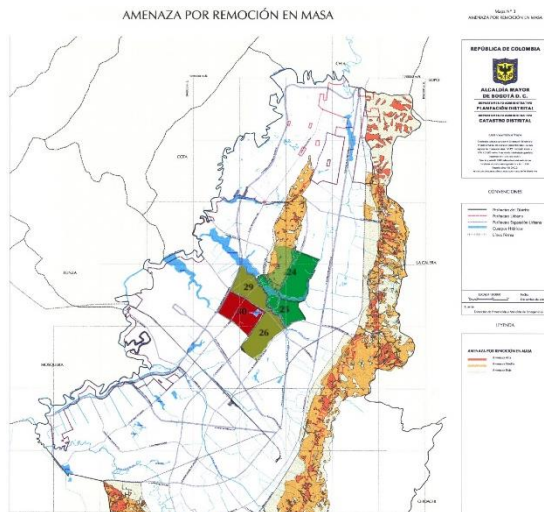
Esto se expone debidamente en el diagnóstico de los aspectos físicos, demográficos y socioeconómicos del Distrito Capital de Bogotá D.C., del texto “*Conociendo la localidad de Engativá*” que dice: “A pesar de ser zonas de alto riesgo por inundaciones y deslizamientos, se han desarrollado

Arquitectura biocomputacional y evolución de ecosistemas habitables

asentamientos subnormales que han generado contaminación por vertimiento de aguas negras y basuras en estos elementos ecológicos” (Secretaría de Planeación, 2009, p. 14).

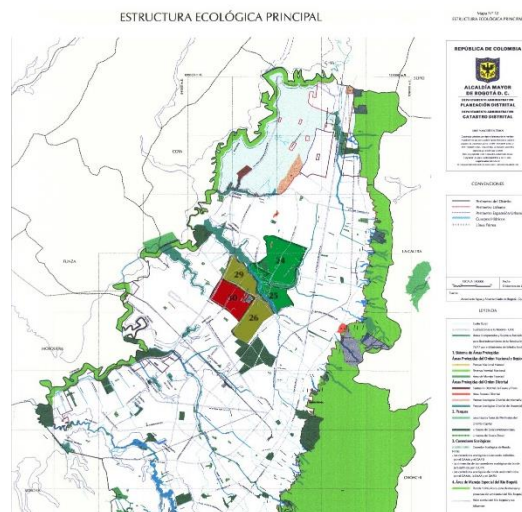
También al humedal lo afecta el calentamiento global y producción de gases contaminantes que los seca, estresa a las especies que lo habitan y las enferman; el humedal Córdoba al estar ubicado a lo largo de las UPZs de Niza, La floresta, de la localidad de Suba, y de la UPZ del Minuto de Dios de la Localidad de Engativá, está ligado su ecosistema al de Santa María del Lago, estas UPZ junto con las Ferias, afectan estos humedales aunque estén protegidos de los humanos (Figura 42) por una política distrital, como en el POT (el cual lleva vencido desde el 2012) y por los anteriores planes de organización y administración urbana como el acuerdo 6 y 7 que no contemplan la contaminación ni los aumentos de temperatura del efecto invernadero, producidas por las estructuras clásicas arquitectónicas generadas con materiales y metodologías anticuadas, a pesar de que este fenómeno de calentamiento inició en 1981, en Bogotá, Colombia no se integró al POT publicado en el 2000, y hoy se evidencia cómo este fenómeno no solo afectó a la ciudad sino al mundo entero perdiendo diversas especies endémicas. (ver Figura 44)

Figura 43. Nivel de remoción media y vertientes al humedal



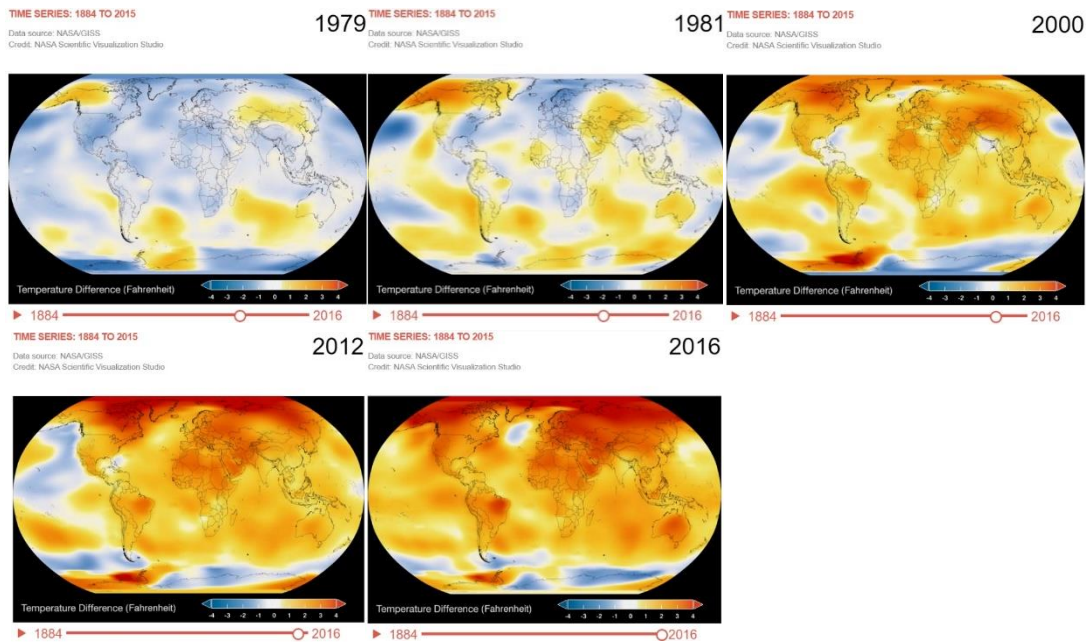
Fuente: Creación propia, Base: Plano de Remoción en masa. POT Bogotá, POT BOGOTA.

Figura 42. Áreas de protección



Fuente: Creación propia, Base: Estructura Ecológica Principal. POT Bogotá, POT BOGOTA.

Figura 44. Imágenes Satelitales, Calentamiento Global NASA



Fuente: NASA: <http://climate.nasa.gov/vital-signs/global-temperature/> (16/02/2017).

La temperatura superficial de Engativá puede referirse a los datos registrados por la Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá, de la Estación Las Ferias, la cual muestra que, durante 15 años, desde el año 2000 hasta el 2015, su promedio ha sido de 14,6 grados centígrados, pero desde el 2008 al 2015 ha venido aumentando a 1,1 grado centígrados de lo que estaba. (Secretaría Distrital de Ambiente, 2016, p. 160).

Gran parte de las causas de las zonas que afectan al humedal se deben al desarrollo de clústers de comercio en el barrio y en el sector, puesto que tiene servicios de salud e institucionales como IPS y EPS, notarías, corporaciones bancarias, sumado a que sobre la calle 80 existe un gran desarrollo comercial como el centro comercial Titán, puesto que después de su apertura, ha venido activando económicamente el sector junto con la generación de empleo. Pero dicho Clúster ha afectado a la UPZ la Floresta por la falta de adecuación de la malla vial y a los humedales por el crecimiento de construcciones, iguales a las estructuras urbanas heredadas sobre las cuales se está desarrollando

Arquitectura biocomputacional y evolución de ecosistemas habitables

esta zona de impacto ambiental, es así como desde el 2012 (apertura del Titán) hasta el 2015 la temperatura ha aumentado en la zona, alcanzando una temperatura máxima de 19.2 grados centígrados (Secretaría Distrital de Ambiente, 2016, p. 160). estas falencias están obstaculizando, tanto las dinámicas de las zonas como la transformación del sector hacia un paisaje coherente con el contexto y elementos ambientales que tiene al lado.

La falta de desarrollo urbano coherente y arquitectónico con los ecosistemas ha provocado un estancamiento del sector por parte del POT, al nombrar la UPZ de Boyacá Real, zona de consolidación, acelerando el desarrollo y crecimiento en el costado norte de la calle 80 y olvidando el sector donde se ubica el humedal, que en un principio, en el plan urbanístico se planteaba integrarlo a la ciudad, lo cual claramente no se logró como quedó demostrado en el expediente urbano, aumentando la inversión en la zona por la demanda de vivir cerca al centro comercial.

Al estar olvidado el lado sur de la calle 80 y por nuevas demandas y requerimientos de estas zonas de consolidación ha generado una obsolescencia de estructuras heredadas, y por su ausencia de integración el humedal se ve deteriorado, afectando directamente el sector y la ciudad.

En los casos de comercio de vivienda, más las grandes empresas constructoras, quieren ocupar el sector norte de la calle 80 hacia el humedal Córdoba, lo que lleva a una constante demolición de estructuras heredadas (estos escombros van a botaderos que contaminan el ambiente), para así construir edificios en altura, lo cual contribuye al desgaste energético adicional a la obra nueva que contamina también el sector.

En gran medida esto es causa de que en la ciudad de Bogotá desde 1920 que se comenzó a proponer planes de ordenamiento urbano o territoriales junto con la prestación de servicios urbanos, con el *plano Bogotá futuro* el cual no solo endeudó a la ciudad ante el mundo por ser un proyecto

demorado y costoso, sino también por estar ligado a políticas administrativas gubernamentales, ejecutadas parcialmente dado que la ciudad creció y cambio más rápido de lo planeado, de ahí que por este plan Bogotá trae a Karl Bruner para dirigir la oficina de urbanismo en 1933, luego se expide el Plan Director 1947-1951 de Le Corbusier el cual tampoco se ejecuta, después los Acuerdos 6 y 7 los cuales tuvieron un desfase monumental ante lo propuesto y lo ejecutado, para luego darle paso al POT en el año 2000, vigente hasta el día de hoy, con la falencia de su vencimiento desde el 2012; todos estos planes han visto a la ciudad como un simple objeto de estudio y de una forma plana y vertical, la cual debe ser delimitada por vías y manzanas catastrales, para luego ser subdivididas en predios públicos y privados, con dinámicas dadas bajo el pensamiento funcionalista de la industria moderna, ligado a un tiempo de producción, pero desligado del tiempo de cambio, de los ecosistemas sobre los cuales se implanta y con una posición antropocéntrica, puesto que, aunque la diversidad social es una tendencia de la complejidad, lamentablemente hoy día “muchas veces se ve reducida o determinada por patrones dominantes o hegemónicos. Entre ellos, se puede destacar la repetición de modelos estandarizados en la arquitectura de conjuntos habitacionales, institucionales e industriales y modelos productivos insostenibles auspiciados por intereses políticos y económicos” (Hernández, Niño, Hernández, p. 34, 2013).

Por lo que muchos de los procesos de transformación urbana en general y tecnológica tanto en software (Inteligencia Artificial, Realidad Virtual, Realidad Aumentada) y Hardware (que esta tecnología tiende a la reducción de tamaño y materialidad), se han venido consolidando a partir del cambio de usos y demandas tanto sociales habitacionales, como por las dinámicas presentes de actividades del sector terciario que ha desplazado los usos originales, aunque varias de estas consolidaciones se hayan hecho de forma emergente, el cambio se enfocó sobre todo en una economía antropocéntrica, lo que conlleva a una expansión sin la reforma previa de las estructuras

Arquitectura biocomputacional y evolución de ecosistemas habitables

urbanas preexistentes para que pudieran soportar con adecuación el incremento de dinámicas y demandas en un constante cambio, en esta época de una crisis ecológica, por lo que se evidencia que se produjeron sin tener en cuenta afectaciones ambientales produciendo un calentamiento a escala global y la constante amenaza a la biodiversidad. La continua necesidad de actualización y sobrevivencia de la especie humana implica que no se puede continuar planeando y diseñando en ámbitos funcionales y formales a la ciudad con base al modelo económico actual, puesto que los tiempos en los que se desarrollan los planes maestros son tan extensos y costosos, que solo hacen que en el instante en el que se terminan dichos planes, o se vencen como en el caso de Bogotá, hay una nueva demanda de uno mucho más extenso y con más complicaciones por el flujo constante de información y la diversificación y masificación tecnológica.

Esto causó un desfase entre las estructuras urbanas heredadas y las demandas sociales y tecnológicas junto con las necesidades ecológicas, las cuales avanzan a mayor velocidad que las estructuras clásicas. Fenómeno que se ha venido consolidando con una capacidad de soporte limitado para la sociedad y el ambiente, estos cambios no han podido responder a dichas demandas y necesidades, evidencian el desborde de la capacidad de las estructuras urbanas clásicas. Este desfase produce diferentes impactos: la obsolescencia y el abandono de estructuras, la invasión de zonas de protección ambiental como son los humedales (grandes productores de agua potable y reductores de temperatura) ligada al desplazamiento de la población del casco urbano hacia las periferias afectando nuevamente reservas ecológicas, y por una planeación administrativa socio-económica por una búsqueda de ingresos y costos de vivienda asequibles.

Otra circunstancia ligada a la visión clásica tanto de los modelos clásicos de planeación y de los habitantes, es que, si bien se muestra una utilización del PED Humedal Santa María del Lago y aprecio por el mismo bajo una encuesta realizada en el 2009 por la Secretaría Distrital de Ambiente,

concebida para evidenciar cual era el conocimiento de la comunidad respecto al Humedal y qué importancia se le daba, esta “arrojó diferencias (aunque no representativas) en el reconocimiento del lugar: para los vecinos del Parque Ecológico Distrital de Humedal Santa María del Lago es —humedal, mientras que para los visitantes frecuentes el lugar es —un parque ecológico.” (Secretaría Distrital de Ambiente, 2010, p. 145). Y También se concluyó bajo esta encuesta que “En línea con los anteriores hallazgos se encuentra el nivel de acuerdo que generó la frase: —"Es un sitio en el que puedo encontrarme con mis amigos" el 80% de los entrevistados en los hogares y el 88% de los visitantes frecuentes entrevistados están totalmente de acuerdo con esta frase, lo que quiere decir que para los habitantes y visitantes el Parque ecológico distrital de Humedal Santa María del Lago representa un lugar cercano, que construye y ayuda a fortalecer relaciones.” (Secretaría Distrital de Ambiente, 2010, p. 145). Puesto que también “las actividades preferidas por los entrevistados son, entre otras, caminar y observar las aves, siendo este último un gran atractivo del parque.” (Secretaría Distrital de Ambiente, 2010, p. 145). “Entre los visitantes y habitantes del área de influencia del humedal, se desconocen las funciones, valores, bienes y servicios que presta este ecosistema, así como su importancia dentro de la Estructura Ecológica del Distrito. A nivel colectivo se tiene la idea de que este es un parque recreativo.” (Secretaría Distrital de Ambiente, 2010, p. 145). Lo que demuestra también esta encuesta es que se tiene una idea colectiva antropocéntrica, en la mayoría de la comunidad, en el sentido en el que solo ven a este humedal o parque, como un lugar cuyo objetivo principal es el de beneficiar a la especie humana, como un punto de encuentro y de recreación, sin ver más allá el ecosistema a ser investigado, cuyos múltiples componentes en la temporalidad, generan múltiples interacciones que a simple vista no se ven como las redes tróficas, la biomasa, los sumideros, el plancton y las bacterias etc., no significa que este ecosistema solo nos beneficia como área de esparcimiento, sino también que sus singularidades en todos sus elementos

Arquitectura biocomputacional y evolución de ecosistemas habitables

promueve la reducción de peligros ambientales, producción de agua (vista no como un recurso sino como un elemento que propicia la vida), y en general la vida en el planeta, y que estas interacciones están ligadas a fenómenos de la complejidad, a fenómenos mucho más eficientes y coherentes con la biosfera y la producción de hábitats en constante evolución.

En relación con lo anterior el humedal se ha zonificado en la mayoría de su área en zonas determinadas bajo esta idea antropocéntrica, y a consecuencia por el uso que le dan sus visitantes, estas zonas se utilizan “para realizar actividades físicas como la caminata, al igual que el auditorio y las plazoletas que son utilizadas como sitio de reunión, actividades de educación ambiental y para hacer gimnasia entre otras actividades”. (Secretaría Distrital de Ambiente, 2010, p. 146). Se puede decir que, aunque estas actividades benefician de gran manera a nuestra especie, la única actividad que concientiza y muestra el humedal como algo más, son las actividades de educación ambiental.

En la siguiente figura se muestra la zonificación en general:

Figura 45. Zonas del PEDH Santa María del Lago dadas por el uso de los visitantes.



Fuente: Plan de Manejo Ambiental del Parque Ecológico Distrital de Humedal Santa María del Lago, el cual hace parte de los Planes de Manejo Ambiental aprobados para los humedales de Bogotá, de la Secretaría Distrital de Ambiente. pp. 146 <http://ambientebogota.gov.co/planes-de-manejo-ambiental1>, visitado 27/02/2017.

“Zona 1: sin acceso al público y dedicada a la preservación, zona 2: que presenta dos usos principales dedicados a las caminatas y observación de aves, zona 3: dedicada a la realización de caminatas, zona 4: con un comportamiento similar a la zona 2 siendo preferida por las personas que visitan el parque para observar aves y caminar.” (Secretaría Distrital de Ambiente, 2010, p. 147).

En la misma encuesta también se les preguntó a los visitantes por tres actividades que ejercían en las zonas del humedal: recreación pasiva, educación ambiental e investigación, en general la respuesta fue recreación pasiva en la zona 3 y 4 y se identificaron las mismas zonas para ejercer la educación ambiental, “el sitio de investigación es el que genera más confusión, ya que los entrevistados no tienen una zona definida para la misma. Esto podría mostrar un desconocimiento frente a la actividad, razón por lo cual ni los visitantes, ni los vecinos tienen claro cuál es la mejor zona para realizar esta actividad.” (Secretaría Distrital de Ambiente, 2010, p. 147).

Esto también se refleja en la concepción y acción que se ha tomado en los gobiernos y en los desarrollos de los planes respecto a los índices de determinantes ambientales de diseño y construcción para las edificaciones del humedal, sugeridos para el Plan de Manejo Ambiental Humedal Santa María del Lago, de la Secretaría Distrital de Ambiente, “Se sugiere incorporar acciones eco eficientes tanto en el urbanismo como en la arquitectura del proyecto, entendiéndose por éstas aquellas tendientes a la eficiencia energética del proyecto; a la eficiencia ambiental de los productos utilizados en el proyecto, en términos de su ciclo de vida; a la reducción de los consumos de recursos naturales, su reutilización y reciclaje; a la reducción en la producción de residuos sólidos y vertimientos contaminados, su reutilización y reciclaje; a la conservación de hábitats silvestres, reutilización del agua lluvia y a la promoción en los futuros usuarios de comportamientos urbanos-ambientales adecuados entre otras, así como promover superficies con coberturas vivas.” (Secretaría Distrital de Ambiente, 2010, p. 148). E “Implementar técnicas de arquitectura

Arquitectura biocomputacional y evolución de ecosistemas habitables

bioclimática que a través del diseño arquitectónico y el uso de tecnologías apropiadas haga un uso eficiente de la luz natural, regulación térmica e insonorización, etc.” (Secretaría Distrital de Ambiente, 2010, p. 149). (El cual solo se implementó en el auditorio), junto con “Contemplar la posibilidad así sea de manera demostrativa o para cubrir la totalidad de la demanda de energía del aula, el hacer uso de energías alternativas tales como celdas fotoeléctricas, calentadores solares, aerogeneradores, etc. (aún no se ha implementado nada)” (Secretaría Distrital de Ambiente, 2010, p. 149), un “uso eficiente del recurso hídrico, utilizando dispositivos tecnológicos para el ahorro de agua, reciclando las aguas lluvias, etc. (aún no se han implementado)” (Secretaría Distrital de Ambiente, 2010, p. 149). y “techos verdes: por lo menos el 60% de las cubiertas de las aulas deben tener techos verdes. (aún no implementado)” (Secretaría Distrital de Ambiente, 2010, p. 150). Estas sugerencias ecológicas para hacerse dentro del humedal no se propusieron o se han propuesto también para su contexto inmediato el cual tiene un gran impacto sobre sus especies, el agua, y la biomasa, por lo que se demuestra que el humedal esta visto como un espacio recreativo sin tiempo, sin múltiples factores e interacciones humanas y no humanas dentro y fuera del humedal que lo modifican y generan cambios en el, como si fuera un ecosistema aislado de lo que acontece en la ciudad, al encerrarlo para su “cuidado” ha generado que sea un oasis olvidado por el resto de la ciudad que no son la comunidad próxima, y que lo ha puesto en peligro ya no solo de la inconciencia de los habitantes directamente, sino ante la inconciencia ambiental de la ciudad, causante los cambios climáticos, los cuales sobrepasan cualquier barrera divisoria humana (una reja), se pensó en cómo los objetos e individuos del exterior no afectaran al humedal, más no en cómo el humedal podía influir en su exterior, al encerrarlo y al no permitir que su agua, su flora y su fauna impregnaran sus alrededores y no que recuperara lo perdido, sino que construyeran y agenciaran un nuevo ecosistema.

Al comparar los ecosistemas y los modelos tradicionales de planeación urbana se evidencia que los segundos, al no introducir ni reconocer las nociones del calentamiento global, los ecosistemas existentes para mitigarlo, las especies no humanas y el hábitat como un problema no determinista polinomial completo (**NPC**) vinculado a la biodiversidad, junto con la ausencia de exploración de manera profunda y central a los conceptos asociados con la simulación de la emergencia en el entorno urbano, ha repercutido de manera inviable en el desarrollo de la ciudad, puesto que ha causado un consolidado proceso de sobresaturación por un desfase entre las estructuras urbanas heredadas, las demandas sociales y tecnológicas de habitabilidad junto con las necesidades ecológicas, las cuales avanzan a mayor velocidad que las estructuras clásicas. Esto obstruye de dicha manera la articulación entre todos los sistemas emergentes que la componen, y la ausencia de algoritmos prospectivos, Este desfase sobre todo produce diferentes impactos: El desarrollo predio a predio, mientras se intentaba consolidar alguno de los múltiples planes de ordenamiento territorial, lo que ha impedido un desarrollo integral y competente, la obsolescencia y el abandono de estructuras, la invasión de zonas en protección ambiental ligada al desplazamiento de la población del casco urbano hacia las periferias, impactando las áreas de elementos naturales, por una busca de ingresos y costos de vivienda asequibles.

De esto se desprende la necesidad de replantear la pregunta central al respecto de la manera de diseñar ciudades, desde un punto de vista clásico hacia nuevos modelos más pertinentes y conscientes de las posibilidades bio-tecnológicas que poseemos y son propias de nuestro tiempo.

Por lo anterior es necesario cuestionar el contexto actual ¿Que sucede si continuamos partiendo de las bases de un modelo obsoleto para las ciudades y sus ecosistemas ambientales, y porque no utilizar las alternativas que existen para reenfocar el modelo actual, tradicional y profundamente

Arquitectura biocomputacional y evolución de ecosistemas habitables

estático de planeación urbana hacia uno emergente y dinámico para la generación de nuevos ecosistemas biodiversos habitables en el contexto socio-espacial de Bogotá?

Se requiere que esta situación problema sea abordada desde la arquitectura biocomputacional, puesto que en la situación entran múltiples variables que cambian a gran velocidad, en un tiempo menor al tiempo requerido para hallarle soluciones determinadas, puesto que hay factores de sistemas vivos. Esto, para que el humedal y la ciudad sean potencializados como ecosistema habitable biodiverso y pueda atender de forma integral estas nuevas demandas incrementales, y ambientales que exige este siglo XXI.

2.2.3.2. Problema P, NP y NPC

El ecosistema Parque Humedal Santa María del Lago, junto con la ciudad de Bogotá, se inscriben en los problemas **NP** y **NPC**, los cuales son NO determinísticos polinomiales y NO determinísticos polinomiales completos, lo que significa que no hay soluciones determinadas en el tiempo para estos problemas.

Por lo que para esta investigación y para comprender los alcances y posibilidades de la propuesta, se aborda el problema a través de dos caminos de acceso, y de clasificación, de los problemas de investigación. (Maldonado, p.111, 2005).

De un lado, los problemas científicos y teóricos se definen en función de la complejidad combinatoria. De este modo, el álgebra, en su sentido al mismo tiempo lógico, matemático y filosófico se constituye en el marco general de clasificación y estudio de los problemas. De este modo, el álgebra, en su sentido al mismo tiempo lógico, matemático y filosófico se

constituye en el marco general de clasificación y estudio de los problemas. Ahora bien, la incorporación del álgebra a la lógica tiene que ver con el desarrollo o la transformación de la lógica como lógica matemática (Maldonado, p.111, 2005).

Se comprende esta lógica a través de métodos de combinatoria, las cuales se fundamentan en la aglomeración de problemas de tipo probabilístico. Por lo que las soluciones a los problemas de clase combinatorio son los algoritmos (una serie de pasos para llegar a un resultado).

Con base en lo anterior, se destacan los problemas combinatorios de optimización, los cuales se separan en dos clases: los que se pueden resolver en un *tiempo polinómico*³, otorgando la solución óptima, los cuales se denominan como “fáciles” porque son resolubles de forma eficiente y son designados como **P**; y se encuentran los Problemas **NP**, a los cuales se les puede hallar solución en un tiempo polinómico no determinista, a los que se les desconoce el algoritmo polinomial de resultados óptima, estos se denominan como problemas difíciles.

En el conjunto de problemas **NP** hay unos especialmente más difíciles, los cuales se denominan como NO determinísticos Polinomiales Completos o **NPC**, puesto que no hay solución definitiva, debido a que el problema va evolucionando paralelo a la plausibilidad de la solución.

Los problemas **NP** y **NPC** conllevan a cuestionamientos como: ¿cómo la ciudad evoluciona, y entiende las emergencias de nuevos problemas que cambian los acontecimientos sociales y de habitabilidad?

³ Se comprende el tiempo polinómico como el tiempo de ejecución de un algoritmo, el cual es menor que el valor calculado a partir la suma finita de productos entre las variables (valores no determinados o desconocidos) y constantes implicadas.

Arquitectura biocomputacional y evolución de ecosistemas habitables

Debido a que diversas variables del humedal y la ciudad mutan o evolucionan, como el clima, y los diversos factores ambientales, la contaminación auditiva, la demanda de hábitat de las diversas especies, la búsqueda de sustento y de movilidad, la aglomeración y la búsqueda de expansión, etc. Se comprende que estos devienen en problemas **NP** y **NPC**, los cual no pueden ser determinados, ni resueltos desde una sola solución, puesto que quienes las conforman y habitan son sistemas de vida.

3. Objetivos.

Alcance y objetivos

Los alcances preliminares entendidos como objetivos del proyecto. Estos serán los indicadores cuantitativos y cualitativos del desarrollo de la propuesta. Durante el desarrollo del presente proyecto de investigación teórica-experimental, se plantea un objetivo general (finalidad última del trabajo de grado) y una serie de objetivos específicos puntuales cuyo cumplimiento dará como resultado alcanzar progresivamente la meta propuesta. En este sentido, el objetivo general tiene un carácter predominantemente cualitativo, mientras que los objetivos específicos tienden a ser fundamentalmente cuantitativos.

El alcance de este proyecto es pues el análisis, simulación y modelación de un entorno habitable en Bogotá al afrontar el desfase entre las estructuras clásicas y las dinámicas sociales y ambientales a través de una investigación experimental integral a partir de metodologías heurísticas y holísticas, de forma prospectiva que contribuyan al desarrollo de patrones innovadores para la conformación de un microcosmos de carácter emergente, además de energética, social, ambiental y

económicamente sostenible en función de un sistema comunitario/cooperativo y que potencien los sectores.

De esta forma se espera desarrollar un sistema complejo el cual esté ligado a las dinámicas sociales y a la infraestructura urbana contando con las estructuras arquitectónicas, para la zona que permia articular los diferentes clústeres de hábitat en sistemas co-evolutivos y co-construidos humano y no humano, a través de programas y softwares Bigdata, para así entrecruzar las múltiples variables que componen el fenómeno urbano y dar una respuesta prospectiva hacia un ecosistema realmente integral a la ciudad bajo análisis complejos, para luego sí poder ir modificando los sistemas que componen el sector de manera que supere su condición de estructura heredada y pueda dar paso a ecosistemas biodiversos habitables.

3.1. Objetivo general

- Simular sistemas de vida artificial adaptativa que permitan la interacción de múltiples variables mediante la creación de entornos habitables para diversas especies, a través de ecosistemas artificiales compuestos por agentes autónomos, basados en algoritmos genéticos y en la economía azul, los cuales puedan ser aplicados a futuro en el humedal y responder a cambios establecidos con relación al intercambio energético.

3.2. Objetivos específicos

- Diseñar paisajes fitness y algoritmos genéticos para reconocer el entorno urbano y optimizar las estructuras habitables.
- Diseñar estrategias evolutivas en simulaciones biocomputacionales para su aplicación en los escenarios virtuales y establecer variaciones en los procesos referentes a la gestión de la energía.

Arquitectura biocomputacional y evolución de ecosistemas habitables

- Plantear un ecosistema biocomputacional de vida artificial basado en la inteligencia de enjambre que contemple los procesos de múltiples variables e interacciones de la ciudad.

4. Marco Teórico

En este apartado se abordan los conceptos respecto a la vida bajo la bio-computación, los sistemas dinámicos, los ecosistemas y la habitabilidad en las ciudades, ya que se comprenden como sistemas complejos adaptativos, los cuales, al hacer parte del conjunto de problemas **NP** y **NPC**, merecen ser abordados con herramientas que se centran en los fenómenos de la vida, las estrategias de la evolución, y una economía basada en dichas estrategias. Por lo tanto, se busca investigar las posibilidades post-humanas e inmanentes de una evolución de paradigmas socioculturales, tecnológicos y de la vida del carbono, a través de la innovación y la autoorganización de ecosistemas, su simulación a través de algoritmos bioinformáticos.

4.1. Humedales, Ecosistemas y Biodiversidad

Los humedales son comprendidos por la Convención de Ramsar⁴ como “todos los lagos y ríos, acuíferos subterráneos, pantanos y marismas, pastizales húmedos, turberas, oasis, estuarios, deltas y bajos de marea, manglares y otras zonas costeras, arrecifes coralinos, y sitios artificiales como estanques piscícolas, arrozales, reservorios y salinas” (Ramsar 2017).

⁴ La Convención Relativa a los Humedales de Importancia Internacional especialmente como Hábitat de Aves Acuáticas, es reconocida como el Convenio de Ramsar, puesto que fue firmada en la ciudad de Ramsar en Irán el 18 de enero de 1971 y luego entró en vigencia el 21 de diciembre de 1975.

Estas características dadas para identificar un humedal se complementan junto con el concepto de ecosistema, puesto que por la Convención de Ramsar son entendidos como tal.

El término de Ecosistema fue variando después de que fue acuñado en 1930 por Arthur Roy Clapham en respuesta a un requerimiento de Arthur Tansley, y se utilizó por primera vez en letra impresa en 1935 en el bien conocido documento de Tansley sobre conceptos y términos vegetacionales. Tansley consideró que los organismos no pueden ser separados del ambiente del bioma (los factores del hábitat en el sentido más amplio) con el cual conforman un solo sistema físico. Después Lindeman, en 1942, “consideró que

El ecosistema puede definirse formalmente como el sistema compuesto de procesos físico-químicos-biológicos activos dentro de una unidad espacio-temporal de cualquier magnitud” (Willis, A. J. 1997, p.268). Odum, en *Fundamentos de Ecología* en 1953, “consideró el ecosistema como la unidad fundamental en ecología, [...] creía que la función principal del concepto en el pensamiento ecológico era enfatizar las relaciones obligatorias, la interdependencia y las relaciones causales (Willis, A. J. 1997, p.269).

Whittaker (1962) dijo bajo su aproximación al concepto que el soporte y su hábitat forman un todo funcional. El ecosistema, o complejo de naturaleza, en el que la materia y la energía se transforman entre el medio ambiente y los organismos. Bajo la mirada rusa, se propuso un término muy similar al ecosistema, biogeocenosis, pero se ha afirmado que este término tiene un significado más definido, y puesto que la biogeocenosis se refiere a un único sistema definido de extensión limitada. El término que ha prevalecido en la literatura ecológica desde 1960 ha sido el de ecosistema, aunque se han propuesto muchos otros términos. Por ejemplo, según Sukachev & Dylis (1968, 1969), con un significado bastante similar, incluyendo el microcosmos y el biosistema (Willis, A. J. 1997, p.269).

Arquitectura biocomputacional y evolución de ecosistemas habitables

Luego, tras aplicar la matemática y las ciencias de la computación en el análisis de sistemas en la ecología, la llevó progresivamente de una ciencia "blanda" a una "dura", esto fue prefigurado por el modelado de sistemas ecológicos en 1962 por el uso de ecuaciones y simulaciones de ecosistemas en computadoras (Willis, A. J. 1997, p.269).

Poco después en la década de los sesentas las leyes de la termodinámica se invocaron cada vez más como base de la teoría de los ecosistemas, ya en 1992 Jørgensen propone una nueva ley en la que un sistema que recibe un flujo de energía de alta calidad lo usará para alejarse del equilibrio termodinámico; por lo que "ganará" la organización que obtenga el mayor almacenamiento de energía de alta calidad. También Jørgensen considera que se necesita urgentemente una teoría del ecosistema que incorpore tanto el enfoque analítico como el sintético, especialmente en relación con problemas globales importantes (Willis, A. J. 1997, p.270).

Por lo anterior, se comprende que el concepto es robusto y tiene gran capacidad de extenderse a través de diferentes escalas. Por lo que es importante especificar la escala: por ejemplo, la proporción de asimilación por dos niveles tróficos adyacentes (Willis, A. J. 1997, p.270).

Si bien el concepto inicial ha cambiado a través del tiempo, conserva la relación entre organismo y entorno físico y químico, aun así, este continúa evolucionando al aproximarse a los diversos desarrollos del concepto en siglo XXI. En el 2005 se presenta otra comprensión bajo la teoría de sistemas abiertos y ciencias de la complejidad, como:

redes de interacciones entre organismos y su entorno en un espacio definido, [...] La red de interacciones es compleja, es decir, está determinada por una multitud de factores e interacciones. Están lejos de un equilibrio e indeterminado, es decir, no hay meta para cierto cambio dinámico. Los ecosistemas se comportan linealmente sólo en un corto lapso de

tiempo. Debido a que no hay sistemas cerrados, hay siempre irregularidades. Así que, los ecosistemas pueden "colapsar" y crear espacio para nuevas composiciones de especies. Los sistemas abiertos pueden ser perturbados externamente, particularmente por los cambios antropogénicos y climáticos (Schulze, Beck y Müller-Hohenstein, 2005, pp.400-401).

Tomando esta comprensión desde estudios de la complejidad, se puede extrapolar el ecosistema a la bioinformática y la vida artificial, generando ecosistemas artificiales a través de modelaciones y simulaciones, en las cuales existen redes tróficas conectando animales a elementos básicos. En estas se producen dinámicas emergentes y surgen propiedades o características evolutivas de la vida del carbono, en estos se consideran varios escenarios con dinámica de interacción no trivial y estas simulaciones no tienen reglas de comportamiento propiciando que las transformaciones emerjan por las acciones de los agentes (Rönkkö, 2007).

Estas también:

explican cómo un organismo o una población responde a la distribución de recursos, competidores y depredadores" (Mashayekhi y otros) y con la cual se puede buscar una óptima adaptación al medio ambiente a través de nichos, o con el objetivo de no probar si los organismos se adaptan de forma óptima, sino "utilizar las expectativas normativas para interpretar los datos del comportamiento y / o generar hipótesis comprobables. (Mashayekhi y otros).

Estos ecosistemas se pueden modelar a través de sistemas de partículas, inteligencia de enjambre y agentes autómatas. A cada elemento se le puede dar memoria, la cual se actualiza y se permite la repetición de los registros de las acciones e interacciones, estas se desarrollan para comprender la complejidad de los sistemas biológicos (contando la vida artificial) y sus fenómenos emergentes.

Arquitectura biocomputacional y evolución de ecosistemas habitables

Estas simulaciones también presentan posibilidades para la comprensión de especiación, selección, mutación y recombinación en las especies y elementos que la componen, enviando la importancia de la multiplicidad y biodiversidad para propiciar redes de interacciones complejas, junto con el fenómeno de que estas colapsen y generen la emergencia de nuevas composiciones de especies.

El término Biodiversidad (*biodiversity*, originalmente en inglés), abreviación para *diversidad biológica*, fue utilizado por primera vez en 1986 por Walter G. Rosen, un miembro del Consejo Nacional de Investigación de la Academia Nacional de Ciencias (NRC/NAS) de los Estados Unidos, para dar nombre a un foro nacional organizado por esta academia y el Instituto Smithsonian. El evento (National Forum on BioDiversity) se realizó en la ciudad de Washington entre el 21 y el 24 de septiembre de 1986 y tuvo la participación de más de 60 asistentes: entre biólogos, economistas, filósofos y representantes de agencias ambientalistas, entre otros. Las memorias de este foro fueron publicadas en 1988 a manera de 57 ensayos, en un libro titulado *Biodiversity*, editado por Edward O. Wilson y Frances M. Peter” (López Arévalo, Montenegro, y Liévano Latorre, 2014, p.89).

En ese sentido, la biodiversidad se comprende como un tejido bajo y en la relación de tres características: *diversidad ecosistémica*, *diversidad de especies* y *diversidad genética*. Entre más entrelazadas estén estas tres características más denso y resiliente se vuelve el tejido de biodiversidad, entre mayor diversidad haya en estas tres características, existe un mayor umbral de opciones, para codeterminar la supervivencia en el tiempo de una o más especies en el ecosistema, o del ecosistema en su totalidad. (Preshoff, 2017; Schulze, Beck y Müller-Hohenstein, 2005, p. 401).

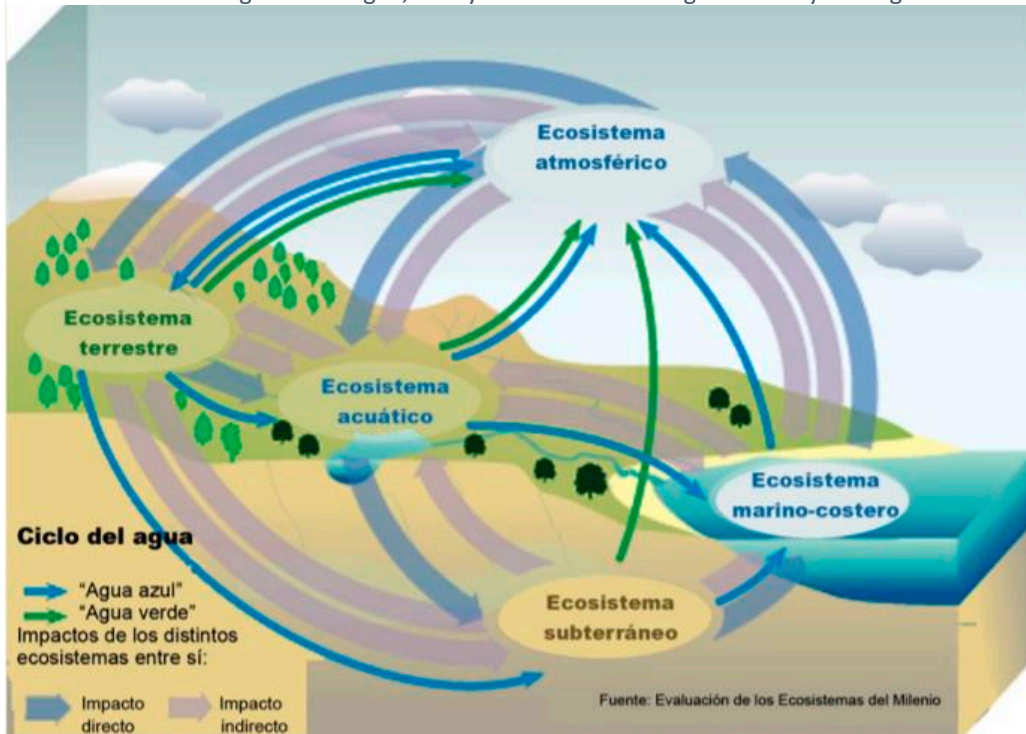
Es por lo anterior que los humedales, al ser los ecosistemas más productivos en la tierra, los vuelve vitales para la supervivencia humana, puesto que la especie humana también hace parte de la biodiversidad global, y sin los humedales que al ser una fuente constante de agua, devienen en

cunas de diversidad biológica al favorecer su desarrollo, tanto de flora, fauna y microorganismos que interactúan en complejas relaciones para mantener un equilibrio ecológico de alta fragilidad, puesto que dependen unos de otros para subsistir. Sin ellos los innumerables beneficios que ofrecen los humedales, desde oportunidades de recreación, turismo, suministro de agua dulce, purificación de agua, control de inundaciones, hasta recarga de aguas subterráneas y mitigación del cambio climático desaparecerán (Castellanos, 2002, p.1; Ramsar, 2017).

Estos ecosistemas de aguas continentales cuentan con funciones fundamentales respecto a la mitigación del cambio climático, como la regulación de los gases de efecto invernadero, sobre todo la de dióxido de carbono, y la función como amortiguador físico de impactos del clima, puesto que son grandes almacenadores de carbono como sumideros, por ejemplo, las turberas boreales, que son fuentes de captura de carbono en los sedimentos (World Resources Institute, 2005, p.34). También, los humedales cumplen un papel fundamental en el proceso del ciclo del agua, no solo a nivel local sino a escala global, como se muestra en la siguiente figura.

Arquitectura biocomputacional y evolución de ecosistemas habitables

Figura 46. "Interrelaciones entre los componentes ambientales del ciclo global del agua, incluyendo el ciclo del "agua verde" y del "agua azul" "Interrelaciones entre los componentes ambientales del ciclo global del agua, incluyendo el ciclo del "agua verde" y del "agua azul"



Fuente: Evaluación de los Ecosistemas del Milenio, 2005. LOS ECOSISTEMAS Y EL BIENESTAR HUMANO: HUMEDALES Y AGUA. INFORME DE SÍNTESIS World Resources Institute, Washington, DC. pp.35.

Aunque sus beneficios y su importancia ante el planeta, están ligados al agua, también su biodiversidad cumple un papel fundamental en todos los ecosistemas.

La biodiversidad de los humedales se presenta a través de una compleja *red trófica*, en general sí sus sistemas acuáticos no han sufrido variaciones drásticas e irreversibles, producto de su desarrollo evolutivo a través de las tres características expuestas anteriormente, la *diversidad ecosistémica*, *diversidad de especies* y *diversidad genética* (Castellanos, 2006, p.1; Preshoff, 2017).

En esto se puede ver como la base de la *red trófica* se sustenta en una singular *composición florística*, la cual depende del agua y un ambiente propicio. Esta composición atrae diversos grupos de animales silvestre en búsqueda de refugio y debido a que esta vegetación provee semillas, frutos y

hojas para los herbívoros, una zona de concentración alimentaria, la fauna dispersa las semillas del fruto por el área para que pueda crecer nueva flora, y los restos son consumidos por insectos y bacterias que descomponen y reciclan los nutrientes para crear un suelo rico para el crecimiento de otras plantas. Es un gran sistema, conformado por pequeños y en la mayoría de casos, en cada uno de estos sistemas de humedales se halla algún área de *endemismo biológico*.⁵ (Nelson y Platnick, 1981, p.390; Castellanos, p.1, 2006).

Cada ecosistema está:

conformado con la conexión entre especies, cada enlace provee estabilidad al siguiente, generando un tejido de biodiversidad más denso y *resiliente*, este tejido se refuerza a través de la diversidad genética dentro de cada especie para hacer frente a los cambios; Especies que carecen de diversidad genética debido al aislamiento, o a un bajo número de población son mucho más vulnerables a fluctuaciones causados por el cambio climático, enfermedades o fragmentación de hábitats (Preshoff, 2017).

Al comprender que los ecosistemas, tanto del carbono y artificiales al estar compuestos por una multiplicidad de diversas especies y que estas conforman redes de interacción las cuales devienen en sistemas vivos, se abordan, la vida y los sistemas dinámicos, desde la biología y la bioinformática para una mayor comprensión de estos fenómenos en el siguiente punto.

⁵ Las áreas de endemismo Biológico, son: “Áreas relativamente pequeñas, que presentan un número significativo de especies que no están presentes en ninguna otra área” (Nelson y Platnick, 1981, p. 390).

4.2. Organismos vivos y vida artificial, Sistemas complejos adaptativos.

Aún se desconocen multiplicidad de respuestas ante cuestionamientos sobre “la vida”, sus orígenes, y los seres vivos, ya que al ser fenómenos indefinidos e indeterminados por los procesos que los subyacen, están en una constante fluctuación y presentan saltos cuánticos, por lo que los conceptos, junto con las comprensiones respecto a sus diversos fenómenos y acontecimientos, cambian también a través de procesos en el tiempo, y de diversas aproximaciones e investigaciones. En esta parte se aproximará al tema y los fenómenos de los sistemas vivos, por medio de dos disciplinas de la ciencia que se enfocan en el tema y son complementarias, la biología y la bioinformática, con el propósito de encontrar puntos en común respecto a los fenómenos que acontecen en estos sistemas.

Al ser fenómenos indefinidos debido a sus cambios, a través del metabolismo o procesos metabólicos, los cuales se comprenden como el consumo y liberación de energía, o el proceso cambio de energía, por lo que se podría comprender que “la esencia de la vida es la lógica que subyace en cada proceso, ya sea el desarrollo embrionario, la regulación genética o el metabolismo y no el soporte material [...] lo que sustenta los procesos vitales, y en consecuencia el fenómeno vital.” (Lahoz-Beltrá, p. 144, 2004).

Por lo que estos sistemas de constantes procesos requieren de un cambio constante puesto que, si se llegasen a determinar o congelar, los procesos metabólicos se detendrían, y el sistema de vida moriría, pasando a un estado en equilibrio como el de los cristales en el cual los intercambios de energía no tendrían lugar puesto que la energía no se libera, ni se absorbe.

Es por esto que los organismos vivos no son sistemas en equilibrio, pero tampoco los fenómenos de la vida se presentan en estados caóticos, como en estados gaseosos, puesto que el orden en los sistemas caóticos, presenta una disipación muy alta de la energía.

Por lo que se entiende que son sistemas ordenados del no-equilibrio mantenidos por procesos de una continua disipación de energía procedente del exterior, siendo estructuras disipativas, en los que el metabolismo del sistema es la fuerza que conduce al orden y mantiene la estructura interna.

Debido a lo anterior, se evidencia que estos fenómenos metabólicos como organismos se dan en una transición de fase, que el fenómeno vital se encuentra al borde del caos, en la frontera entre el mundo ordenado del equilibrio y el mundo caótico.

Figura 47. La vida al borde del caos



Creación propia con base en imágenes tomadas de internet.

Arquitectura biocomputacional y evolución de ecosistemas habitables

Lo anterior conlleva a comprender a los organismos de vida como sistemas disipativos, los cuales en los casos de la vida del carbono y la artificial computacional estos organismos se entienden como agentes autónomos.

Puesto que

un agente autónomo ha de ser un sistema autocatalítico capaz de reproducirse y llevar a cabo uno o más ciclos de trabajo termodinámico. [...] trabajo como liberación controlada de energía” (Kauffman, pp. 21-81, 2003) en el cual se genera un círculo virtuoso, en el que trabajo produce condicionantes a la liberación de energía lo que constituye un nuevo trabajo y así continuamente, lo cual constituye una organización, por lo que los agentes autónomos son sistemas autorreproductores los cuales “construyen y propagan conjuntamente organizaciones de trabajo –de elaboración de restricciones y subsiguiente obtención de trabajo–, que proliferan y se difunden, diversificando a su vez la organización.” (Kauffman, p.22, 2003)

Sistemas capaces de actuar en su propio interés en el entorno en el que se encuentran, por lo que una de sus características es la manipulación continua del universo que nos rodea.

Con base en lo anterior se evidencia que, a través de esta manipulación del entorno como organización, del trabajo de búsqueda y producción de trabajo, se producen otras autoorganizaciones propagativas (organizaciones de entes que construyen más de sí mismos y así mismos), tomando como ejemplo, los diversos ecosistemas se pueden ver a diferentes escalas que esto es lo que han venido haciendo durante millones de años, y visto desde el ámbito independiente, se puede observar como una red trófica compleja se conforma desde la bacteria en búsqueda de su

alimento la cual es perseguida por el paramecio, el cual luego es capturado por el plancton, y el plancton por el gusano, etc.

De esta manera se comprende la vida como una propiedad y comportamiento colectivo emergente y de redes complejas (Kauffman, 2003). Por esto los seres vivos pueden surgir en cualquier entorno o ambiente cuyas condiciones se presten para que este en el borde del caos, este organismo bien puede ser artificiales (in silicio) si se dan ciertas condiciones, estas unidades de agentes autónomos interactivos muestran comportamientos globales como la formación de patrones o el desarrollo de otros sistemas, por lo que modifican el estado de una unidad interactiva en función de su propio estado, y en algunos casos el estado de las unidades vecinas. Cabe destacar que, por ejemplo:

De estos sistemas fuera del equilibrio de autoorganizaciones de redes complejas, emergen propiedades como la cooperación, las co-construcciones, y la coevolución, estos sistemas al adaptarse al entorno o adaptarlo en búsqueda de la continuación de trabajo, son denominados como sistemas complejos adaptativos, los cuales:

“Implican un gran número de piezas sometidas a una serie caleidoscópica de interacciones simultáneas. Todos parecen compartir tres características: evolución, comportamiento agregado y anticipación. A medida que pasa el tiempo, las partes evolucionan a la manera darwiniana, intentando mejorar la capacidad de su clase para sobrevivir en sus interacciones con las partes circundantes. Esta capacidad de las partes para adaptarse o aprender es la característica fundamental de sistemas adaptativos complejos.” (Holland, p. 19, 1992),

Estos sistemas complejos adaptativos, pueden ser modelados a través de simulaciones, y no tiene una sola ecuación o regla, que controle el sistema. En vez, cuenta con partes distribuidas, que interactúan sin un control central. Cada una de las partes se rige por sus propias reglas, y cada una

Arquitectura biocomputacional y evolución de ecosistemas habitables

de estas reglas puede propiciar la influencia de un resultado, y cada una puede influir en la acción de otra parte (Holland, pp. 19-21, 1992), es por esto que:

Cuando se habla de la vida comprendida como los sistemas complejos adaptativos, estos tienen código de información el cual busca cierto orden, e interactúa con el medio, [...] que es la idea que subyace a la idea de «metabolismo» [...] que significa «cambio» o «intercambio». (Vallverdú, p. 137, 2013).

Se comprende que estos sistemas complejos adaptativos evolucionan y coevolucionan, en búsqueda de la continuación de los procesos metabólicos, la red compleja como sistema que conforman estos agentes con el medio de múltiples posibilidades de organizaciones en que se desarrollan. Se comprende como un espacio de posibles configuraciones, o *Biosfera*, en otras palabras, nosotros los agentes autónomos construimos conjuntamente la biosfera y, a la vez coevolucionamos con ella. Lo que significa que la biosfera se fabrica así misma mediante la emergencia y persistente coevolución de los agentes autónomos y sus modos de ganarse la vida. (Kauffman, 2003).

De esta red compleja emergen potenciales adaptaciones como novedades de nuevas funcionalidades y una diversificación de patrones para fabricar aún más condiciones de ganarse la vida en la biosfera, lo que significa que la biosfera se fabrica así misma mediante la emergencia y la coevolución, para posibilitarse a sí misma y optimizar su propagación.

De esto emerge una búsqueda de posibilitarse aún más, la cual se presenta a través de métodos de búsqueda de la evolución, esta se da por medio de la mutación, el apareamiento, la recombinación y la selección, de la información codificada bien puede ser en el ADN (en el cual está el programa (genotipo) para crear el organismo (fenotipo)), o de softwares de vida artificial (pero hay que tener presente que el orden en los organismos puede no ser en absoluto el resultado de la selección, sino

del orden espontáneo de los sistemas auto-organizados.). Al comprender que el ADN o software, pueden ser reproducidos por hardwares o wetwares, por lo que se puede pensar en el sistema genómico como un computador químico complejo, en el cual no se lleva a cabo una acción a la vez, sino múltiples.

Estas estrategias de búsqueda producto de la evolución de la biosfera del carbono bien pueden ser replicados en las máquinas de Turing en búsqueda de la selección de los genotipos o soluciones a los problemas de la continuación del modo de ganarse la vida (genotipos más eficaces o con mayor *fitness*), estos se dan a través de algoritmos genéticos y paisajes fitness, los cuales se desarrollan por medio de simulaciones. (Kauffman, 2003)

Es por medio de estas simulaciones que se trabajan en diversos problemas **P** o **NP**, mutando, recombinando y seleccionando las soluciones plausibles ante los problemas planteados, generando grandes y pequeñas avalanchas de especiación y extinción de las soluciones con menor fitness.

Es así como se tienden a generar modelos de simulación mediante la síntesis (esto es, constructivo antes que analítico) de procesos fundamentales de la vida del carbono. Estos, en un inicio, no son complejos, puesto que consta de un número de partes relativamente simples y también el comportamiento de las mismas, pero la conducta del sistema como totalidad es de complejidad creciente, por esto se requiere de sistemas de computación para poder abordar el problema, la irreversibilidad del tiempo y las interacciones entre sus partes, conllevan a una contra-intuición, dotados de una auto-organización y de emergencia. (Holland; Gómez Cruz).

Este método no es sino la búsqueda de expandir la biosfera hacia las diversas posibilidades adyacentes con un efecto mariposa que afecta a otras posibles soluciones de organizaciones. Podemos evidenciar como una novedad abre paso a nuevas innovaciones y cómo genera que

Arquitectura biocomputacional y evolución de ecosistemas habitables

soluciones previas perezcan o muten. Si vemos hacia los acontecimientos de novedades como soluciones a problemas del pasado en el ámbito económico y tecnológico, tomando como ejemplo la invención del automóvil, esto generó grandes pérdidas en los negocios de las ventas de caballos, la herrería, y abrió paso a la industria petrolera, las vías pavimentadas, las expansiones de las ciudades, etc.

Es por esto que retomando el punto anterior se comprende que los ecosistemas son organizaciones de búsqueda para posibilitar más la vida, y es por esto que la biodiversidad, es fundamental puesto que implica mayor cantidad de posibles soluciones a diversos problemas. (Kauffman, 2003)

Debido a lo anterior se comprende que “los agentes autónomos avanzan continuamente hacia la novedad –molecular, morfológica, organizativa, de comportamiento...–” (Kauffman, p.47, 2003), denominado este fenómeno como lo *adyacente posible*, por lo que, si se tomase todas las partículas que componen la biosfera, conteniendo todas sus posiciones y momentos en un *espacio de fases n* dimensional, se podría obtener una direccionalidad hacia uno o varios de los adyacentes posibles teniendo un espacio simétrico el cual depende de las dimensiones, pero a mayor cantidad de dimensiones se vuelve más asimétrico y se puede llegar al punto de entrar a un estado cuántico, con saltos, o múltiples estados a la vez, lo que significa que la dimensionalidad de lo adyacente posible para cualquier estado puede ser de grandes magnitudes o de pequeñas, pero teniendo presente que se buscan nuevas formas para aumentar la diversidad, y entrar en el círculo virtuoso de repetir la acción. (Kauffman, 2003)

Así que el cuestionamiento, y la búsqueda para comprender fenómenos de la vida, hace parte de este círculo virtuoso, por lo que se toman procesos biológicos y se reproducen a través de la computación como es el caso de la bioinformática la cual se encarga de:

- a. Secuencias reguladoras del genoma: base de datos, bases de conocimiento, análisis computarizados, modelación y reconocimiento.
 - b. análisis a gran escala del genoma y anotación funcional del mismo.
 - c. detección y predicción de estructuras de los genes.
 - d. genómica comparativa y evolutiva.
 - e. análisis computarizados del polimorfismo y evolución del genoma, análisis informatizado y modelización de la transcripción, splicing y traducción, biología estructural computacional, organización funcional-estructura de la genética del ADN, del ARN y de las proteínas.
 - f. análisis de patrones básicos de la actividad, organización y evolución del genoma.
- (Vallverdú, p. 89, 2013).

Es por lo anteriormente expuesto que la dicotomía clásica entre artificial/natural, cada vez es más difusa e innecesaria, ya que existe una simbiosis entre las máquinas, lo artificial y los seres vivos. Esto se puede observar en varios casos como microchips implantados en los cerebros u oídos, que permiten a sordos escuchar, a cultivar con menores pesticidas y producir medicamentos más baratos por los transgénicos, o los marcapasos que activan artificialmente los latidos del corazón, órganos artificiales y prótesis robotizadas, forman parte hoy día de la cotidianidad.

Es así que quizás la única diferencia entre los agentes autónomos del carbono y la vida en silicio es:

Que nosotros estamos hechos de maquinaria orgánica, y mientras que ellas están todavía a un nivel inorgánico [...]. Al fin y al cabo, ambos seres somos conjuntos de información organizada con mayor o menor complejidad. La vida es un estado autoorganizativo, autopetruante, que busca el aumento de la complejidad en cada replicación,

Arquitectura biocomputacional y evolución de ecosistemas habitables

manteniendo una tensión evolutiva. Y la vida artificial existe ya en el universo informacional virtual. [...] Como en las células y sus partes, que constituyen un nivel básico de realidad orgánica, los algoritmos auto replicantes especializados pueden dar lugar a un ser artificial tan complejo como nosotros. (Vallverdú, p. 137, 2013).

Anteriormente, bajo modelos clásicos se pensaba que la estrategia de procesamiento de información debía ser top-down o descomposición de sistemas, esencialmente la ruptura de un sistema para obtener un análisis de sus sub-sistemas de composición en forma de ingeniería a la inversa. Pero en la década de 1980, “surgió otra aproximación radicalmente diferente al diseño de artefactos inteligentes: el enfoque bottom-up (abajo-arriba). A esta línea subyace la idea según la cual la inteligencia es una propiedad emergente de los sistemas complejos. Si creamos máquinas que realicen funciones similares a la de los seres vivos, al aumentar paulatinamente su complejidad”

Esta estrategia, tras la concepción de aprendizaje como característica del que Holland describe, y sobre el tema de desarrollo de una inteligencia artificial se comprende que esta emergerá de igual manera que la humana durante el proceso evolutivo. No es programar en una máquina un modelo del mundo para que este funcione, sino que a través de la experiencia se toma directamente del mundo, o el entorno. (Vallverdú, p. 104, 134, 2013).

Por esto se entiende que el estudio de la vida y diversas soluciones que presentan los sistemas, pueden extrapolarse, mezclarse, o hibridarse, de esta hibridación deviene el ciberorganismo o cyborg, “una criatura de realidad social y también de ficción” (Haraway, p.149, 1991). Como el reconocido Neil Harbisson, quien posee una antena implantada en la cabeza, la cual le permite escuchar los colores y percibir colores invisibles para el ojo humano como infrarrojos y ultravioletas, así como recibir sonidos directamente a su cabeza desde aparatos externos.

El cyborg es la una novedad como resultado de la recombinación a través de la búsqueda de posibilidades, en la cual se tomaron y aparearon los “genotipos” de las novedades de cibernética y la biocomputación, y los genotipos de organismos del carbono.

A través de esto se toman algunos de los diversos modelos de algoritmos autoreplicantes para este trabajo de investigación, los que se estudian como posibilidades para la exploración de “los genotipos” del caso de estudio, y la posible recombinación con estos.

Se toman los modelos de algoritmos genéticos de optimización de búsqueda como los paisajes fitness, los autómatas celulares, las inteligencias de enjambre y los sistemas Lindenmayer.

4.2.1. Paisajes Fitness

Estos algoritmos genéticos se basan en el principio de selección (mutación, recombinación y selección) y de búsqueda entre los genotipos (posibles soluciones antes el problema de búsqueda) con mayor fitness en común, esta es una herramienta biocomputacional *bottom-top* la cual simula este principio por medio de la evaluación de los cromosomas de una población inicial a través de una función objetivo. Lo que define qué tan buena es cada posible solución respecto al problema de interés –Cada posible solución (x) como Conjunto-Dominio–.

La función objetivo es un función matemática $f(x)$ que desempeña el papel de función de evaluación de los cromosomas, proporcionando un valor numérico que es interpretado como una medida del *fitness*” o el rendimiento y bondad en su ejecución de la solución que representa un cromosoma en un cierto ambiente o espacio problema, comprendido este como desde el ámbito biológico como la aptitud o adecuación biológica o la capacidad del individuo de reproducirse con cierto genotipo, los genotipos con mayor aptitud se harán más comunes a lo largo de las generaciones bajo un grado de replicación. “Esto significa

Arquitectura biocomputacional y evolución de ecosistemas habitables

que en un algoritmo genético el ambiente o espacio problema está representado por la función objetivo. Por consiguiente, dependiendo de cómo sea $f(x)$ así será la superficie evolutiva o superficie adaptativa sobre la que el algoritmo genético «trepará», ascendiendo generación tras generación, desde alguno de los valles de la superficie hasta encontrar y alcanzar razonablemente al valor óptimo del fitness, y que no es otro que el máximo global de $f(x)$.” (Lahoz-Beltrá, p.258, 2004)

En Biología el *Paisaje Fitness* se entiende como el conjunto de todos los genotipos posibles, su grado de similitud, y sus valores de aptitud relacionados el cual permite visualizar la relación entre los genotipos su el éxito reproductivo y ayuda a explicar formas defectuosas en la evolución por selección natural.

La altura resultante representa la aptitud o fitness y la distancia entre individuos representa su grado de disimilitud, por lo que la población en desarrollo por lo general sube cuesta arriba en el paisaje de fitness, por una serie de pequeños cambios genéticos, hasta que se alcanza un óptimo local.

Estos paisajes se dan en un *espacio de genotipos* de n dimensiones, como hipercubo, en el que cada dimensión representa un rasgo fenotípico diferente.

En la investigación “*The roles of evolutionary computation, fitness landscape, constructive methods and local searches in the development of adaptive systems for infrastructure planning*” para el simposio de 2013 internacional de Next Generation Infrastructure, se presentó un modelo para mejorar la planificación de la ciudad y el tráfico al estar involucrados en el desarrollo de sistemas adaptativos que pueden aprender y responder al ambiente de forma inteligente.

Como estrategia de solución se escogió el paisaje fitness que aborda problemas *difíciles*, junto a que estos métodos de búsquedas local pueden ayudar a las búsquedas evolutiva para mejorar el

rendimiento, se basó en el estudio de la posible construcción de un lugar, dependiendo de si es residencial o no residencial, a causa la posible producción o atracción de múltiples viajes diferentes, puesto que cada uno de los múltiples usos del suelo urbano absorbe cierto tipo de recorrido, se generó la búsqueda de que posible uso podía tener cada nueva posible construcción. Al haber varios puntos claves en la comunidad se plantearon datos de Origen / Destino actuales y se proyectaron hacia un tiempo futuro, para que bajo la función objetivo se minimice el tiempo promedio que se gasta en el tráfico, y se implementan las variables de decisión que comprenden cierto vector de tamaño n , en el que n muestra el número de autopistas que se pueden construir mientras que se muestra el número de lugares y usos, respectivamente, se desarrolló a través de procedimientos metaheurísticos eficientes bajo la noción de correlación de fitness-distancia en el paisaje de búsqueda. (Amirghasemi, Zamani, 2013).

4.2.2. Autómatas celulares

Estos modelos funcionan bajo la estrategia de Bottom-top, y de las primeras exploraciones con estas simulaciones para comprender fenómenos de la vida, se hicieron por C. Langton cuyo objetivo era investigar basado en la ciencia de la bioquímica, cómo las colecciones de moléculas inanimadas que constituyen los organismos vivos interactúan entre sí para mantener y perpetuar el estado de vida. En la cual demostró que “la noción de la “lógica molecular del estado vivo” puede ser capturada por las interacciones de los autómatas virtuales y, por tanto, que la existencia de la vida artificial dentro de los autómatas celulares es una posibilidad distinta.” (Langton, p.120, 1986).

Estos sistemas dinámicos exhiben autoorganización de sus partes y componentes, manifestando patrones en el espaciotiempo alejados de la uniformidad. Estos han sido usados en distintas

Arquitectura biocomputacional y evolución de ecosistemas habitables

disciplinas como en la física para simular dinámicas de fluidos, y se ha utilizado para el estudio poblacional. (Lahoz-Beltrá, pp.151-152, 2004)

En estas simulaciones:

un conjunto de células es organizado en una grilla n-dimensional, siendo 1, 2 y 3 los valores asignados a n en la práctica. La forma más común de los espacios celulares que conforman la grilla es el cuadrado -o el cubo en autómatas tridimensionales-, [...] Dentro de la grilla, el estado de una célula en el tiempo t es caracterizado por un valor tomado dentro de un número limitado de enteros. El estado de dicha célula está definido como una función (regla de interacción, regla de transición o función de transición) del estado de sus vecinas y el de sí misma en el tiempo. Dicho de otro modo: cada célula actúa como un autómata de estados finitos (Gómez Cruz, p. 81, 2013).

Los autómatas parten de diversas condiciones de vecindad o adyacencia entre las células, el sistema de autómatas más reconocido es el juego de la vida de Conway cuyas reglas son:

-Si una celda está ocupada y el número de casillas adyacentes también ocupadas es menor que 2, la célula muere por aislamiento en la siguiente generación.

-Si una celda está ocupada y el número de células que la rodean es mayor que 3, la célula muere por superpoblación.

-Si una célula tiene 2 o 3 células adyacentes continúa viva.

En la investigación de Jenni Partanen, "*An Urban Cellular Automata Model for Simulating Dynamic States on a Local Scale*", publicada en 2016 en el journal Entropy, que lo que busca, entendiendo las características de los sistemas complejos, crear nuevos métodos de planeación urbana para el

desarrollo óptimo de las ciudades aplicando autómatas celulares para estudiar dinámicas temporales en sistemas urbanos auto-organizados, la exploración de los estados dinámicos del modelo mostro que es posible descubrir conjuntos favorables de patrones de auto-organización y permitir la recuperación del sistema en momentos de crisis. Se utilizó la entropía como medida para la evaluación de estos estados dinámicos.

Dicho modelo de autómatas celulares urbanos en 2D se basa en el principio microeconómico de que las actividades urbanas similares se atraen entre sí y que la dinámica de estos afecta la dinámica de la región urbana al canalizar flujos de información, bienes y personas. Los resultados del experimento indican que las condiciones fronterizas tienen un impacto importante en la dinámica del modelo que genera varios estados dinámicos del sistema. Por lo tanto:

El modelo proporciona una herramienta para explorar y comprender los efectos de las condiciones de frontera en el proceso de planificación como varios escenarios son probados: la dinámica resultante del sistema puede ser explorada con tales "reglas de planificación" antes de las decisiones, ayudando a identificar directrices de planificación que apoyará La evolución futura de estas áreas. (Partanen, p. 2, 2016)

En este modelo la auto-organización se refiere a las opciones de ubicación individual para las actividades que resultan de la toma de decisiones de los autómatas en un marco regulatorio determinado que apoya adecuadamente las opciones autónomas que toman.

En el modelo, la superficie de cada actividad se integró en la propiedad de cada célula. El estado cualitativo de la célula se derivó de la combinación de seis actividades –el número de actores en cada sitio podría variar de cero a seis, dependiendo de los estados de los vecinos y el estado anterior del sitio en sí. Los estados de células cuantitativas se definieron siguiendo la tasa de utilización,

Arquitectura biocomputacional y evolución de ecosistemas habitables

definida como la relación entre la superficie de suelo usada y el derecho de construcción actual en el sitio. Se evidencio en la simulación como diferentes clases de dinámica se fusionaron, y ocurrieron dentro de una reproducción para diferentes actividades simultáneamente. Por ejemplo, el estado dinámico de la vivienda difería del estado de la industria con los mismos valores iniciales. Las dinámicas emergentes se clasificaron en *oscilación de estancamiento*, *dinámica cíclica* y *complejidad periódica*.

4.2.3. Inteligencia de enjambre

Los enjambres de insectos, peces y bandadas de aves, poseen la capacidad de auto-organizarse a través de una inteligencia colectiva, este fenómeno es uno de los que estudia la vida artificial, y tiene que ver con “la forma como emergen estructuras partiendo de agregados no estructurados de partes” (Gómez Cruz, p. 54, 2013). Se investigan, por ende, estas inteligencias de enjambre para diversos problemas, entre estos uno de los más básicos es el de hallar en un sistema de múltiples caminos la ruta más corta entre dos puntos.

Estos sistemas de vida artificial de partículas iniciales, se componen por un conjunto de agentes los cuales interactúan bajo un conjunto de reglas prescritas simples, para, intentar resolver problemas en varios casos (humanos y no humanos) que requieren de inteligencia colectiva, puesto que se opera en grupo para llevar a cabo funciones adaptativas que un individuo por sí solo no puede lograr, por ejemplo a través del reconocimiento de un miembro similar, los individuos del grupo se pueden distanciar o cohesionar, y así por ejemplo en el caso de las aves, se puede explorar una mayor área en busca de comida, o en el caso de los peces se agrupan formando una forma más grande que la de sus potenciales depredadores para ahuyentarlos, en el caso de las simulaciones se explora la optimización por colonias. (Gómez Cruz, 2013).

Una de las investigaciones más reconocidas es el modelo propuesto por Craig Reynolds (1986) que es el de *flocking* de *boids* (aves artificiales) o *boids* y bandadas, para mostrar el comportamiento emergente y “para explicar el problema de la coordinación en bandadas de pájaros que, como los estorninos, y a diferencia de las bandadas que vuelan en forma de ‘V’, carecen de un líder que guíe el vuelo de las demás aves.” (Gómez Cruz, 2013).

Reynolds propuso una población de agentes simples (*boids*) en la que ninguno posee una percepción global de la bandada ni toma decisiones sobre el comportamiento de los demás, entonces la autoorganización de los *boids* emerge bajo 3 reglas simples de interacción local denominado como el FTIPO (este se expondrá junto al FTIPO en el siguiente subtema):

“1) Separación. Si un *boid* está demasiado cerca de otros *boids* (o de algún obstáculo) se aleja de ellos.

2) Cohesión. Si un *boid* está demasiado lejos de sus vecinos se mueve hacia ellos.

3) Alineación. Cada *boid* alinea su orientación hacia la orientación promedio de sus vecinos.”

Sumado a esto, la vecindad de cada *boid* está especificada por dos elementos. Una distancia que define cuándo dos *boids* están cerca y un ángulo que determina la amplitud visual cada uno de ellos. El resultado: una de bandada de *boids* con la capacidad para evadir obstáculos y mantenerse unida (el FTIPO)” (Gómez Cruz, p.70, 2013)

Con esta simulación Reynolds demostró como la bandada de *boids* tenía la capacidad de evitar obstáculos en su marcha, considerando aquel comportamiento como emergente. (Lahoz-Beltrá, p. 216, 2004).

Arquitectura biocomputacional y evolución de ecosistemas habitables

En la investigación "*Swarm Planning: The Development of a Planning Methodology to Deal with Climate Adaptation*", de Rob Roggema, con el fin de identificar una forma de incrementar la capacidad de adaptación y uso de la tierra puesto que esta podría resultar insuficiente cuando los efectos del cambio climático aumenten. Al incrementar capacidad de adaptación se busca la resiliencia del paisaje a través de lo que está mejor preparado para futuros impactos climáticos. (Roggema, Introducción, xix, 2013).

Roggema, partiendo del problema del desacuerdo entre la adaptación al clima y la forma en que se practica la actual planificación del espacio, resulta *difícil* integrar el problema en un sistema que no apunta a un cambio (grande). Y por ende emerge otro problema respecto a la orientación del diseño al cambio, lo que implica una dificultad para captar un problema a largo plazo. Por lo que para mejorar la integración de la adaptación al cambio climático en el ordenamiento territorial se requiere de un nuevo marco el cual permita más espacio para procesos impredecibles, dinámicos y no lineales. Para el desarrollo de este marco, se toman los enjambres, por su capacidad de autoorganizarse, por su alta resiliencia el cual es capaz de reducir los impactos que se desconocen, la complejidad y el cambio a través del desarrollo de patrones y estructuras emergentes, otorgando un mayor grado de prospección. (Roggema, Introducción, xx, 2013)

Para mejor la adaptabilidad del paisaje se toman dos niveles del sistema, a nivel global y a nivel de los componentes. Estos se les asignan en el primer nivel los lugares los cuales se descubren sobre una base de estudio en red. Los nodos de la red que están más conectados con otros nodos y los nodos más importantes son los lugares más probables para intervenir.

En el segundo nivel de componentes individuales (por ejemplo, una carretera, un edificio, un canal), cada componente se atribuye individualmente con capacidades auto-

organizativas. [...] Cada componente individual tiene diferentes propiedades y por lo tanto debe ser atribuido con capacidades de acompañamiento. (Roggema, Introducción, xxi, 2013)

La capacidad de auto-organización depende del ambiente, “Todos los componentes atribuidos con capacidades para aumentar la auto-organización forman una entidad auto-organizada, que en su conjunto desarrolló una mayor capacidad de adaptación. Ambos niveles de complejidad juntos determinan la capacidad de adaptación final de todo el sistema.” (Roggema, Introducción, xxi, 2013).

Estos componentes de planificación de enjambre no tienen un enfoque paso a paso. Estos se consideran de forma integrada, permitiendo el intercambio mutuo y el enriquecimiento, para crear un diseño resistente (Roggema, p. 248, 2013).

A través de este modelo también se puede evidenciar cómo la intervención influye en el espacio no planificado en el entorno., por lo que el punto de inflexión, la emergencia y la autoorganización son elementos clave en el diseño. (Roggema, p. 259, 2013).

4.2.4. GTIPO, FTIPO y Sistemas Lindenmayer

La diversidad de las formas biológicas ha sido uno de los aspectos que ha llamado la atención en diversas disciplinas, estas características externas de los seres vivos se denominan como *fenotipo*, el cual es visto desde la biología clásica, el resultado del *genotipo* o conjunto de genes de un organismo el cual se desarrolla en cierto ambiente, en seguida se aborda uno de los estudios de las

Arquitectura biocomputacional y evolución de ecosistemas habitables

técnicas de modelación y simulación del crecimiento y la forma resultante o fenotipo de los seres vivos a través del genotipo. (Lahoz-Beltrá, p. 213, 2004).

A través del ámbito bioinformático, la metodología de simulación del desarrollo del fenotipo, a través del genotipo, conocido como *morfogénesis* la cual se sustenta en el ámbito de vida artificial, a través de Langton (1989) para estas simulaciones, se les denominó al genotipo GTIPO (comprendido como el conjunto de reglas de transición de un autómata, o reglas de producción) y al fenotipo FTIPO (comprendido como característica externa y comportamiento), (Lahoz-Beltrá, pp. 215-216, 2004). Por lo que, en resumen, y de acuerdo con un enfoque sintético de la simulación el GTIPO es el encargado de los procesos de actualización del FTIPO del autómata el cual puede ser un ave (boid), o una planta o cualquier organismo de vida artificial. (Lahoz-Beltrá, p. 216, 2004).

Los sistemas Lindenmayer o Sistemas-L en abreviación, se basan en los procesos de generación de formas, estructuras y patrones complejos que pueden contener geometrías fractales. (Gómez Cruz, p.70, 2013).

Estos sistemas fueron formulados en 1968 por el biólogo Aristid Lindenmayer, estos hacen parte de la teoría de autómatas puesto que se trata de un método formal para comprender el proceso del crecimiento de organismos multicelulares e investigar el desarrollo de las plantas, “tratándose de un procedimiento de reescritura de cadenas de símbolos basado en la aplicación recursiva de reglas básicas de transformación y producción.” (Lahoz-Beltrá, p. 217, 2004). Por su parte:

El núcleo de esta teoría se basa en la hipótesis de crecimiento local, proveniente de la biología, que afirma que durante el crecimiento de un árbol (o planta) la estructura de una rama en el tiempo t es una repetición de la totalidad de la planta o el árbol en el tiempo $t-1$. (Gómez Cruz, p.94, 2013)

Partiendo de las reglas de producción las cuales se basan en cadenas de símbolos denominada axioma, de un alfabeto (Figura 48) generan nuevas cadenas de símbolos como resultado de su aplicación a cada uno de sus símbolos de la cadena inicial.

Figura 48. Alfabeto de Sistema L utilizado en este trabajo de grado

F avanzar a distancia L (longitud de paso) y dibujar una línea

+ Gire a la izquierda (turn left) a (ángulo predeterminado) grados

- Gire a la derecha (turn right) a (ángulo predeterminado) grados

\ Rodar a la izquierda (Roll left) a (Ángulo predeterminado) grados

/ Rodar a la derecha (Roll right) a (ángulo predeterminado) grados

^ Cabeceo hacia arriba (Pitch up) a (ángulo predeterminado) grados

& Cabeceo hacia abajo (Pitch down) a (ángulo predeterminado) grados

| Gire alrededor de 180 grados

J inserte el punto en esta posición

"Multiplicar la longitud actual por dL (escala de longitud)

! Multiplica el espesor actual por dT (escala de espesor)

[Iniciar una rama (push turtle state)

] Termina una rama (pop turtle state)

Para mayor información visitar la siguiente página web: <https://morphocode.com/intro-to-l-systems/>

Arquitectura biocomputacional y evolución de ecosistemas habitables

Partiendo de lo anterior “la evolución del sistema L comienza en la iteración 0 con el axioma o iniciador que se reescribe en función de las de reglas de producción o generador, como sigue:

Axioma
Iteración 1
Iteración 2
Iteración 3
Iteración 4

Lo anterior significa que partiendo del axioma se hace uso de la regla de producción

1 y se reemplaza por en la iteración 1. Luego se aplica a la cadena resultante la regla de producción 2, que reescribe el símbolo como en la iteración 2. En la iteración 3, los símbolos se reemplazan simultáneamente: los dos primeros con la regla 1 y el tercero con la regla 2. El proceso puede continuar indefinidamente. [...]

Desde el punto de vista gráfico, las reglas de interpretación consisten en asignar un significado a cada símbolo del alfabeto; (Gómez Cruz, p.95, 2013) Así como se muestra en la tabla del alfabeto, el símbolo F significa avanzar una distancia y dibujar una línea entre la distancia recorrida en una dirección dada, el símbolo + corresponde a un giro a la izquierda con el ángulo dado al inicio.

También es fundamental el definir 4 elementos más:

- El ángulo inicial.
- Las coordenadas iniciales
- La longitud de línea.
- El ángulo de giro

En parte de la investigación de Nimish Bioria, "*Morphogenomic Urban and Architectural Systems. An Investigation into Informatics Oriented Evolution of Form: The Case of the A2 Highway*", se exploran la generación morfológica urbana, utilizando los sistemas-L, esta investigación entra en el ámbito de la morfogenómica, un área de investigación relativamente nueva, que trata las complejidades de la informática morfológica la cual se vincula con la morfogénesis, estudiando diversos sistemas toma esta información, como medio dinámico para cartografiar el genoma morfológico sobre el espacio y las estructuras arquitectónicas.

Bajo un enfoque combinatorio se tomaron dos sistemas-L para experimentar con la generación coevolucionaria, respectivamente: uno para el diseño de la traza vial y otro para la ciudad residencial, caracterizado por unidades residenciales y comerciales. La interdependencia entre los dos sistemas L se estableció para facilitar un crecimiento de la ciudad en relación con las condiciones de frontera del sistema-L basado en las vías (Bioria, p.155, 2008)

En este estudio se evidenciaron patrones urbanos de diferentes especies funcionales y se visualiza así una estructura interactiva altamente interdependiente que da lugar a diversas morfologías urbanas. (Bioria, p.155, 2008).

Como se mostró en el punto de diagnóstico que el modelo vigente económico del cual surge el modelo de planeación presente, exhiben grandes *problemas difíciles* aumentándolos a *difíciles completos*, en vez de generar posibles soluciones ante el aumento de la biosfera, por lo que han emergido modelos novedosos basados en las estrategias y fenómenos del aumento de la vida, se trabajara un modelo el cual no se basa en la destrucción de elementos para la vida viéndolos como recursos, o solo basándose en la preservación de lo que se alcanzó a salvar, sino en la regeneración

Arquitectura biocomputacional y evolución de ecosistemas habitables

de los existentes la generación de nuevos sistemas de vida en la cual se encuentre ese punto en la frontera del caos.

4.3. Economía azul y estrategias de la evolución para la sostenibilidad y regeneración.

Teniendo en cuenta que

“Una Economía Azul se involucra en la regeneración. Podríamos decir que la Economía Azul trata de asegurar que los ecosistemas puedan mantener su camino evolutivo para que todos puedan beneficiarse del infinito flujo de creatividad, adaptación y abundancia de la naturaleza.” (Pauli, prefacio, xxix, 2010)

Esta economía, se basa en los principios de la evolución y sus estrategias, de la forma de la organización de para posibilitar la vida de cada componente en la biosfera. En la economía azul no existen los desechos puesto que, bajo este modelo de sostenibilidad, el desecho de uno deviene en materia prima de otro, como en los ecosistemas de redes tróficas, tomando un ejemplo simplificado, esto se puede evidenciar de cómo las hojas que desprende el árbol son comidas por especies herbívoras y su estiércol es comido por microespecies las cuales nutren el suelo del cual el árbol se beneficia y estos se puede extender en todas las conexiones que pueden existir entre los componentes del ecosistema.

Esta economía se denomina azul puesto que más que basarse en la preservación de áreas verdes, se enfoca en tomar los fenómenos físicos, de la vida y el agua para fomentar la innovación hacia la sostenibilidad de los elementos y de la biosfera. De cómo utilizar la eficiencia de reducción de material para una mejor estructura como lo hacen las estructuras porosas de la naturaleza, o

como del desecho de cascaras de naranja de un hotel, se pueden utilizar los químicos de estas cascaras para producir un detergente que no contamina el agua, y que el hotel ofrezca el servicio de lavandería, o como utilizar la presión del agua en pequeñas pero potentes cantidades en vez de hacer represas que destruyen el ambiente, o como tomar el gas metano de los desagües para calentar el agua en vez de extraer a modo de excavaciones y explotaciones de áreas naturales.

Es por esto que esta economía al basarse en las estrategias de la vida para propiciar la vida aún más, entra en coherencia con los posibles modos de habitar la biosfera.

4.4. Habitabilidad y adaptabilidad en la arquitectura

Teniendo en cuenta que si se toman las estrategias de evolución para entrar en coherencia con la biosfera y sus ecosistemas se debe entender que las formas de habitar no son estáticas y que por ende ha habido diversos investigadores que cuestionan y proponen una habitabilidad más coherente, y con posibilidades de adaptación, cambio, o generadas por la misma vida. Es así como en un pequeño recuento se aproxima a como se pensó la posible transformación de la arquitectura de sus elementos clásicos viéndola como objeto inmóvil a un elemento adaptativo y vivo.

4.4.1. Arquitectura móvil.

En 1956 Yona Friedman abordó en el Congreso Internacional de Arquitectura Moderna. 10 (CIAM X) en Dubrovnik, un sistema de construcción que permite a los ocupantes establecer el diseño de sus propias viviendas con un folleto Manifiesto de la Arquitectura móvil.

La idea de "Arquitectura Móvil" condujo a nuevas exploraciones de cómo llevar módulos flexibles a una escala más grande. Friedman pensó en el diseño de pisos o niveles que fueran suspendidos en una construcción muy abierta en la que las unidades de vivienda podrían ser colocadas al azar.

Arquitectura biocomputacional y evolución de ecosistemas habitables

De ahí que “La flexibilidad es el concepto clave en la arquitectura móvil. Sirve para mejorar la libertad de elección de la persona, el uso flexible del espacio de la ciudad, y para ofrecer el arraigo de los habitantes de la ciudad para dar sentido a su entorno, como se describe en diez principios de “L'Arquitectura Móvil” (1960).” (Friedman, 1960).

Friedman proponía que módulos o unidades se incorporaran en grandes estructuras de soporte o marcos espaciales.

Dicha arquitectura servía para describir la forma en que las construcciones debían servir a las necesidades cambiantes de las ciudades y sus habitantes, junto con una relación en red entre las ciudades, sirviendo como una Ciudad Continente.

Esta arquitectura más que móvil, realmente pretendía ser transformista, en el ámbito de que los límites y elementos no estaban determinados y podrían variar de posición. Por otra parte, tenía en cuenta las dinámicas y deseos cambiantes de la sociedad y en específico del usuario, más no del tiempo de la arquitectura, el tiempo en general o el movimiento o traslación como tal.

4.4.2. Arquitectura del tiempo o Arquitectura líquida.

Después de la propuesta e indicios del cambio en la arquitectura, y su transformación, Ignasi de Solà-Morales propone una arquitectura del tiempo, del cambio, una arquitectura líquida, bajo el cuestionamiento de los paradigmas clásicos de la arquitectura, comprendiendo comportamientos y ciertos paradigmas contemporáneos.

En contraposición, anteriormente se definía y se creaba la arquitectura, bajo el pensamiento clásico lineal con base a la triada de los conceptos vitruvianos: la comodidad, la firmeza y la hermosura, en

la cual, la firmeza “expresa la consistencia física, la capacidad de estabilidad y permanencia desafiando el paso del tiempo. [...] Una arquitectura firme estable, es también una arquitectura sólida cuyas características dimensionales y formales no cambian a pesar de los cambios de temperatura, humedad, viento, etc., etc.” (Solà-Morales, 2001, p.25).

Lo que muestra Solà-Morales es que, aunque el entorno, el contexto, y nosotros cambiemos la arquitectura clásica no lo hará, “es la condición material, físicamente consistente, constructivamente sólida, delimitadora de un espacio, lo que ha hecho durante veinticinco siglos, que la arquitectura sea un saber y una técnica ligada a la permanencia.” (Solà-Morales, 2001, p. 26).

Pero “¿Qué sucede si intentamos pensar el otro extremo de estos conceptos tradicionales? ¿Existe una arquitectura materialmente líquida, atenta y configuradora no de la estabilidad sino del cambio y, por tanto, habiéndoselas con fluidez cambiante que ofrece toda realidad? ¿Es posible pensar una arquitectura del tiempo más que del espacio?” (Solà-Morales, 2001, p. 26).

Solà-Morales iniciando el milenio, señala que nuestra civilización ha abandonado la estabilidad, y que hemos asumido el dinamismo de todas las energías que configuran nuestro entorno, “porque en nuestra cultura contemporánea atendemos prioritariamente el cambio, a la trans-formación y a los procesos que el tiempo establece modificando a través de él el modo de ser de las cosas, ya no podemos pensar en recintos firmes, establecidos por materiales duraderos sino en formas fluidas, cambiantes, capaces de in-corporar , de hacer físicamente no con lo estable sino con lo cambiante, no buscando una definición fija y permanente de un espacio sino dando forma física al tiempo, a una experiencia de durabilidad en el cambio, que es completamente distinta del desafío del tiempo que caracterizó el modo de operar clásico.” (Solà-Morales, 2001, p. 26).

Arquitectura biocomputacional y evolución de ecosistemas habitables

Es así como, tomando como soportes la física cuántica, relativista, la teoría M, y ámbitos biocomputacionales se extienden a cualquier tipo de fenómenos. Lo que permite comprender que, el cambio, el movimiento y las interacciones producen la “forma” y dicha forma a lo largo del tiempo se verá afectada y transformada, aunque se intente delimitar el espacio y aislarlo del tiempo, puesto que de igual manera va a estar afectada por el cambio.

Y como la experiencia revela la continuidad de lo múltiple. La experiencia del devenir, la duración, “introduce plasticidad en la experiencia espacial y temporal.” (Solà-Morales, 2001, pp. 27-28).

Bajo estas teorías Solà-Morales propone una arquitectura basada en la multiplicidad de la experiencia, en el que ha de fundarse en la continuidad múltiple en la cual los acontecimientos no fijan objetos, ni delimitan espacios ni detienen tiempos, en la que los anteriores espacios fijos se convierten en permanentes dilataciones.

Solà-Morales evidencia que la arquitectura líquida fluida es una forma en la que crea su fluctuación permanente, en la que al enfrentarse a los flujos humanos no puede preocuparse por su apariencia o por su imagen exterior. “Devenir flujo significa manipular la contingencia de los acontecimientos, establecer estrategias para la distribución de individuos, bienes o información.” (Solà-Morales, 2001, p. 32).

Pero Solà-Morales veía su propuesta de arquitectura líquida como algo teórico y algo que él tampoco se propuso a desarrollar, ya que él pensaba que dicha arquitectura es “hoy por hoy, todavía más un deseo que una realidad asequible.” (Solà-Morales, 2001, p.33). Aunque él si alienta a la arquitectura a ver hacia el futuro, con la esperanza de que tal vez se pueda desarrollar la arquitectura líquida.

4.4.3. Arquitecturas de la vida o genéticas, y materiales inteligentes para una sostenibilidad ambiental.

Aunque Solà-Morales veía su idea muy alejada de la realidad, paralelo en el 2000 se inició en la fundación de la ESARQ (Escuela técnica Superior de Arquitectura) de la Universidad Internacional de Cataluña UIC, en Barcelona, un foro y grupo de investigación llamado Arquitecturas genéticas, cuyo director Alberto T. Estévez, junto con Karl S. Chu, se pensó en una arquitectura no fija, cambiante, y en constante devenir, en el foro se pensó que para lograr materializar dicha arquitectura del tiempo, se podían basar en la vida puesto que ella evidencia un desarrollo y cambio a través del tiempo. Para esto se requirieron no solo arquitectos, sino científicos y biólogos, los cuales utilizaron diversos softwares, no de plataforma CAD, sino programas utilizados para simulación y programas de biología, basados en algoritmos genéticos, y crecimiento de plantas, comprendiendo el ADN como software natural, uno de estos programas utilizados fue desarrollado por el MIT, un plugin para maya, llamado GNR(8). Con el fin aplicar técnicas digitales y biológicas a la arquitectura en física, no quedándose en metáforas o analogías.

En dicho grupo, en el 2004 la investigación y aproximación a varios proyectos arquitectónicos, en especial el de Jordi Truco y Sylvia Felipe, en el que no se juzga la forma desde un punto de vista subjetivo luego para sumergirse en la exploración de comportamientos dinámicos y sistemas emergentes, entrando a experimentos llamados morfogénesis, en el que el programa evoluciona las geometrías resultantes de superficies, lo que significa que los resultados por el software son familias de formas, pasos en la escala evolutiva, mutaciones aleatorias en cada generación.

GNR(8), los obliga a intervenir en el proceso de diseño desde una posición no absoluta (no pueden influir de una forma directa en el resultado final, sino que establecen ciertos parámetros que

Arquitectura biocomputacional y evolución de ecosistemas habitables

conocen para observar como el software desarrolla de forma emergente, la tarea de relación entre ellos lo que da un resultado a nivel global. (Truco y Felipe, p. 82, 2004).




Después de la experimentación en el campo de la computación, proponen continuar con modelos físicos, los cuales se espera que expresen cambios en la forma, mediante comportamientos dinámicos y de mutación, y así “la forma final que adopte el objeto arquitectónico en cuestión ya no es producto de la mirada parcial, unidireccional del arquitecto, o diseñador, sino que es directamente informada por el sistema que la hace posible.” (Truco y Felipe, p. 82, 2004).

Todo esto se basa en la evolución de la vida y la inteligencia puesto que “ha alcanzado al fin el punto en el que parece posible crear algo a partir de la nada. En principio, está llegando a ser posible un universo de mundos potenciales basados en los principios generativos inherentes a la naturaleza y el universo físico.” (Chu, p. 133, 2004).

En este grupo el director Karl S. Chu, piensa en el desarrollo de la siguiente fase en la evolución como “un sistema de computación ubicuo y global que lo conectará todo, incluyendo personas, objetos edificios y entornos.” (Chu, p. 133, 2004). Y, que la arquitectura que él denomina morfogenética, no solo es morfodinámica y autoorganizativa, sino que tiene la capacidad de autoduplicación, puesto que guarda la información, no solo la experiencia, sino la hereditaria, para transferirlas a las siguientes generaciones.

Dichas investigaciones y aplicaciones continuaron hasta que en el 2009 el grupo de investigación comenzó a crear “arquitectura genética y biodigital hecha de materiales que emergen, es decir, que “crecen” solos merced a sistemas de autoorganización natural o digital. [...] esto es lo que permite establecer en el siguiente diagrama:” (Estévez, pp. 1-16, 2009).

Figura 49. Diagrama 1

	 Pasado clásico	 Presente moderno	 Futuro biodigital
<i>cronología</i>	...hasta el siglo XIX	siglo XX (y hasta hoy)	desde el siglo XXI...
<i>sistema formal</i>	verticalizante	horizontalizante	organicizante
<i>sistema estructural</i>	estructuras a compresión	estructuras a tracción	estructuras vivas (naturales y/o digitales)
<i>sistema material</i>	piedra, ladrillo, madera	hormigón, acero, plástico	ADN natural (vegetal, carne y hueso) y/o software digital
<i>sistema procesual o sistema de producción</i>	producción a mano, una a una, de piezas todas distintas	producción a máquina, automatizada, en series de piezas iguales	crecimiento natural y/o producción a máquina, robotizada, de piezas distintas

© Alberto T. Estévez, Barcelona, 2004: Diagrama de las tres edades de la arquitectura.³

Fuente: Alberto T. Estévez Arquitecturas Genéticas III, (2009) (p.16.)

“Al igual que se investiga sobre el control genético del crecimiento para conseguir que células vivas se conviertan en material constructivo y espacio habitable “comandado” por desde su específico diseño genético: por tanto, arquitectura 100% ecológica, reciclable y sostenible, en un ahorro energético en los procesos constructivos, [...] Sin necesidad de trabajo manual intermedio ya que se trata de crecimiento natural, presentando también una máxima economía.” (Estévez, p. 17, 2009).

Es por esto que al basarse esta arquitectura biodigital en sistemas biológicos complejos, la comprensión y creación de analogías, “tendrá que basarse tanto de la dinámica morfogenética observada en los procesos internos de los seres vivos, como en las condicionantes externas que interactúan con dichas estructuras internas. [...] De este modo, la aplicación de estrategias

Arquitectura biocomputacional y evolución de ecosistemas habitables

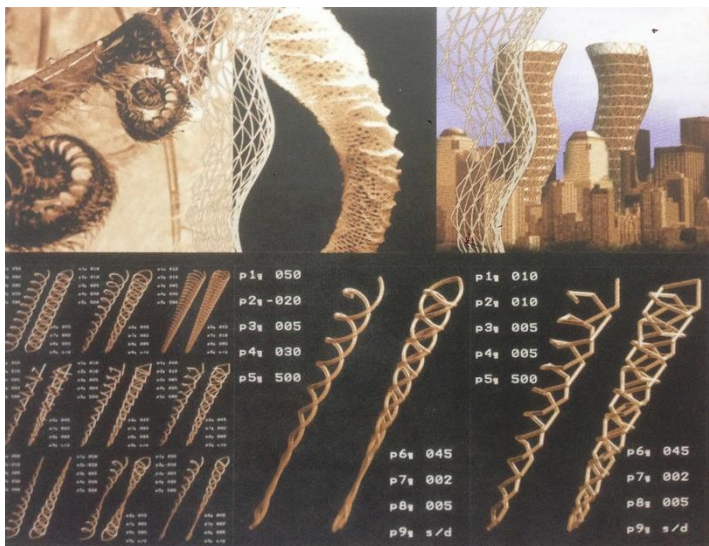
evolutivas en la arquitectura, a través de diversas analogías generativas y adaptativas, permite incrementar tanto la complejidad como la adaptabilidad de los proyectos. Se constata, además, que estas analogías evolutivas son aplicables a fenómenos estudiados en el campo de la inteligencia artificial por el hecho de considerarse que la inteligencia, en sus definiciones más amplias, no puede ser considerada una característica exclusivamente humana. Este reconocimiento se hace observando como otros seres vivos solucionan sus problemas de adaptabilidad de un modo individual y colectivo.” (Costa, p. 75, 2009).

Costa comprende que “el aprendizaje y lo heredado genéticamente se relacionan y se influyen mutuamente. [...] se puede decir que los genes encuentran, a través de un proceso de recombinación y mutación, diversas soluciones que son posteriormente puestas a prueba por el ambiente. Si dichas soluciones son ventajosas, el ser vivo sobrevivirá y se reproducirá, aumentando la incidencia de dichas características de adaptabilidad en una determinada población.” (Costa, p. 75, 2009).

“El estudio de la complejidad y la autoorganización proveniente del campo de la cibernética permite programar organismos virtuales capaces de emular las interacciones presentes en los ecosistemas. La programación y visualización de estos ecosistemas en cuatro dimensiones aporta un nuevo potencial que puede ser explorado en el campo de la arquitectura donde los elementos complejos emergen de la combinación de elementos más simples. Al estudiar desde un punto de vista más abstracto estos modelos de coevolución paralela, se constata que tienen frecuentemente como características ventajosas, la adaptabilidad y la capacidad generativa que les permite evolucionar.” (Costa, p. 76, 2009).

“La acción de proyectar la arquitectura es, especialmente en la parte conceptual, una actividad repleta de aleatoriedades y consecuentemente impredecible. La unión de todos los factores condicionantes del proyecto no ocurre de forma ordenada, sino se encuentra a través de innumerables iteraciones modificando tanto la solución como la formulación del problema de diseño. En este proceso es normal que se encuentre un número de variables tan extenso que se obstaculice la progresión proyectual. Por esta razón, los arquitectos necesitan encontrar principios validos que les dirijan a soluciones, es decir, que sean capaces de sacarles de las arbitrariedades del proceso creativo. La aplicación de la analogía biológica del proceso de selección natural permite definir ideas a través de la limitación de las opciones, obteniendo la solución definitiva por un proceso selectivo en el cual se desechan las soluciones que menos encuadran con los objetivos del proyecto. Se reconoce, además, la naturaleza reiterativa del proceso creativo, la competición entre varias visiones, la simbiosis de las ideas y la necesidad de elementos selectivos que permitan la selección.” (Costa, p. 76, 2009).

Figura 50. Bioarchitecture 1



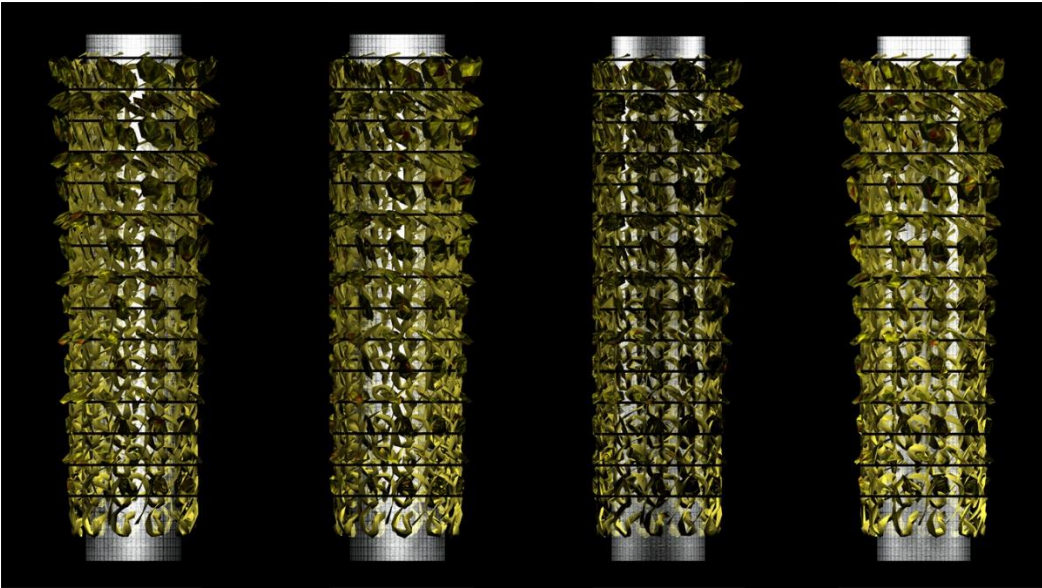
Fuente: Mauro Costa. Arquitecturas Genéticas III, (2009) (p.80)

Arquitectura biocomputacional y evolución de ecosistemas habitables

“Además estos procedimientos permiten establecer como pueden los espacios generados por medio de simulación de plantas contribuir a crear una estética compleja con determinados objetivos ambientales como la monitorización y la filtración de aire o la reconfiguración de la superficie del edificio para beneficiarse de la propia sombra.” (Dollens, p. 97, 2009). De esta forma el arquitecto Dennis Dollens desarrolló un edificio para los Ángeles en el que la estructura son tallos en espiral creadas en el software Xforg, con hojas las cuales están diseñadas para controlar el flujo de aire y la distribución del calor y la sombra alrededor de la torre.

Así que “si consideramos el diseño como parte de la naturaleza, debemos empezar a replantear el nexo entre la naturaleza y el diseño y la educación y la práctica. Al utilizar herramientas tecnológicas, así como la ciencia y la naturaleza para dotar a los edificios y las ciudades de características biológicas, la arquitectura puede ser revalorizada como un activo medioambiental, en vez de una carga. Podríamos considerar la generación digital como una forma de desviarse de la arquitectura previsible y toxica, y como impulsora de una evolución en esta disciplina. Al enmarcar el diseño en una estructura evolutiva, albergamos la esperanza de un progreso tecnológico creativo, a medida que especies de edificios, productos y planes urbanísticos altamente letales se van extinguiendo y son remplazados por especies mejor adaptadas al medio.” (Dollens, p. 99, 2009).

Figura 51. Dennis Dollens, Bio architecture2



Fuente: <https://dmsp.digital.eca.ed.ac.uk/blog/performativedesign2012/author/s1053936/>

Es así como “la arquitectura genética tiene una doble ambición: la construcción coevolutiva de agrupaciones complejas o mundos posibles [...] basada en la simbiogénesis, y el descubrimiento del otro sublime dentro del mismo sin identidad.” (Chu, p. 146, 2004).

Karl S. Chu comprende la simbiogénesis como “la construcción de mundos posibles mediante agentes autónomos en una simbiosis” y el descubrimiento del otro como “la sublimación de multiplicidades en una singularidad que permanezca en tensión contra lo inagotable.” (p. 146, 2004).

Dichas investigaciones experimentales se dan para generar una arquitectura adaptativa basada en los principios biológicos y la eficiencia de la naturaleza a través de sus múltiples años de evolución, lo cual significa, que no solo pueda adaptarse al entorno de las infraestructuras urbanas, o al

Arquitectura biocomputacional y evolución de ecosistemas habitables

entorno natural, sino a las dinámicas de la sociedad y los habitantes de dichas urbes tanto especies humanas como no humanas, para que las ciudades devengan en los mundos posibles de los que habla Karl S. Chu.

Con base en lo anterior se comprende que:

“Las relaciones originarias entre el modelo, el proyecto y el objeto construido se ven hoy revaluadas puesto que ya no son miméticas de algo preexistente, sino son emergentes, “mediadas por una creación en proceso, siempre en proceso, obra abierta, cuyos autores y espectadores son indiscernibles; [...] habitantes que crean sus propias viviendas, individuos que se comunican por medio de información binaria configurada como diseños espaciales temporalizados...”

(Hernández, pp.14-15, 2003.)

Es por esto que a continuación se mostrara como el desarrollo del trabajo se enfoca en “Crear modelos, específicamente de crecimiento orgánico; así, la arquitectura o el diseño que concibe con ellas tiene forma viva y se desarrolla a partir de pautas de comportamiento e interacciones con nosotros, quienes las exploramos: una especie de arquitectura en crecimiento, que simula la manera dinámica de la vida y se vuelve ella misma dinámica”. (Hernández, p.15, 2003.)

5. Metodologías Heurísticas

Puesto que “el nacimiento de la vida artificial constituye uno de los pocos casos en la historia de la ciencia que ilustran de manera particularmente clara cómo se generan las ideas, los proyectos, en fin, los verdaderos programas de investigación científica innovadores.” (Gómez Cruz, p.3, 2013) y

debido a que la búsqueda de y trabajo con algoritmos, para soluciones plausibles a los problemas **NP Y NPC** se denominan heurísticas (Maldonado, p.113, 2005), este trabajo se fundamenta en ellas.

La heurística se apoya en la plausibilidad, el desarrollo de las lógicas no clásicas, y del estudio de los sistemas complejos adaptativos, conocido como las ciencias de la complejidad.

“La heurística se apoya en dos campos fundamentales: de un lado, la plausibilidad y el desarrollo de las lógicas no clásicas, y de otro, el estudio de los sistemas complejos adaptativos, conocido como las ciencias de la complejidad” (Maldonado, p.99, 2005).

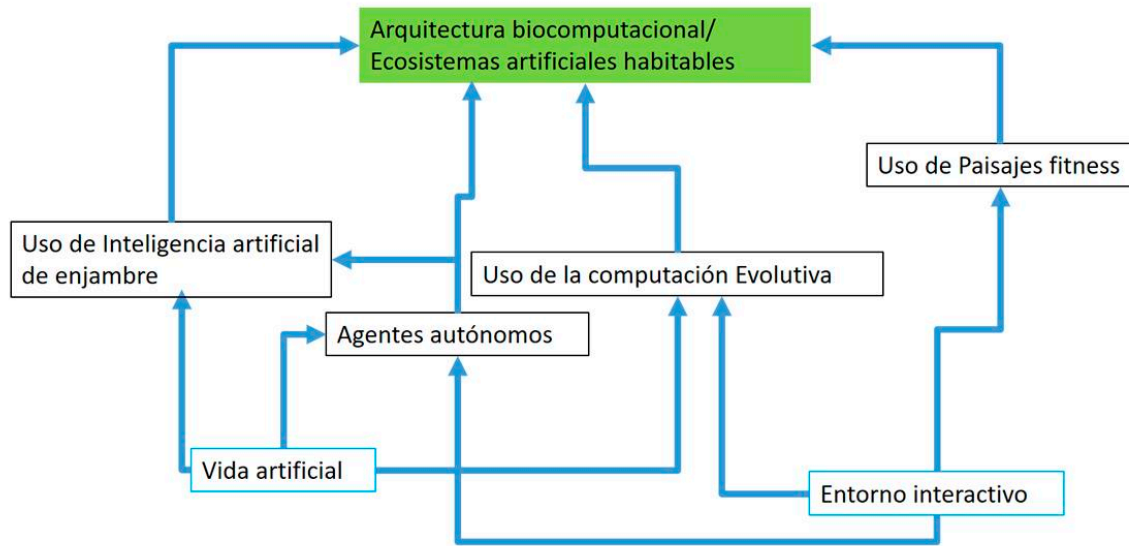
La heurística consiste en el estudio de la invención y el descubrimiento debido a la reflexión y no al azar, es por esto que el método heurístico no tiene ninguna connotación normativa, por lo que es la búsqueda de caminos en el proceso mismo de descubrimiento e invención.

5.1. Hipótesis

Es la arquitectura biocomputacional y los ecosistemas artificiales, un entorno habitable, evolutivo complejo, un sistema contenido, contenedor e interactivo, estructura dinámica en la frontera del caos, la cual es la hibridación coherente entre la biosfera, la econosfera, y la tecnosfera, por lo tanto, es plausible el concebir una aproximación de la habitabilidad mediante sistemas co-evolutivos y co-construidos a través de la vida artificial, para posibilitar más la vida.

5.2. Variables Heurísticas *bottom-top*

Figura 52. Heurísticas bottom-top



A través de las simulaciones se muestra la autoorganización de dimensiones que no se ven, de otras escalas que afectan el cuadrante y de la vida del Humedal Santa María del Lago, estas simulaciones se muestran como poéticas computacionales por lo que el proyecto significa imaginar diversas posibilidades para la vida.

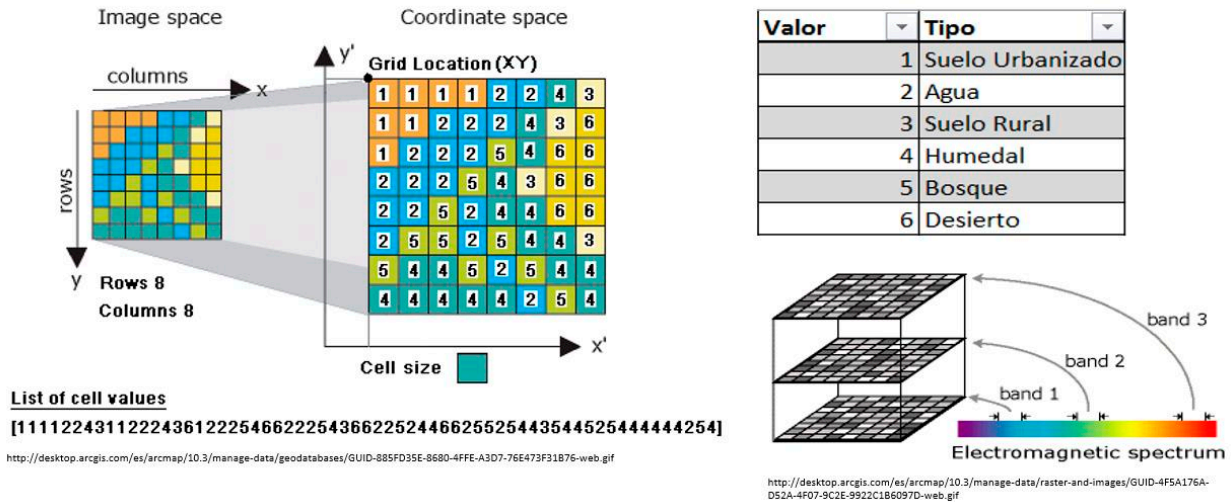
5.3. Paisajes fitness por análisis raster y BIG data para Indicadores espaciotemporales y como método de búsqueda.

Para comprender como fue el desarrollo de la generación de los paisajes fitness cuyo concepto se trabajó en el marco teórico y se expuso en los índices de biomasa y de vegetación, es fundamental ver como los *genotipos* fueron tomados en algunos casos de imágenes raster.

La Imagen Raster, es una matriz de píxeles (o celdas) organizadas en una cuadrícula (de filas y columnas) en la que cada píxel contiene un valor de color (tipo RGB u otros) y coordenadas que

representa información. En la siguiente figura se ve como cada color representa, un tipo de suelo y elemento para un análisis de territorio.

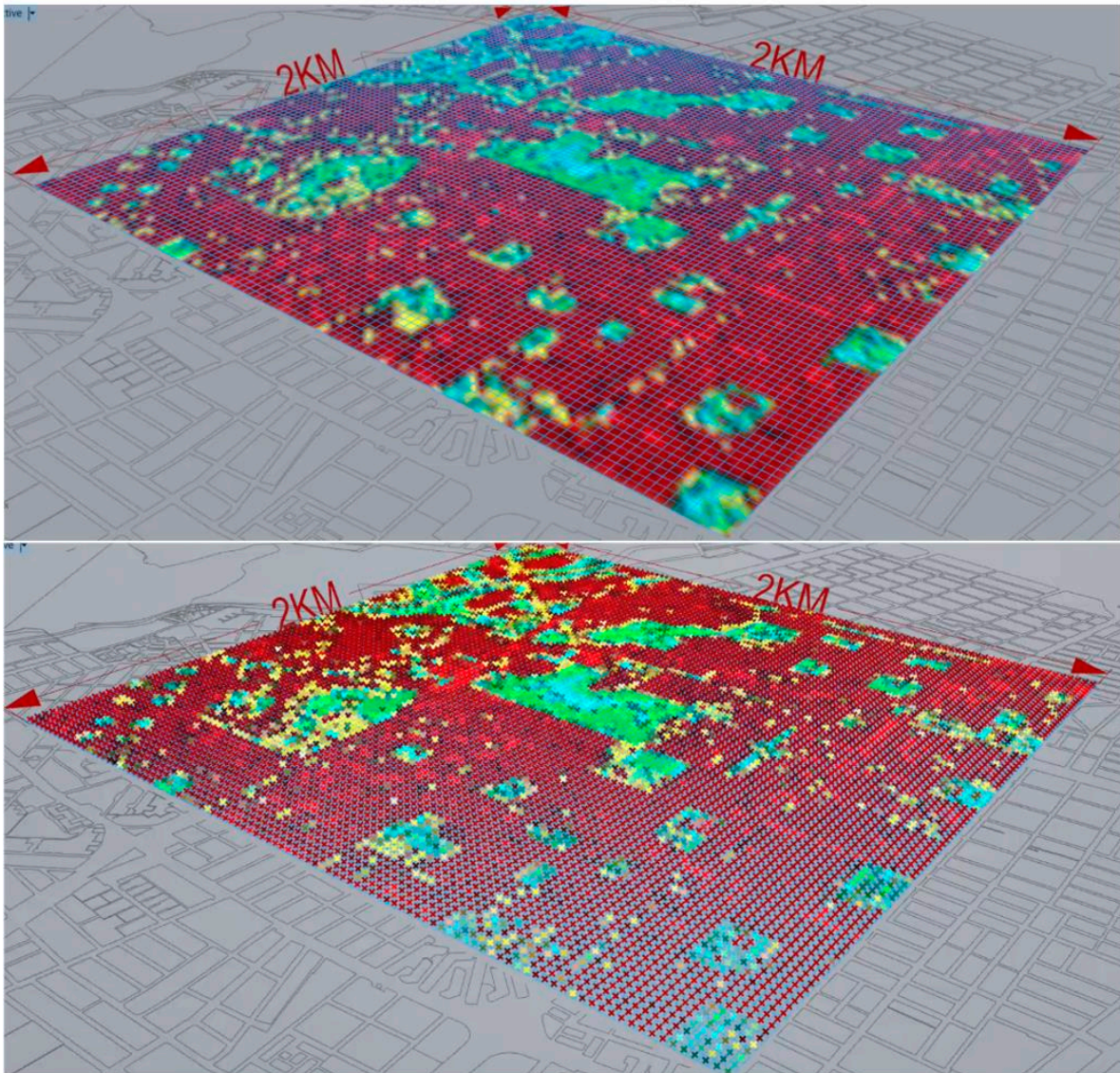
Figura 53. Análisis Imagen Raster.

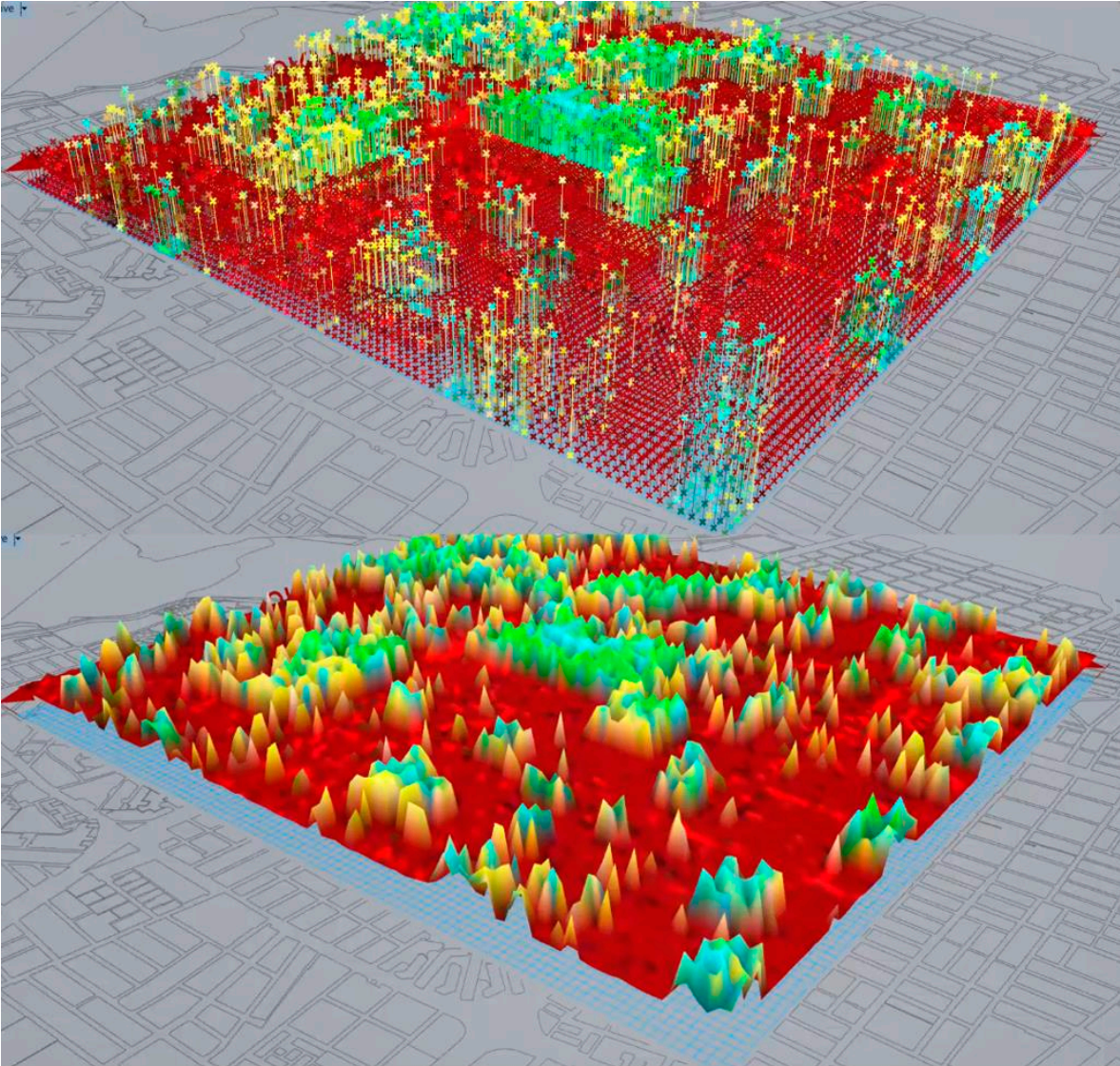


Posteriormente se toma la información de cada pixel y se transfiere a un espacio de genotipos, en los que se toma la información geográfica del pixel y de sus colores y se transfiere a un centroide de cada celda, luego cada centroide representa bajo la función fitness la posible respuesta al problema que se busca, en el siguiente ejemplo se toma el (NDVI), en el cual se busca por las áreas con mayor cantidad, calidad y desarrollo de vegetación. Los resultados generan un paisaje escarpado evidenciando a través de la mayor altura la similitud del genotipo con la respuesta que se estaba buscando.

Arquitectura biocomputacional y evolución de ecosistemas habitables

Figura 54. Proceso de paisaje fitness





Este proceso no solo se aplica para evidenciar ciertas características del caso de estudio, sino que permite recombinar los genotipos de un sistema con otro, para una exploración de los fenómenos de autoorganización espaciotemporal de la zona y otros fenómenos resultantes de las dinámicas urbanas actuales.

5.4. Funciones fitness de sistemas urbanos.

A través del algoritmo previo, se estudian otros sistemas, entre los cuales se incluyen los ya expuestos, estos son:

- Biomasa (Bm)
- Índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI)
- Accesibilidad del sistema vial (C+I)= (AV)
- Saturación de flujo en el sistema vial (SVT)
- Densidad y altura de las edificaciones (D+A)
- Ocupación por Usos del suelo según el horario laboral (OUhl)
- Contaminación auditiva por cuadrantes (CAT)
- Ecuación, A mayor aglomeración espaciotemporal de Personas y productos mayor contaminación ambiental $f(x_1) = f(x_2) f(x_1) = (((D + A)^{OU})^{hl} + AV + (SV^T + CA^T)) \cdot (Bm + NDVI)$

5.4.1. Accesibilidad del sistema vial (C+I)= (AV)

En este se explora a través de la recombinación de genes de la conectividad vial y la integración de las vías simulado previamente a través de la metodología *space syntax*, para hallar la accesibilidad vial al ecosistema y la relación que estas pueden tener con el respecto a un posible flujo vehicular contaminante.

Figura 55. Accesibilidad vial

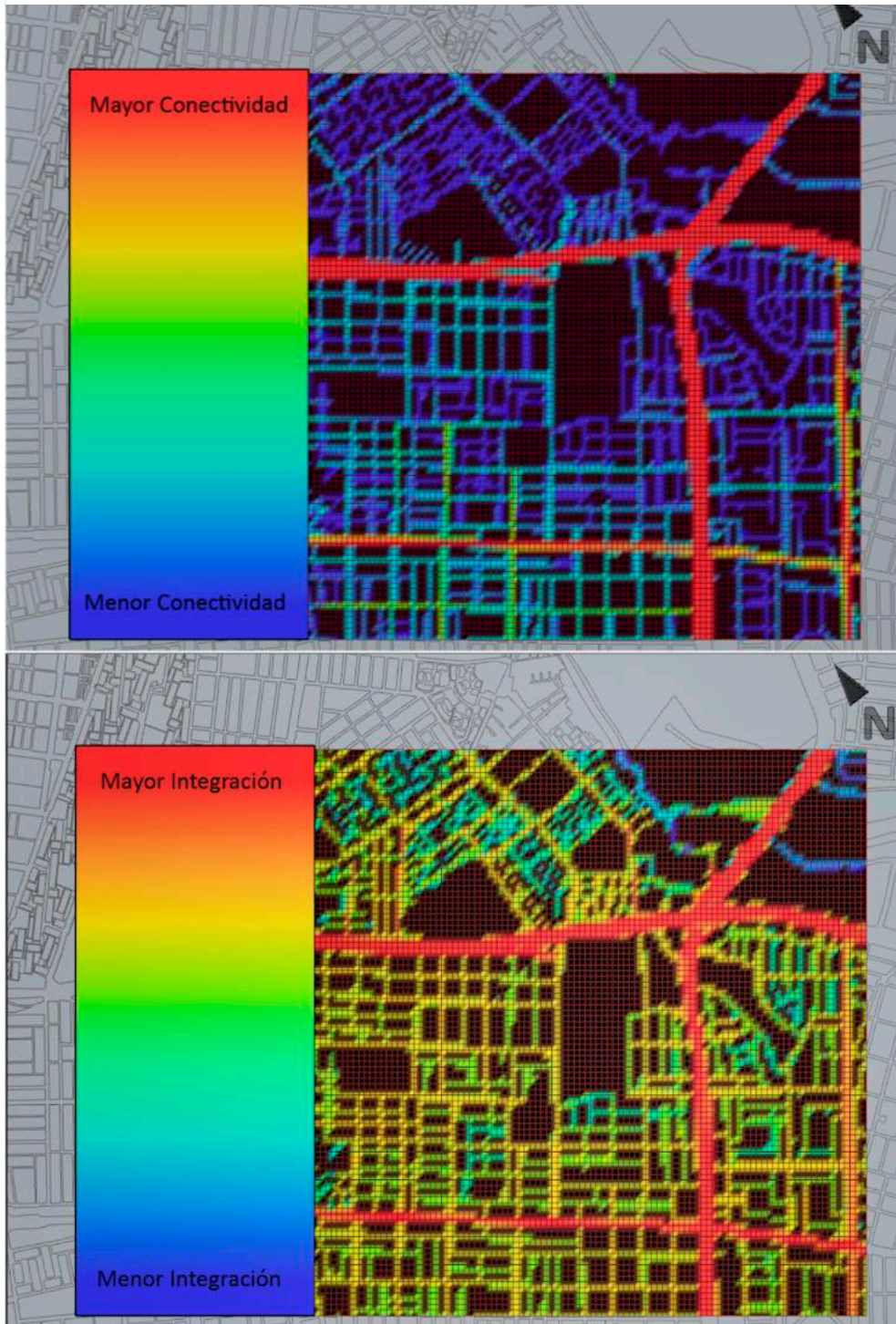
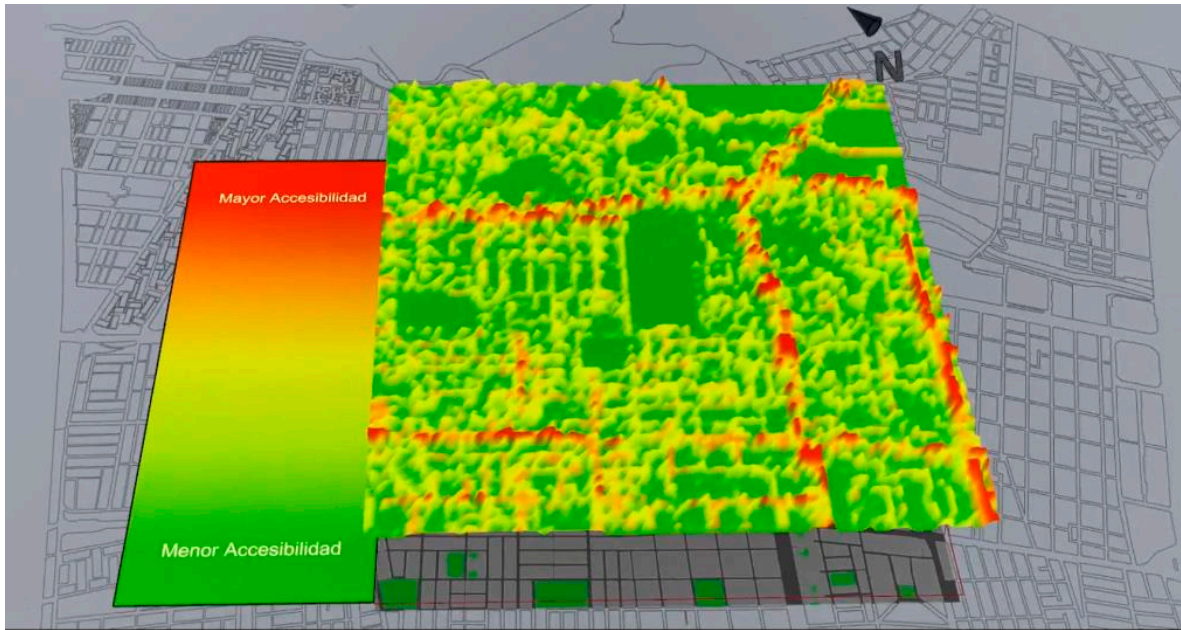


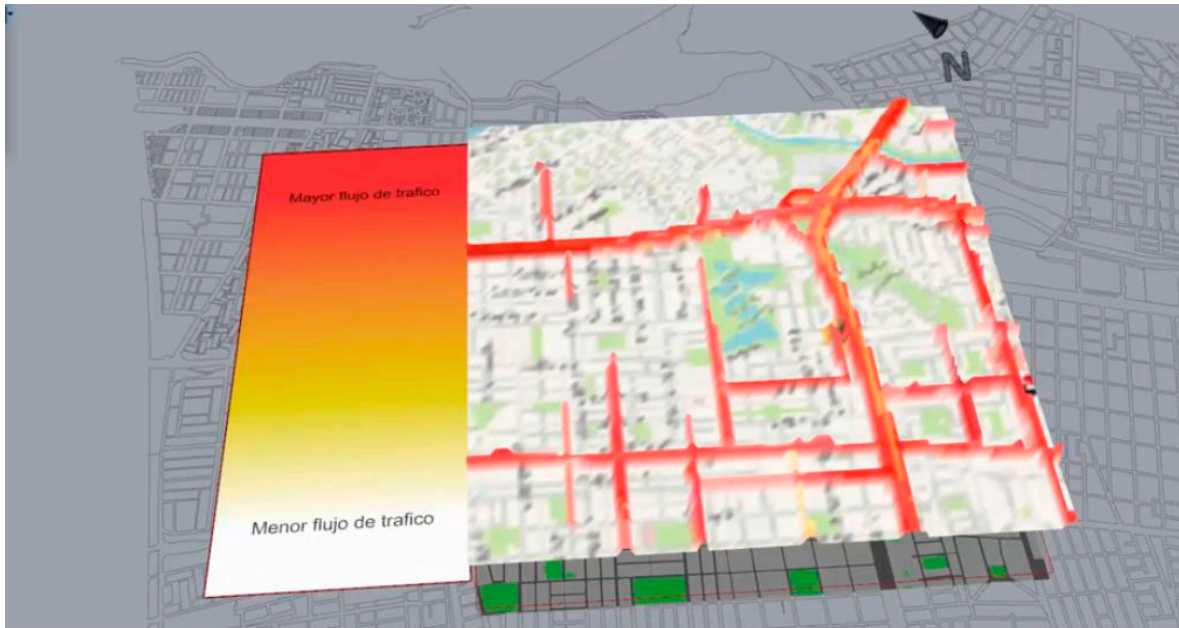
Figura 56. Paisaje fitness accesibilidad vial.



5.4.2. Saturación de flujo en el sistema vial (SVT)

A través de este paisaje se toman datos de waze para evidenciar en comparación a la accesibilidad vías adyacentes que pueden afectar a través de contaminantes y ruidos automotor por el tráfico al humedal.

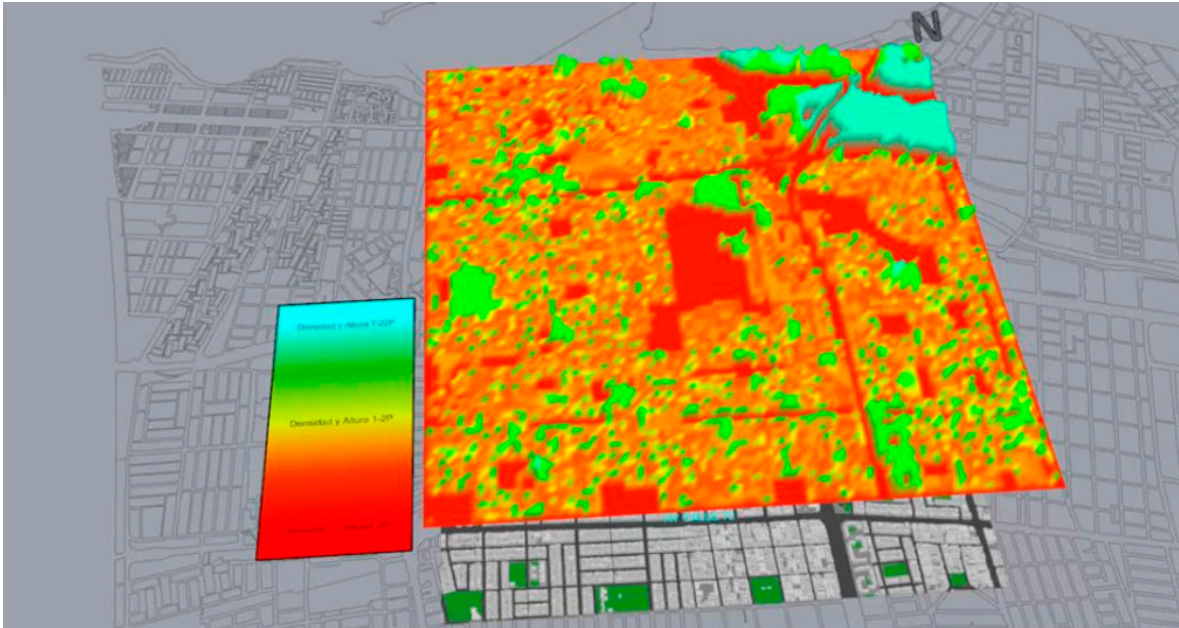
Figura 57. Saturación de flujo en el sistema vial



5.4.3. Densidad y altura de las edificaciones (D+A)

En esta simulación se toman los genes de las edificaciones y su densidad, para evidenciar los cuadrantes con mayores posibles aglomeraciones, y en cuales puede haber mayor concentración y liberación de energía. Se evidencia que adyacente al humedal hay estructuras de una densidad media alta la cual puede afectar el ecosistema.

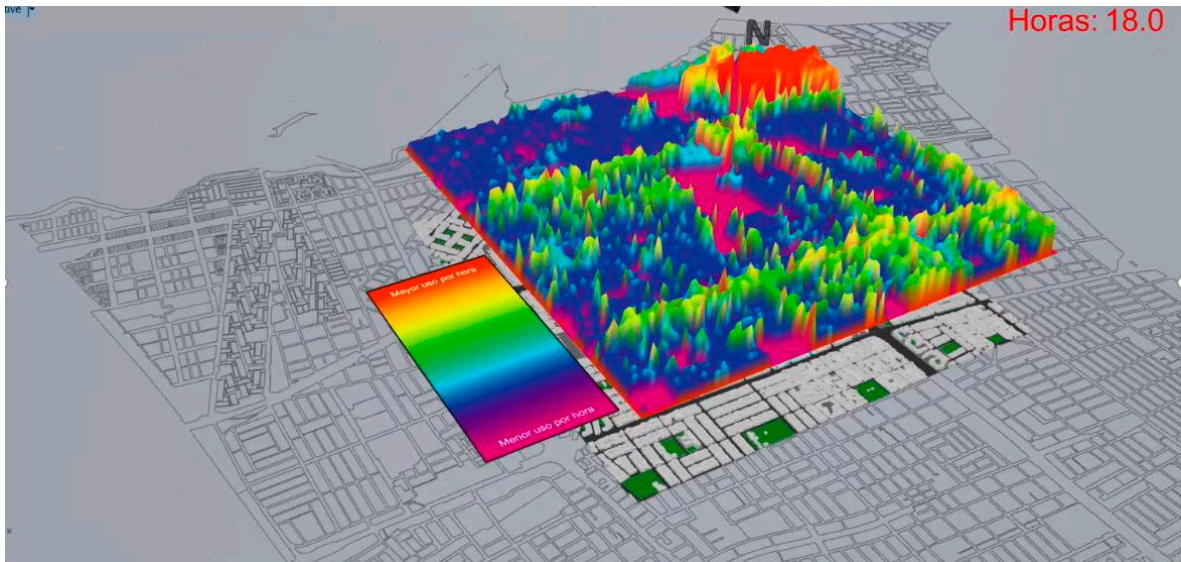
Figura 58. paisaje fitness de densidad y altura de las edificaciones.



5.4.4. Ocupación por Usos del suelo según el horario laboral (OUhI)

En este paisaje, se incluyen mutaciones a través del tiempo puesto que se recombinan los genes de los usos del suelo respecto a los cambios de posibles ocupaciones según el horario laboral, en el que cada uso presenta un valor mayor dependiendo de si las viviendas se desocupan y en el comercio, o áreas industriales, o los equipamientos, se concentra la población o viceversa.

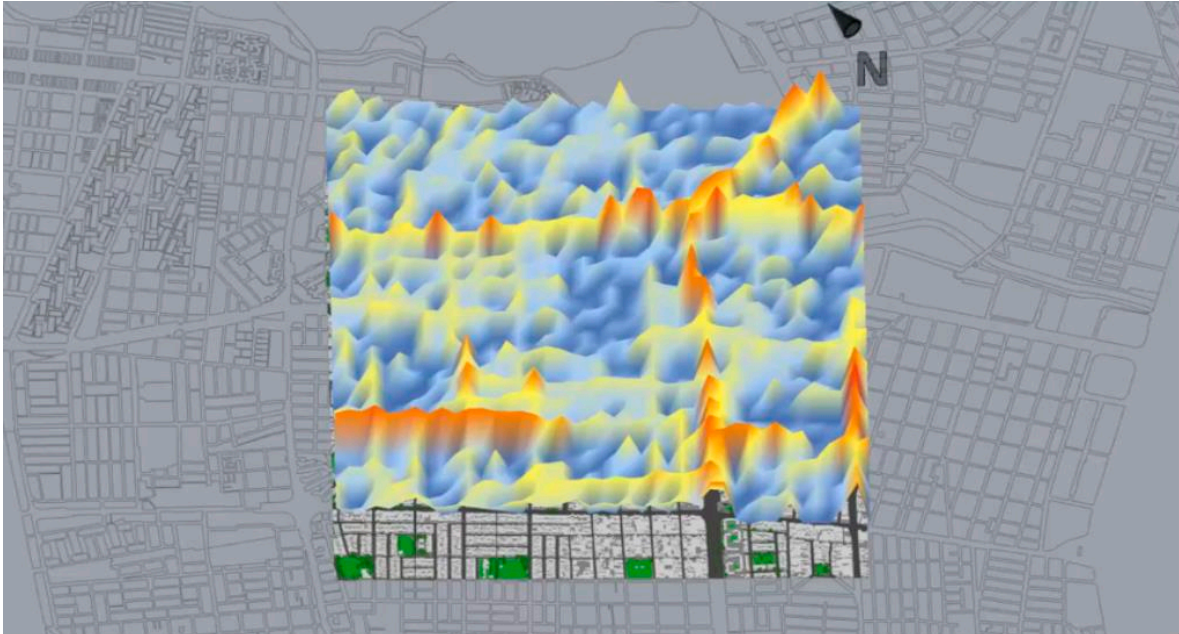
Figura 59. Usos del suelo según el horario laboral.



5.4.5. Contaminación auditiva por cuadrantes (CAT)

En esta se observan los cuadrantes con mayor contaminación auditiva y como las áreas con mayores estructuras arbóreas reducen el sonido, pero de igual forma se ven afectadas.

Figura 60. Contaminación auditiva por cuadrantes.



5.4.6. Ecuación, A mayor aglomeración espaciotemporal de Personas y

productos mayor contaminación ambiental $f(x_1) = f(x_2) f(x_1) =$

$$(((D + A)^{OU})^{hl} + AV + (SV^T + CA^T)) - (Bm + NDVI)$$

Tras las exploraciones anteriores se encontraron patrones respecto a que el sector aunque tenga baja densidad en promedio por m2, presenta una gran aglomeración en los clústers comerciales, de vivienda en altura y en las vías principales adyacentes a estos, lo que impacta de gran forma al ambiente y al humedal.

Por lo que se presenta una formulación respecto a cómo la contaminación atmosférica del sector de estudio ($f(x_2)$) es igualmente proporcional a la concentración espaciotemporal de personas y productos ($f(x_1)$) y corresponde de manera significativa a:

$$f(x_1) = f(x_2)$$

$$f(x_1) = (((D + A)^{OU})^{hl} + AV + (SV^T + CA^T)) - (Bm + NDVI)$$

En la siguiente simulación se toman los genotipos con mayor fitness de cada paisaje fitness explorado, siendo las variables y se recombinan junto con las mutaciones dadas por el tiempo.

Y se compara paralelamente la contaminación atmosférica tomada de los reportes de la estación ambiental de las Ferias, a los picos más altos de aglomeración.

Figura 61. Sumatoria de los genotipos de los paisajes explorados

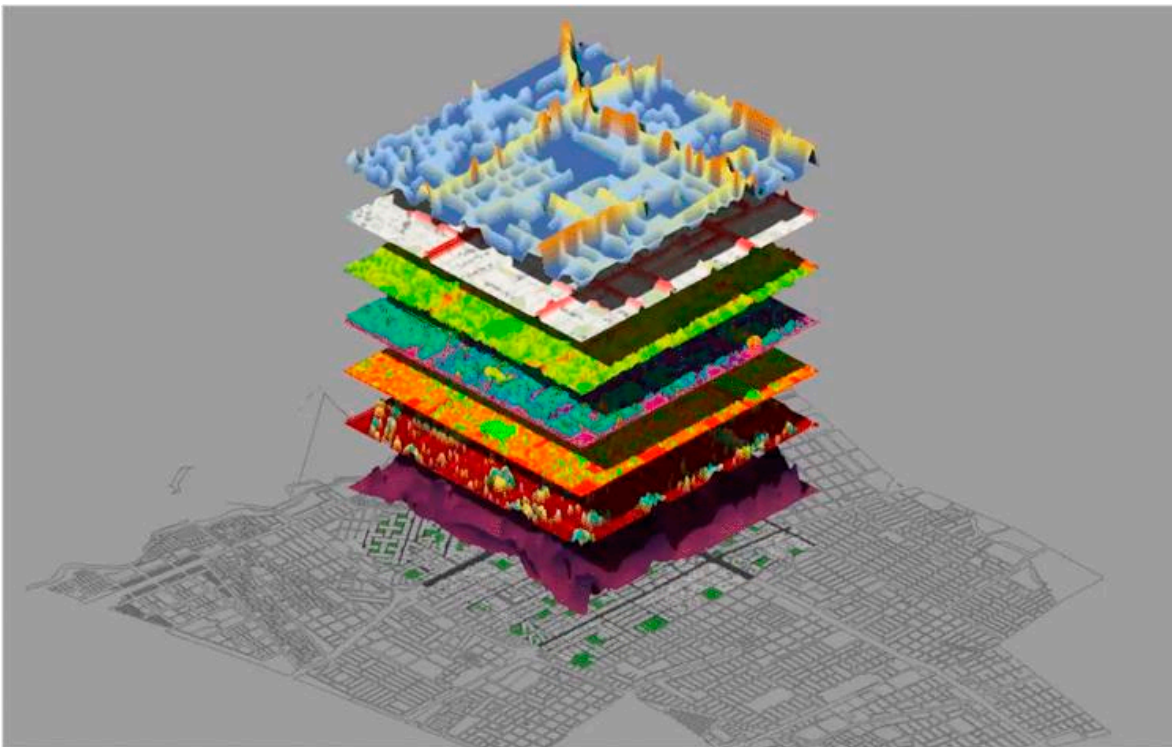
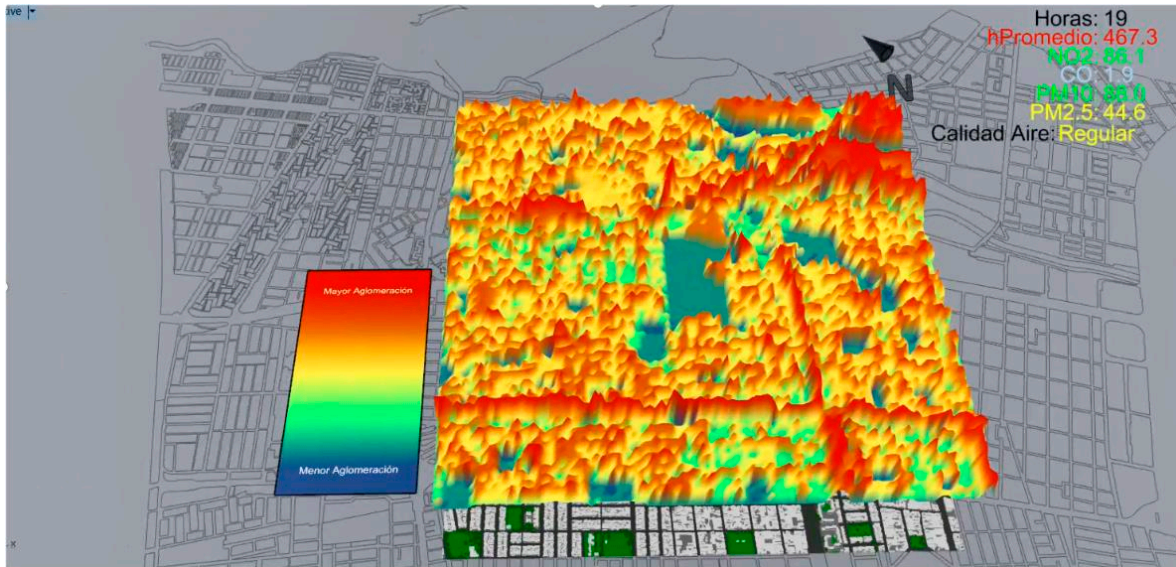


Figura 62. $f(x_1) = f(x_2)$



A través de esta se evidencia que en las horas: 6, 16, 19 hubo una mayor aglomeración de personas, y la contaminación del ambiente aumento, teniendo picos de calidad regular bajo el rango de la RMCAB, aproximándose a mala.

5.4.7. Autómatas celulares como atractores para la expansión del humedal a futuras áreas benefactoras.

Posterior a la previa simulación, se toman y se promedian los picos más altos y esta información se transfiere esa a los pixeles de una imagen raster de Blanco (0), negro (1), para generar como células iniciales una simulación de autómatas celulares de cuadrantes con menor contaminación y autómatas celulares de cuadrantes con mayor contaminación.

Para evidenciar las posibles zonas como atractores del ecosistema Humedal Santamaría del Lago, para su posible expansión, y ayuda a identificar directrices de proyección que apoyará la evolución futura de estas áreas.

Se genera simulación de 12 meses o generaciones del juego de la vida para evidenciar por mes y en promedio un año los posibles atractores de la posible expansión del humedal y trabajar en diversas áreas de autómatas de picos altos de contaminantes posteriormente para reducir la contaminación y llegar a: $f(x_1) \neq f(x_2)$

Se toman los autómatas para generar estados dinámicos complejos con nivel de entropía media del cual emerge la autoorganización y continuación del sistema.

Aparte de identificar los cuadrantes de contaminación también se comprenden las celdas sin encender como posibles adyacentes a de un futuro estado, el cual puede llegar a estar libre de contaminación.

Figura 63. Proceso atumatas1

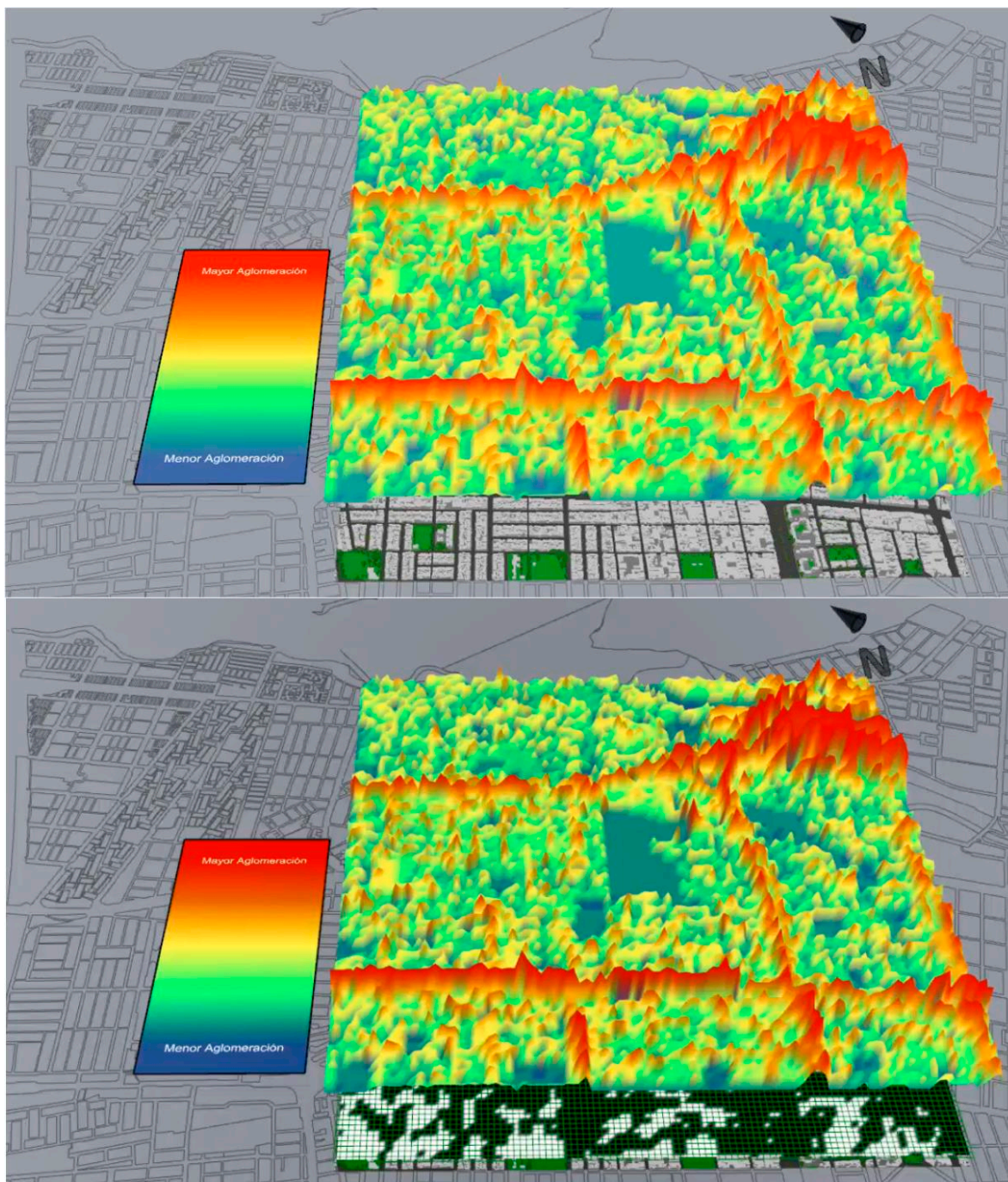
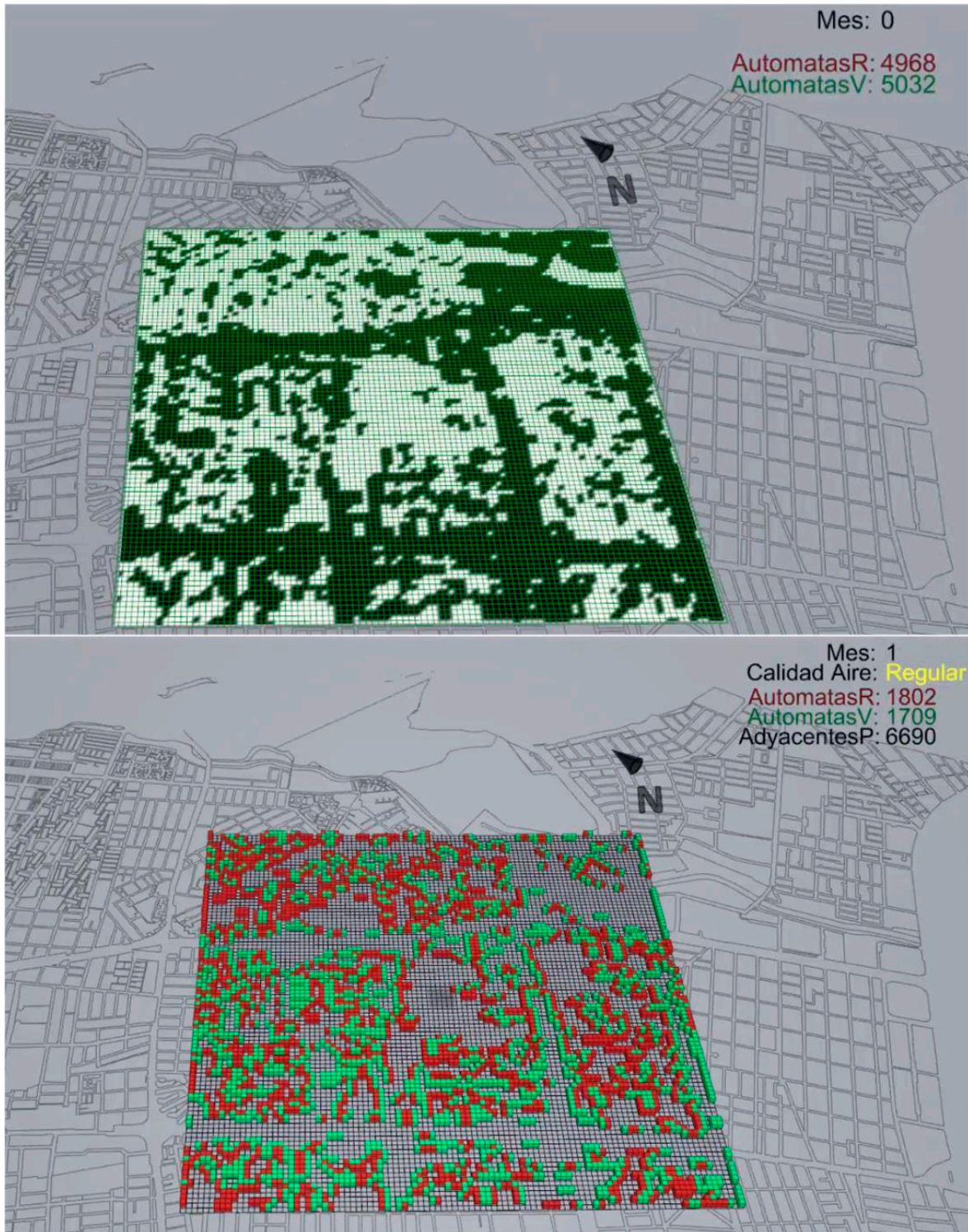


Figura 64. Autómatas 2



5.5. Ecosistema artificial e inteligencia de enjambre.

Estos ecosistemas exploran las diversas interacciones entre 4 tipos de agentes, las aves, las especies terrestres, las micro especies y los peces, se buscan patrones de comportamiento, y al mismo tiempo se mide la población de cada especie, y las redes tróficas entre estas, para una mejor comprensión de sus comportamientos se propone un historial de datos, en el cual se graban sus recorridos.

Figura 65. Ecosistema artificial 1

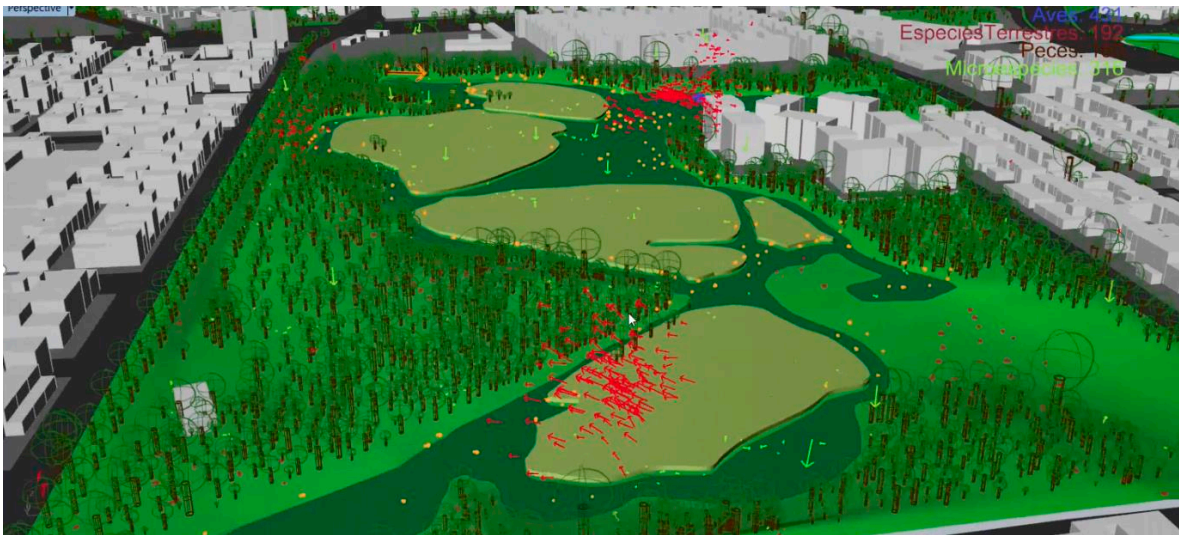
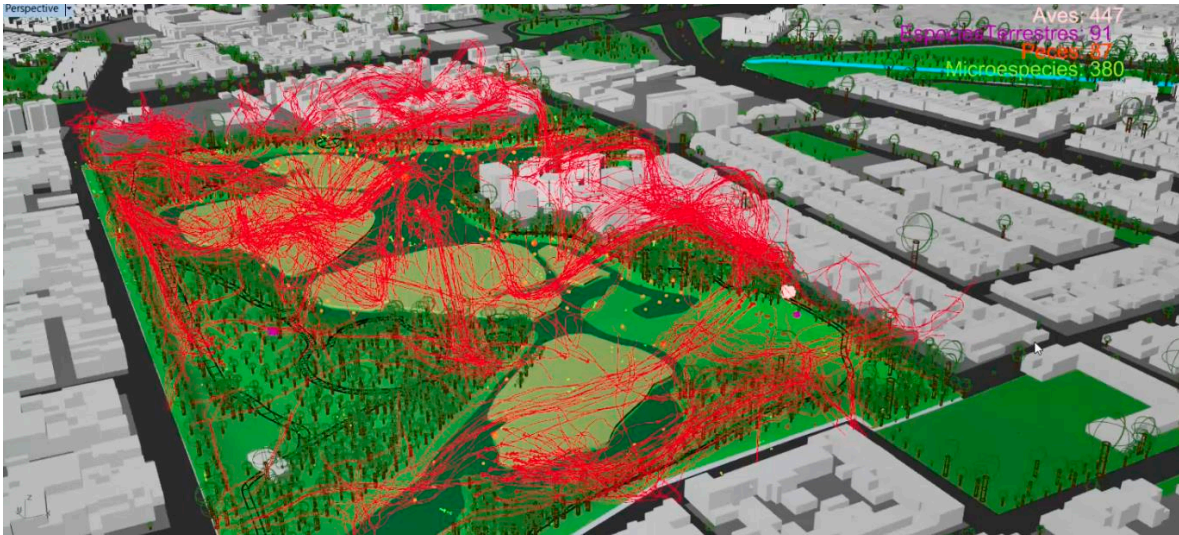


Figura 66. Ecosistema artificial memoria

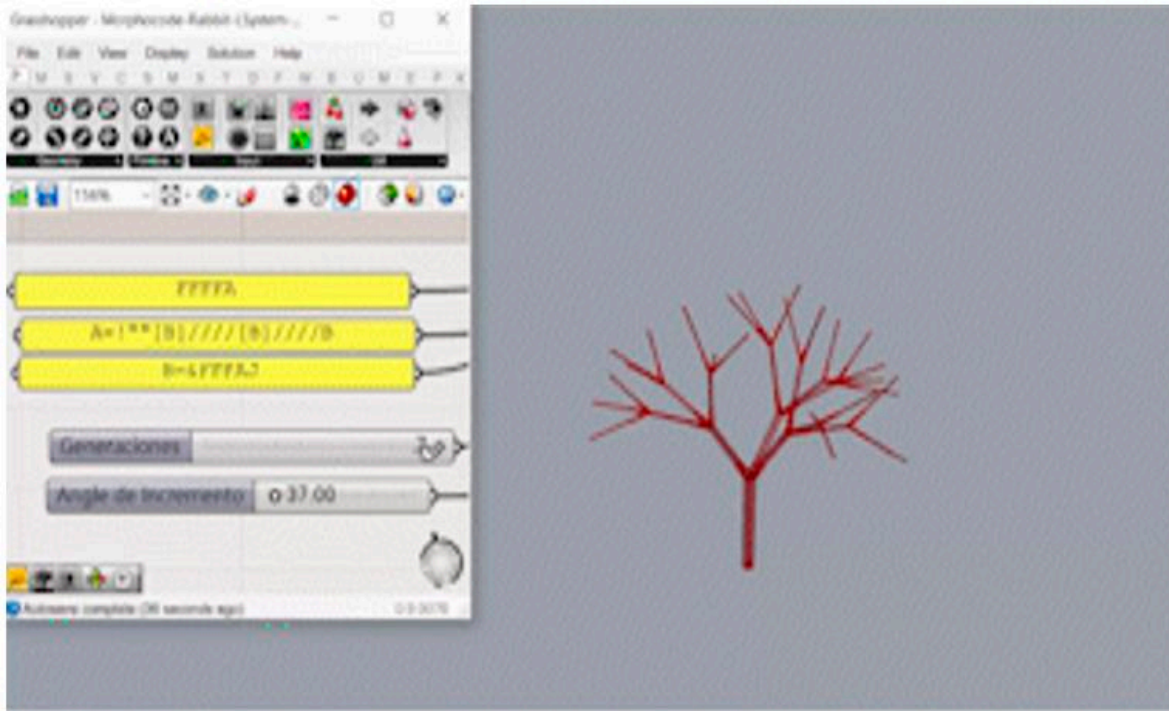


6. Proyecto

6.1. La descomposición de materia orgánica en humedales: la importancia del componente microbiano, sistemas-L y cubiertas verdes

En el Humedal Santa María del Lago el proceso de descomposición puede actuar como sumidero o fuente de nutrientes del sistema, dependiendo de cómo varíen las condiciones ambientales, y bajo los estudios previos, se comprende que la contaminación atmosférica está presente, por lo que se propone una especie de árbol artificial producido a través de los sistemas-L el cual recolecte los gases como el metano y el CO₂ y formar una red de abastecimiento para el contexto más próximo, generando a través de las lógicas de la economía azul un ecobarrio, el cual también pueda propiciar el aumento de vegetación y apoye a expandir el ecosistema del humedal, aumentando la biomasa y reducir la ecuación $f(x1) = f(x2)$.

Figura 67. Sistema-L árbol reciclador de carbono



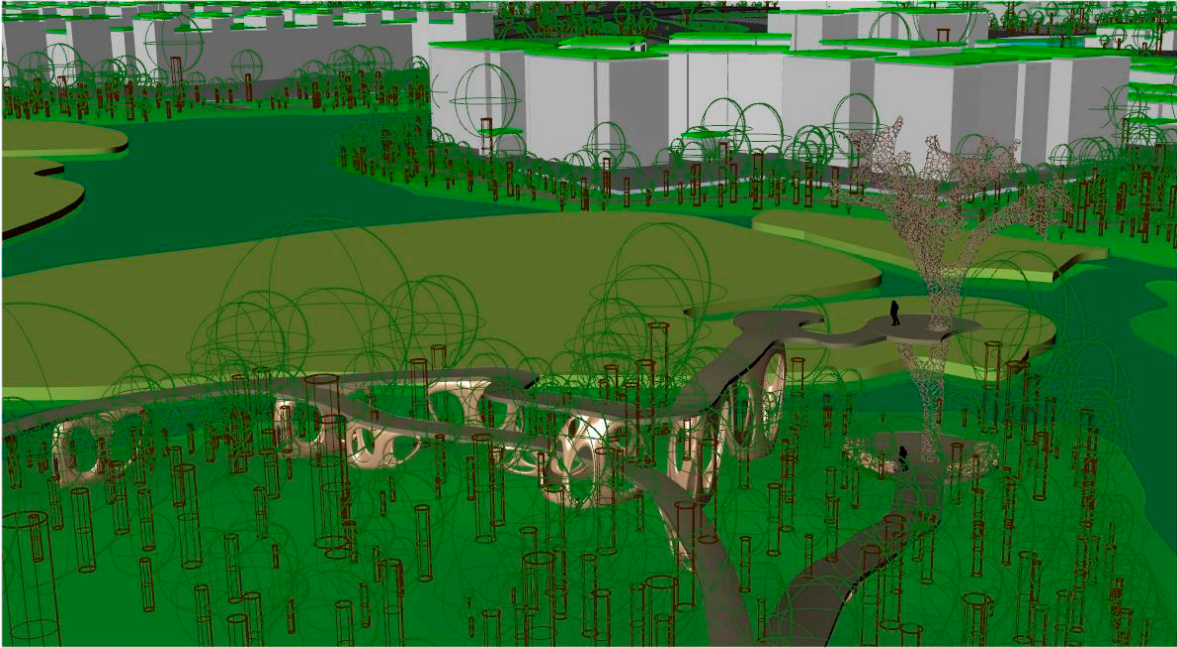
6.2. Estrategias evolutivas para la ampliación del ecosistema

En este punto se plantearán diversas estrategias de la evolución las cuales permiten el desarrollo del humedal y al mismo tiempo producen atractivos para el parque y que sea más reconocido y tome una mayor importancia para que se aprecie el ecosistema que produce.

Tomando los sistemas-L junto con los sistemas de distribución estructural voronoi, y la inteligencia de enjambre se proponen nuevos observatorios para avistamiento de aves y que al mismo tiempo suplan la necesidad de estructuras para anidar. Esto para desarrollar una arquitectura biocomputacional, la cual sea producida por agentes autónomos de vida.

Arquitectura biocomputacional y evolución de ecosistemas habitables

Figura 70. Enjambre, sistema L, Voronoi.



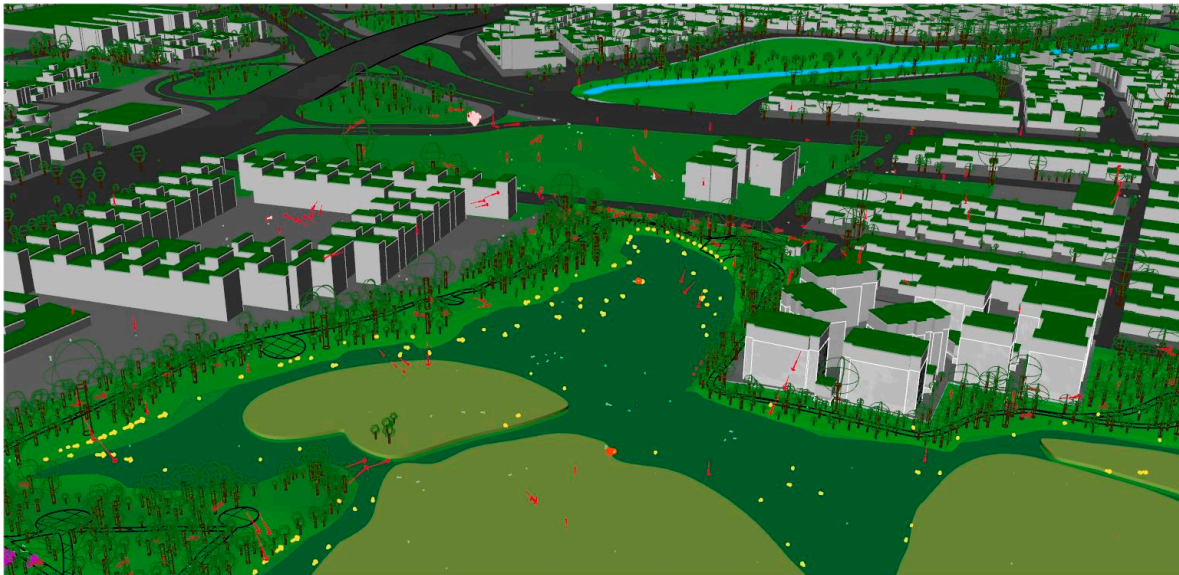
Para la siguiente estrategia se toman los GTIPOS de las estructuras minimales, cuya superficie minimiza localmente su área, y resulta ser una de las estructuras más resistentes entre menor masa posea, junto con los sistemas-L, las estructuras voronoi, y la inteligencia de enjambre para el desarrollo de un ámbito de arquitectura producido por las especies del ecosistema y sus estrategias evolutivas par la habitabilidad de especies humanas como no humanas.

incluyen 13 genes para el desarrollo de las sub-ramas con patrón de ramificación para la estructura interna.

Después de localizar con los agentes las áreas que más afectan el humedal se evidencio que en la zona adyacente al humedal justo al frente de la carrera 73 A, por un bajo índice de biomasa y vegetación, y al encontrarse en este una bomba de gasolina, un concesionario y bodegas, se despejo y devino en conector a través de atractores al ampliar el ecosistema artificial después de la implementación de los techos verde.

Es ahí donde se generó un nodo de conexión para la expansión del Parque Humedal Santamaría del Lago.

Figura 74. Implementación de techos verdes y ampliación de ecosistema



Arquitectura biocomputacional y evolución de ecosistemas habitables

Figura 75. Formación de nodo de conexión

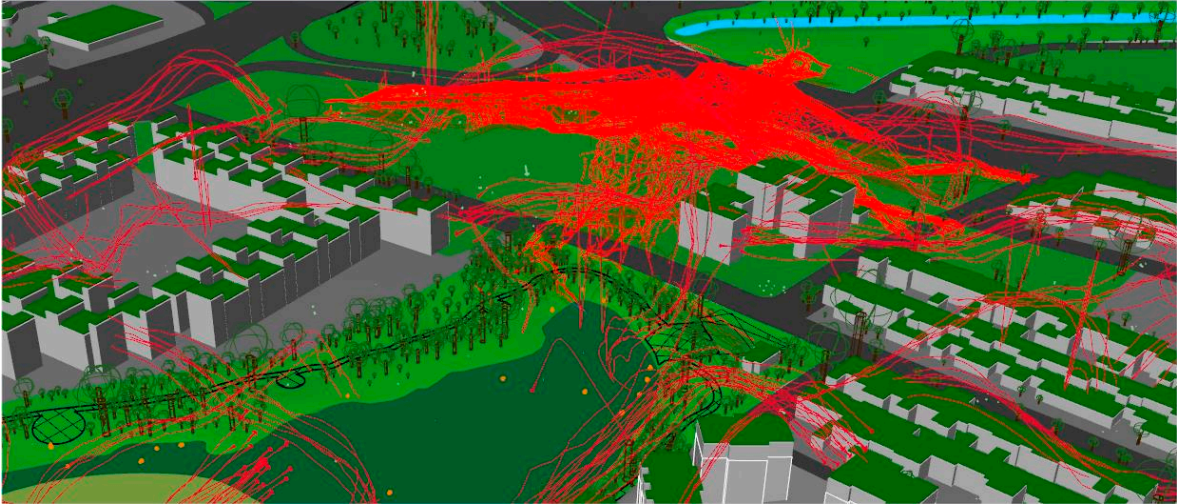


Figura 76. abstracción matemática de los recorridos.

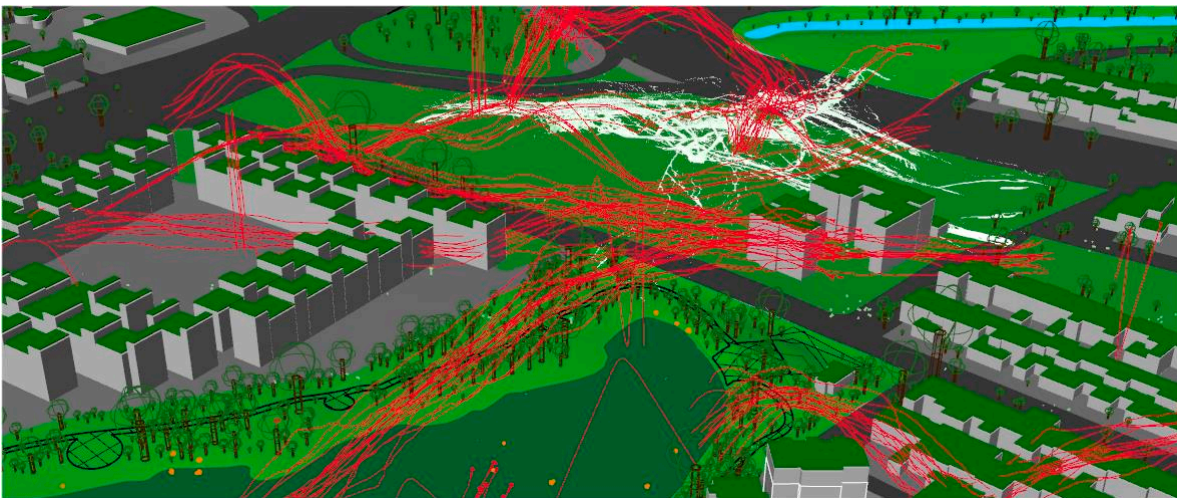
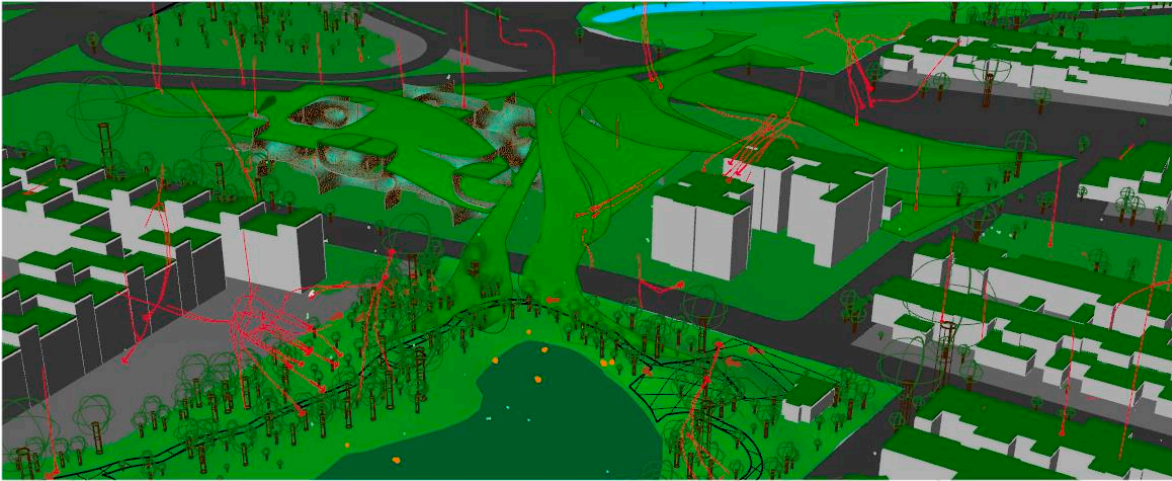


Figura 77. Hibridación entre nodos y estrategias de superficie minimal.



Se halló que cuando se genera una continuidad a través de la biomasa y la vegetación se aumentan las posibilidades de vida a través de la arquitectura biocomputacional, y del cambio para promover los ecosistemas biodiversos en los cuales se puede entrar en una sostenibilidad simbiótica entre especies humanas y no humanas, todo con base en la aplicación de las ciencias de la complejidad y las estrategias evolutivas.

<https://www.youtube.com/watch?v=4wNWxuHDUFw>

6.3. Para una futura continuación del proyecto.

Si se quisieran aumentar las posibilidades de los algoritmos y afinarse, se puede generar estudios a través de wetwares, en el sentido en el que a través de softwares y sensores en las especies del carbono del humedal se podría tener una minería de datos y análisis de patrones más precisos. Y propiciar la posibilidad de especies cyborg.

Figura 78 posibles implementaciones de sensores y del internet de las cosas con GPS y altímetros

Información en datos de los habitantes

Implantación de diversos sensores en el área del humedal para la recolección de datos para la generación de variables (cromosomas) para los algoritmos genéticos.

-Ambientales:

- Luz
- Temperatura
- Humedad
- De gases
- PH

-Movimiento

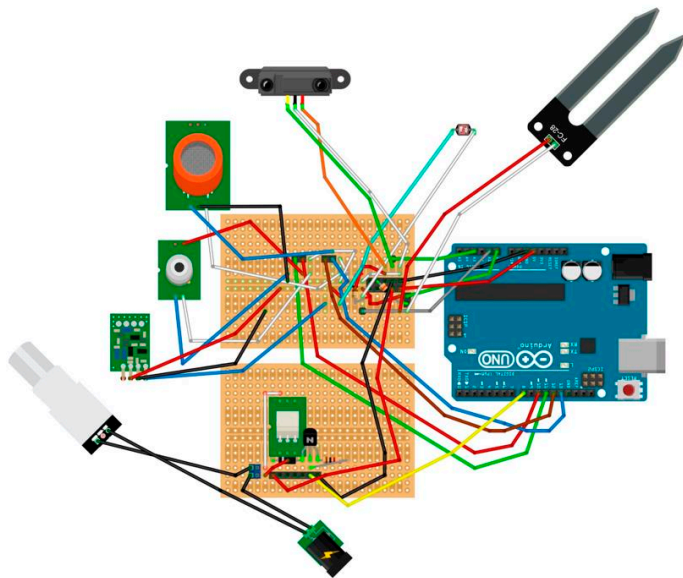
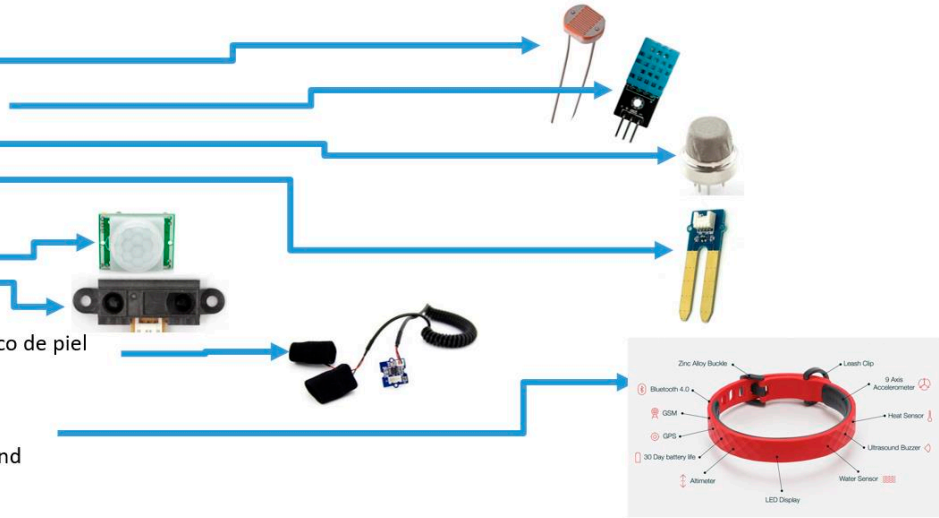
-Proximidad

-Sensoriales:

- Sensor galvánico de piel (a futuro)

-Localización:

- IOT Narrow band [kyontracker](#). (a futuro)



fritzing

7. Fuentes

7.1. Bibliografía

Álvarez, S. 2005. "La Descomposición De Materia Orgánica En Humedales: La Importancia Del Componente Microbiano." *Revista Ecosistemas* 14 (2): 17.

Álvarez-León, R. (2009). Notas sobre la avifauna del humedal santa maría del lago, cordillera oriental de los andes colombianos. *Revista Luna Azul*, 28, 24.

Amirghasemi, Mehrdad and Reza Zamani. 2013. "The Roles of Evolutionary Computation, Fitness Landscape, Constructive Methods and Local Searches in the Development of Adaptive Systems for Infrastructure Planning. in: International Symposium for Next Generation Infrastructure." Wollongong, October 1-4.

Andrade, German I. 1998. "Los Humedales Del Altiplano De Cundinamarca y Boyacá, Ecosistemas En Peligro De Desaparecer." In *Una Aproximación a Los Humedales En Colombia*, edited by Eduardo Guerrero, 59. Bogotá D.C.: Guadalupe Ltda.

Biloria, Nimish. 2008. "Morphogenomic Urban and Architectural Systems: An Investigation into Informatics Oriented Evolution of Form: The Case of the A2 Highway." Minneapolis, Minnesota: University of Minnesota, USA, 2008.

Blanco, Daniel E. 1999. "Los Humedales Como Hábitat De Aves Acuáticas." In *Temas Sobre Humedales Subtropicales y Templados De Sudamerica*, edited by Ana Inés Malvárez. <http://unesdoc.unesco.org/images/0015/001502/150270s.pdf> ed., 219. Montevideo, Uruguay: Oficina Regional de Ciencia y Tecnología de la UNESCO para América Latina y el Caribe.

Arquitectura biocomputacional y evolución de ecosistemas habitables

Castellanos, C. A. (2002). Los ecosistemas de humedales en Colombia. *Revista Luna Azul*, 7, 45.

Chu, Karl S. 2005. "Metafísica De La Arquitectura Genética y La Computación." In *Arquitecturas Genéticas II: Medios Digitales y Formas Orgánicas.*, edited by Alberto T. Estévez, 132-180.

Barcelona, España: ESARQ (UIC) / SITES Books.

City Noticias "Historia Central" Entrevista a Secretario De planeación Andrés Ortiz Gómez. Canal Citytv. Directed by Citytv. Colombia: 8:47am,31, Mayo, 2017.

Costa, Mauro. 2009. "La "bio-Lógica" y Los Paradigmas De La Era Digital." In *Arquitecturas Genéticas III: Nuevas Técnicas Biológicas y Digitales.*, edited by Alberto T. Estévez, 4-33. Barcelona, España: ESARQ (UIC) / SITES Books.

Departamento Administrativo del Medio Ambiente (DAMA), Alcaldía Mayor de Bogotá D.C. 2000. *Historia De Los Humedales De Bogotá Con Énfasis En Cinco De Ellos.* Bogotá D.C.

Dollens, Dennis. 2009. "Naturaleza Digital, eTrees y Arquitectura Generativa." In *Arquitecturas Genéticas III: Nuevas Técnicas Biológicas y Digitales.*, edited by Alberto T. Estévez, 94-115.

Barcelona, España.: ESARQ (UIC) / SITES Books.

Estévez, Alberto T. 2009. "Arquitecturas Genéticas." In *Arquitecturas Genéticas III: Nuevas Técnicas Biológicas y Digitales*, edited by Alberto T. Estévez, 14-33. Barcelona, España: ESARQ (UIC) / SITES Books.

———. 2009. "Introducción." In *Arquitecturas Genéticas III: Nuevas Técnicas Biológicas y Digitales.*, edited by Alberto T. Estévez, 5-13. Barcelona España: ESARQ (UIC) / SITES Books.

Friedman, Yona. "Yona Friedman Wishes to Inspire Young(Er) People with His Ideas and Views!", accessed 06/04, 2017, <http://www.yonafriedman.nl/>.

Gómez Cruz, Nelson Alfonso. 2013. Vida Artificial: Ciencia e Ingeniería De Sistemas Complejos. 1st ed. Bogotá, Colombia: Editorial Universidad del Rosario.

Haraway, Donna J. 1991. "A Cyborg Manifesto: Science, Technology, and Socialist-Feminism in the Late Twentieth Century." Chap. 8, In *Simians, Cyborgs, and Women: The Reinvention of Nature*, edited by Donna J. Haraway, 149-181. New York, USA: Routledge.

Holland, John H. 1992. "Complex Adaptive Systems." *Daedalus, A New Era in Computation* 121 (1): 17-30.

Hospital de Engativá, Secretaría Distrital de Salud, Distrito Capital de Bogotá D.C. 2010.

Diagnóstico Local Con Participación Social: Localidad 10 Engativá. Bogotá D.C

Kauffman, Stuart. 2003. *Investigaciones, Complejidad, Autoorganización y Nuevas Leyes Para Un Biología General [Investigations]*. Translated by Luis Enrique de Juan. 1ª. ed. ed. Barcelona, España.: Tusquets Editores.

Lahoz-Beltrá, Rafael. 2004. *Bioinformatica, Simulación Vida Artificial e Inteligencia Artificial*.

España: Ediciones díaz de Santos.

Langton, Christopher G. 1986. "Studying Artificial Life with Cellular Automata." *Physica D:*

Nonlinear Phenomena 22 (1–3): 120-149.

López Arévalo, Hugo F., Olga L. Montenegro, and Luisa F. Liévano Latorre. 2014. *ABC De La Biodiversidad*, edited by Universidad Nacional de Colombia - Facultad de Ciencias, Jardín Botánico José Celestino Mutis. Bogotá D.C.

Arquitectura biocomputacional y evolución de ecosistemas habitables

Maldonado, Carlos Eduardo. 2005. "HEURISTICA Y PRODUCCIÓN DE CONOCIMIENTO NUEVO. En La Perspectiva CTS." In *Estética, Ciencia y Tecnología. Creaciones Electrónicas y Numéricas*, edited by Iliana Hernández, 98-127. Bogotá, D.C.: Pontificia Universidad Javeriana.

Mashayekhi, Morteza, Abbas Golestani, Yasaman Majdabadi Farahani, and Robin Gras. 2014. "An Enhanced Artificial Ecosystem: Investigating Emergence of Ecological Niches." *Artificial Life* 14: 693-700.

Mauno Rönkkö. 2007. "An Artificial Ecosystem: Emergent Dynamics and Lifelike Properties." *Artificial Life* 13 (2): 159-187.

Naranjo, Luis Germán. 1998. "Avifauna Acuática Residente y Migratoria En Colombia." In *Una Aproximación a Los Humedales En Colombia*, edited by Eduardo Guerrero, 49. Bogotá D.C.: Guadalupe Ltda.

NASA Scientific Visualization Studio. "Global Temperature: TIME SERIES: 1884 to 2016.", accessed 20/16, 2017, <http://climate.nasa.gov/vital-signs/global-temperature/>.

Nelson, Gareth and Norman I. Platnick. 1981. *Systematics and Biogeography: Cladistics and Vicariance*. 1st ed. New York, U.S.A.: Columbia University Press.
https://content.ucpress.edu/chapters/nelson_systematics_and_biogeography.pdf.

OAB, Observatorio Ambiental de Bogotá. "Indicador De Material Particulado Inferior a 10 Micras { μ } Promedio Anual- PM10.", last modified 2017, accessed 02/20, 2017, <http://www.oab.ambientebogota.gov.co/es/indicadores?id=1&v=l>.

———. "Indice Bogotano De Calidad Del Aire.", accessed 02/20, 2017, <http://oab.ambientebogota.gov.co/es/indicadores?id=43>.

Observatorio Ambiental de Bogotá. "Indicador De Material Particulado Inferior a 10 Micras { μ } Promedio Anual- PM10 .", accessed 02/20, 2017,
<http://www.oab.ambientebogota.gov.co/es/indicadores?id=1&v=l>.

Partanen, Jenni. 2017. "An Urban Cellular Automata Model for Simulating Dynamic States on a Local Scale." *Entropy* 19 (1).

Preshoff, Kim. "Ted Ed: Why is Biodiversity so Important?", accessed 02/14, 2017,
<http://ed.ted.com/lessons/why-is-biodiversity-so-important-kim-preshoff>.

Ramsar. "La Convención De Ramsar y Su Misión.", accessed 02/22, 2017,
<http://www.ramsar.org/es/acerca-de/la-convenci%C3%B3n-de-ramsar-y-su-misi%C3%B3n>.

———. "La Importancia De Los Humedales.", accessed 02/22, 2017,
<http://www.ramsar.org/es/acerca-de/la-importancia-de-los-humedales>.

Roggema, Rob. 2013. *Swarm Planning: The Development of a Planning Methodology to Deal with Climate Adaptation*. New York: Springer.

Schulze, Ernst-Detlef, Erwin Beck, and Klaus Müller-Hohenstein. 2005. *Plant Ecology [Pflanzenökologie/Plant Ecology]*. Translated by FIL Gudrun Lawlor, Dr. Kirsten Lawlor and Dr. David Lawlor, edited by Heidelberg Dr. Dieter Czeschlik. Alemania: Springer.

Secretaría de Planeación, Distrito Capital de Bogotá D.C. 2011. *21 Monografías De Las Localidades De Bogotá D.C., Localidad #10 Engativá, Distrito Capital De Bogotá D.C. Bogotá D.C.:*

———. 2009. *Conociendo La Localidad De Engativá: Diagnostico De Los Aspectos Físicos, Demográficos y Socioeconómicos. . Bogotá*

D.C.<http://www.sdp.gov.co/portal/page/portal/PortalSDP/InformacionEnLinea/InformacionDescar>

Arquitectura biocomputacional y evolución de ecosistemas habitables

gableUPZs/Localidad%2010%20Engativ%E1/Monografia/10%20Localidad%20de%20Engativ%E1.pdf.

———. 2009. Conociendo La Localidad De Suba: Diagnostico De Los Aspectos Físicos, Demográficos y Socioeconómicos. Bogotá D.C.

———. 2004. Recorriendo Engativá: Diagnóstico Físico y Socioeconómico De Las Localidades De Bogotá D.C. Bogotá D.C.

Secretaría Distrital de Ambiente, Distrito Capital de Bogotá D.C. 2016. Informe Anual De La Red De Monitoreo De Calidad De Aire De Bogotá D.C. (RMCAB) Año 2015. Bogotá D.C.

———. 2010. "3. Caracterización." In Plan De Manejo Ambiental Del Parque Ecológico Distrital De Humedal Santa María Del Lago, 8. Bogotá D.C.

———. 2010. "5. Zonificación." In Plan De Manejo Ambiental Del Parque Ecológico Distrital De Humedal Santa María Del Lago, 61. Bogotá D.C.

———. "Estación De La Red De Monitoreo De Calidad De Aire De Bogotá (RMCAB). Ubicada En La Avenida Calle 80 # 69Q-50, Las Ferias.", accessed 02/20, 2017, <http://201.245.192.252:81/>.

Solà-Morales, Ignasi de. 2001. "Arquitectura Líquida." DC Papers Revista De Crítica i Teoria De l'Arquitectura 5 (6).

Teitelbaum, Daniel T. 2012. "Introducción a La Toxicología: Ocupacional y Ambiental." Chap. 56, In FARMACOLOGIA BASICA Y CLINICA A Lange Medical Book, edited by Bertram G. Katzung. 12th ed., 1001. México: McGraw-Hill-Lange Medical Publications.

Truco, Jordi and Sylvia Felipe. 2005. "Estrategias Evolutivas De Proyecto: Working on Genr (8)." In *Arquitecturas Genéticas II: Medios Digitales y Formas Orgánicas*, edited by Alberto T. Estévez, 82-91. Barcelona, España: ESARQ (UIC) / SITES Books.

tut tiempo.net. "Datos Reportados Por La Estación Meteorológica: 802220 (SKBO).", accessed 03/01, 2017, http://www.tut tiempo.net/clima/Bogota_Eldorado/2010/802220.htm.

Vallverdú, Jordi. 2013. *¡Hasta La Vista, Baby! Un Ensayo Sobre Los Tecnopensamientos*. Barcelona, España: Anthropos.

Willis, A. J. 1997. "The Ecosystem: An Evolving Concept Viewed Historically." *Functional Ecology* 11 (2): 268.

World Resources Institute. 2005. *Los Ecosistemas y El Bienestar Humano: Humedales y Agua. Informe De Síntesis*, Washington, D.C.

Anexos:

Plancha 1

Plancha 2

Videos:

Biomasa

Paisaje fitness

Accesibilidad1

Flujo waze

Densidad-altura

Usos

Ruido

Fx1

Urban game of life

Urban game of life3

Manzanas afectadas1

Ecosistema1

Ecosistemamemoria1

L-system

arbolvoronoi

Voronoi

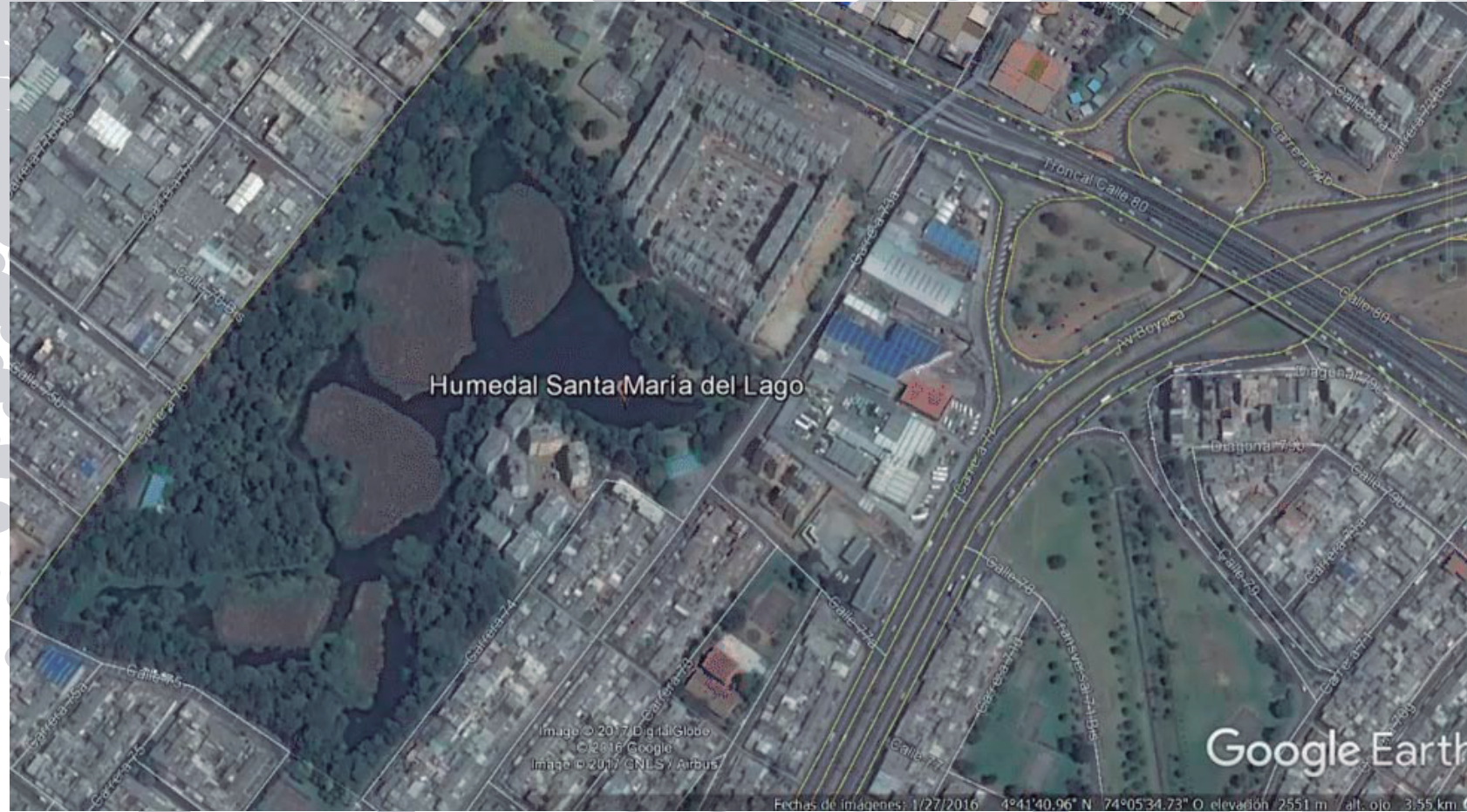
videofinal_1

Este trabajo **teórico-experimental** se enfoca en la investigación a través de diversas disciplinas de nuevas formas de análisis y proyecciones de la arquitectura biocomputacional bajo una metodología heurística transversal en:

Modelaciones y simulaciones

Para pensar en mundos posibles

Caso de estudio: Humedal Santa María del Lago



Extensión : 10.8 ha
Espejo de agua: 5.64 ha

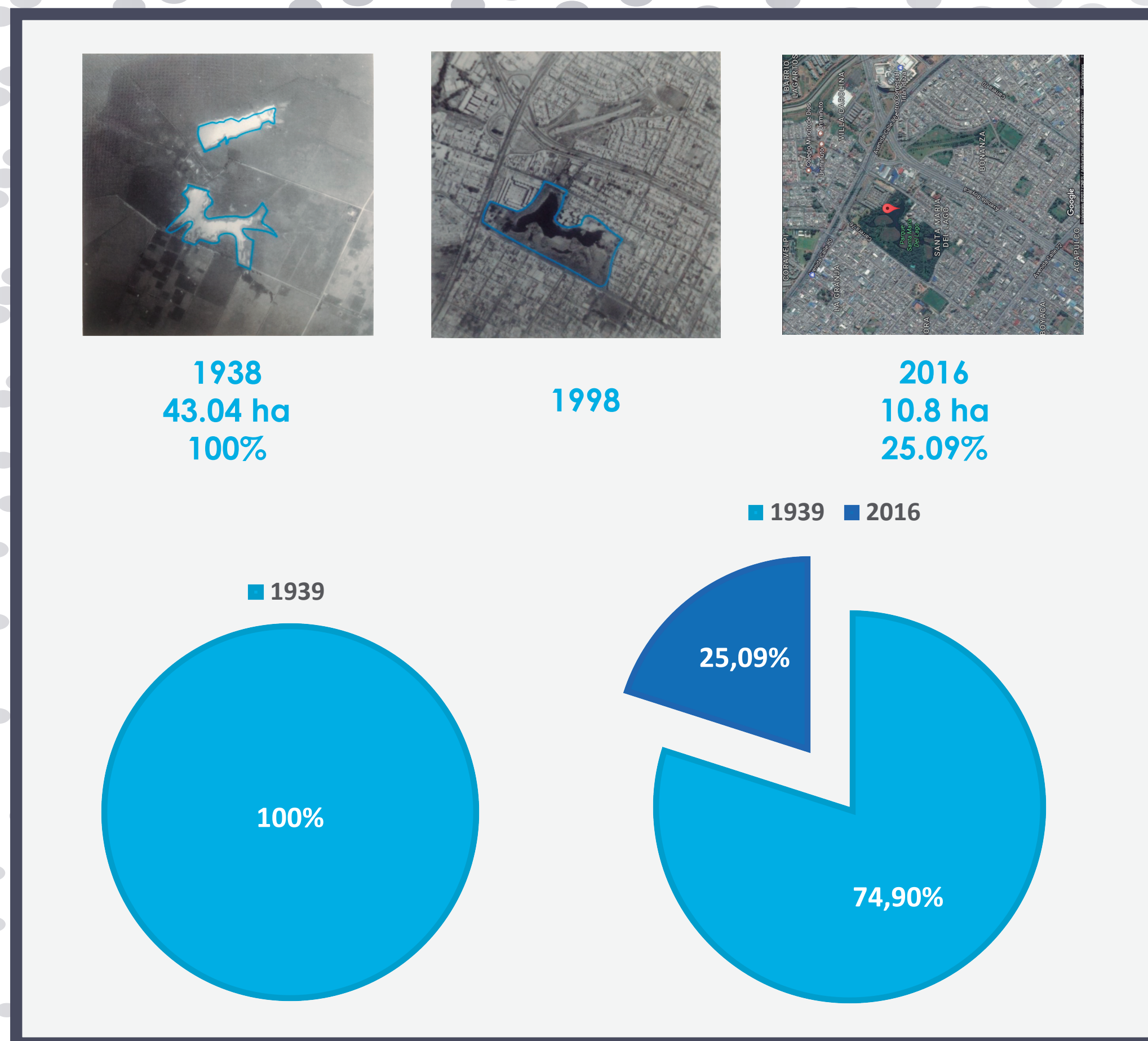
Problema

El daño al humedal Santa María del Lago obedece a procesos de urbanización desde la implementación de modelos clásicos de planeación cuya materialización extingue ecosistemas, al no tener presente variables ambientales, de aglomeración humana e interacciones no humanas.

No hay solución definitiva, puesto que el problema va evolucionando paralelo a la plausibilidad de la solución.

La ciudad y los ecosistemas son un problema NP y los cuales no pueden ser determinados, ni resueltos desde una sola solución. Puesto que el problema cuenta con variables cambiantes e indeterminadas.

>>Afectación



>> Debilitamiento urbano y otras causas de contaminación del Humedal Santa María del Lago.

- * Aislamiento del ecosistema
- * Políticas clásicas de delimitación catastral
- * Calentamiento y efecto invernadero, producidas por dinámicas urbanas y estructuras arquitectónicas con materiales y metodologías clásicas.
- * Lógicas de la «economía verde»
- * Perturbación de la flora y fauna por contaminación en el aire (por partículas PM10, PM2.5, NO2 (dióxido de nitrógeno) y CO (monóxido de carbono) las cuales lo secan, estresa a las especies que lo habitan y las enferma.
- * Perturbación de la fauna por ruido del tráfico automotor
- * Aglomeración, contaminación y agrupación de personas y productos en clústers
- * Para abordar estas afectaciones se estudian en el diagnóstico, a través de diversos sistemas como variables por medio de relieves adaptativos o paisajes fitness en el día: 28/02/2017

>> Diagnostico

Se crea un cuadrante como matriz de estudio en el sector de 2km X 2km con dos tipos de subdivisiones, 40X40 (en relación a la traza vial) y 100x100 (en relación a los lotes y para obtener una mayor resolución en las imágenes de análisis raster y los paisajes fitness



>> Sintesis del diagnostico

- * Importancia bajo función sistémica ambiental
- * Especies del ecosistema humedal Santa María del Lago:
 - * Macrofauna
 - * Macrófitas
 - * Componente Forestal:
 - * Biomasa (Bm)
 - * Índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI)
 - * Componente microbiano como sumideros y Gas Metano

>>Especies del ecosistema humedal Santa María del Lago

Macrofauna 2001

- 3 especies de peces
- 1 especie de anfibio
- 31 especies de aves (de las cuales 4 esta en peligro de extinción en la zona)
- 3 especies de mamíferos

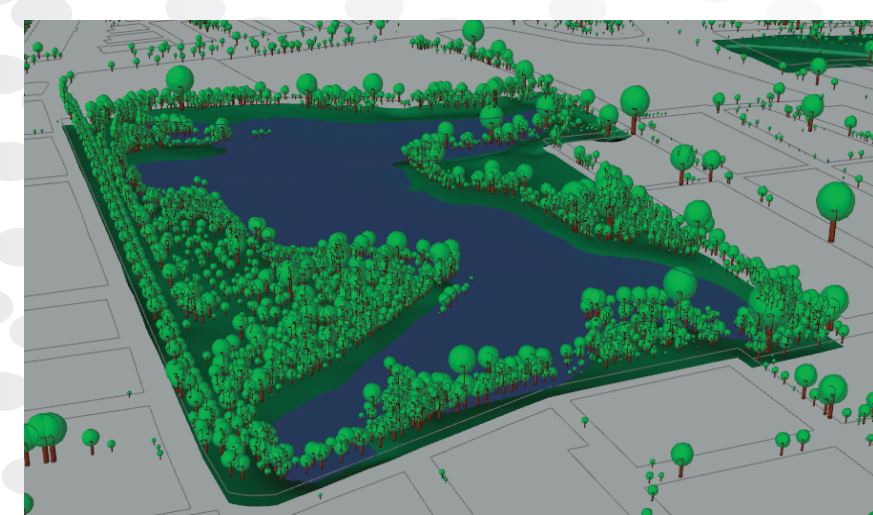


Macrófitas:

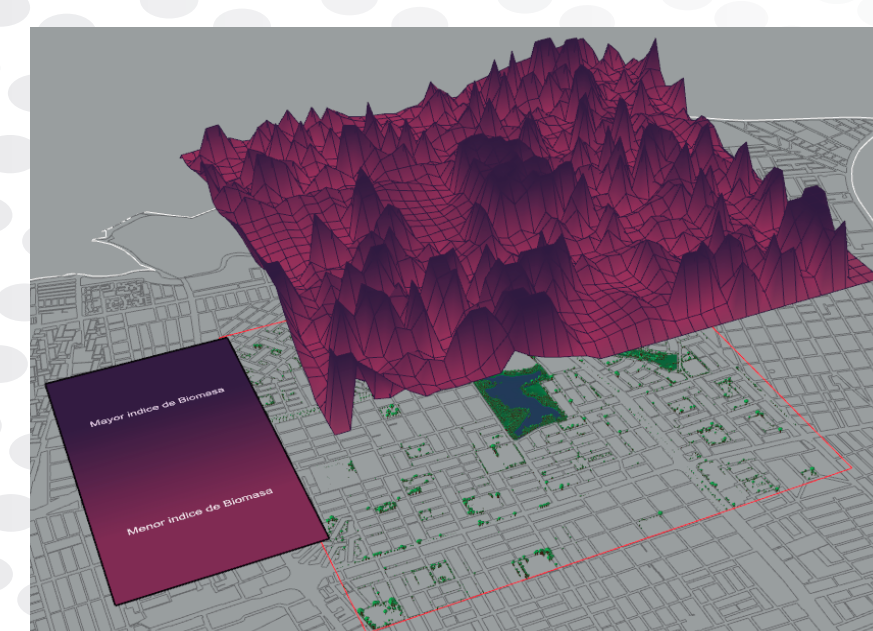
- Lechuga de agua (Pistia stratiotes)
- Lenteja de agua (Lemma minor)
- Helecho de agua (Salvinia sp)
- Candelabro (Ceratophyllum sp)
- Hoja de buitre (Limncharis sp)
- Enea (Typha sp)
- Junco (Scirpus sp)
- Sapo (Echinodorus sp)
- Carretón (Marsilia sp)



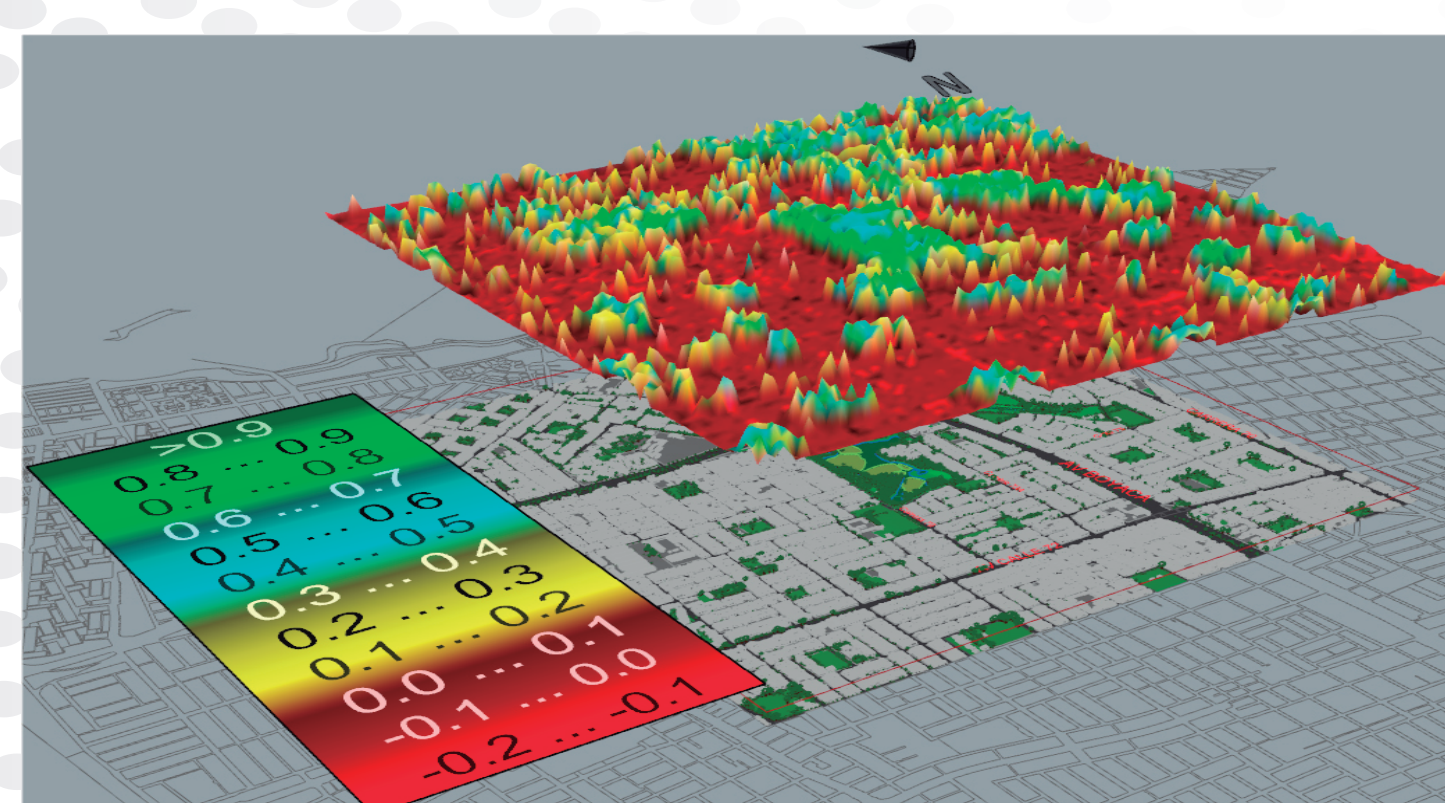
>>Estudios de la biomasa



Abstracción topológica geométrica basada en la proporción aurea = estrategia evolutiva, desarrollo de dos formulas para el calculo y modelado de biomasa.



Volumen de biomasa arborea
Aprox. 871.492,3 m3



$$NDVI = \frac{(IRCercano - ROJO)}{(IRCercano + ROJO)}$$

ROJO= banda 4
Infrarrojo cercano (NIR)= banda 5

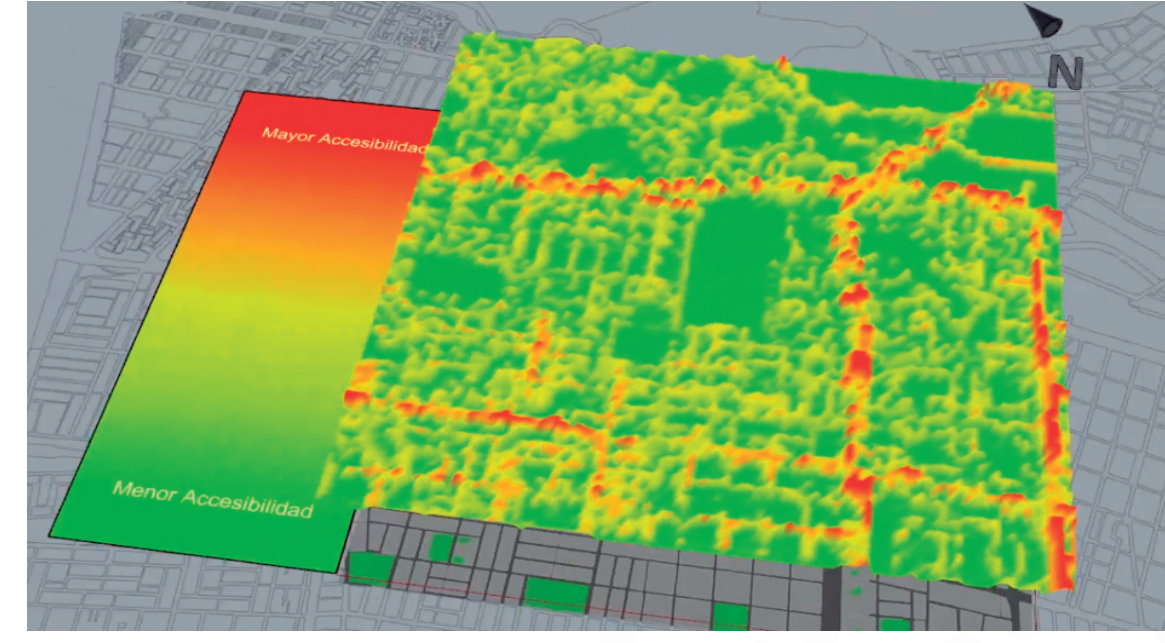
Análisis Rastrer:
Vegetación:
Cantidad
Calidad
Desarrollo



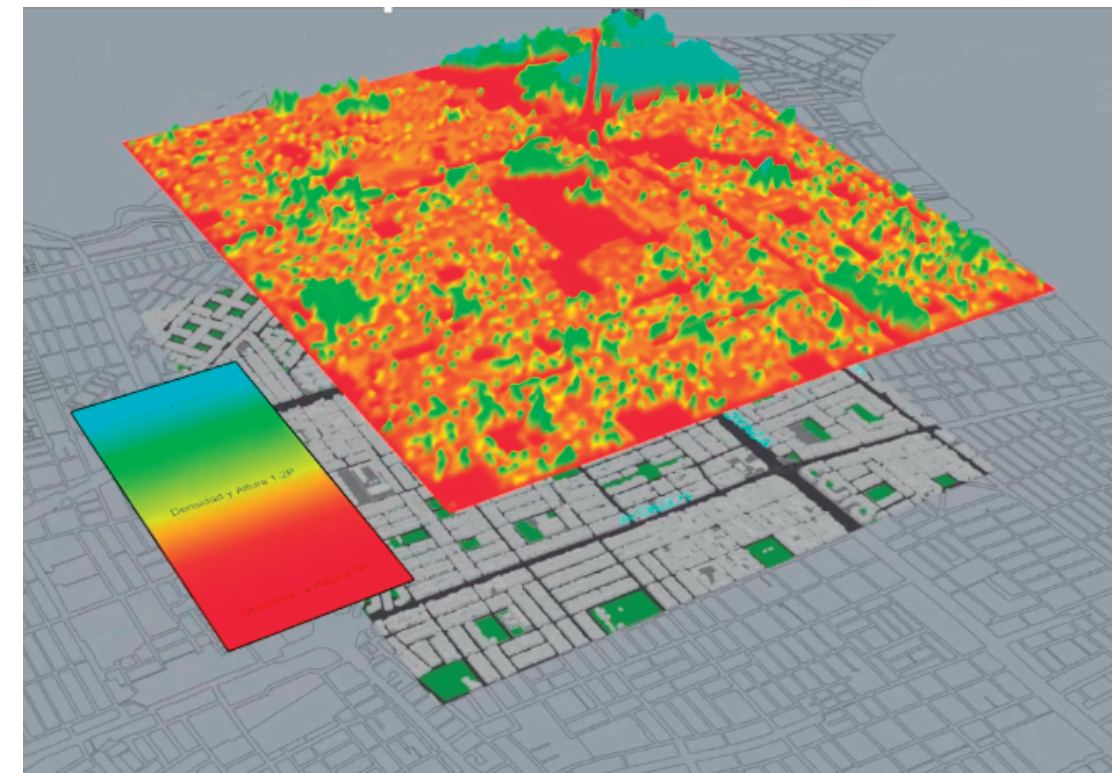
Arquitectura biocomputacional
y evolución de ecosistemas habitables

Carlos Andres Acosta Yaver

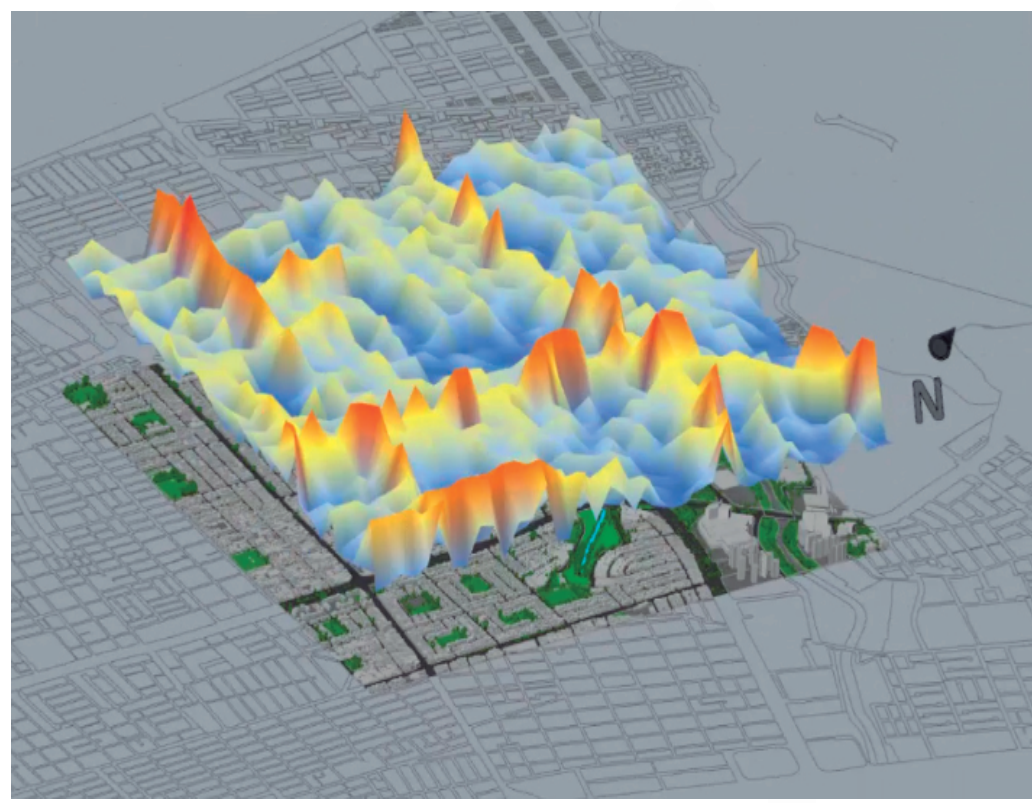
>> Indicadores espacio-temporales



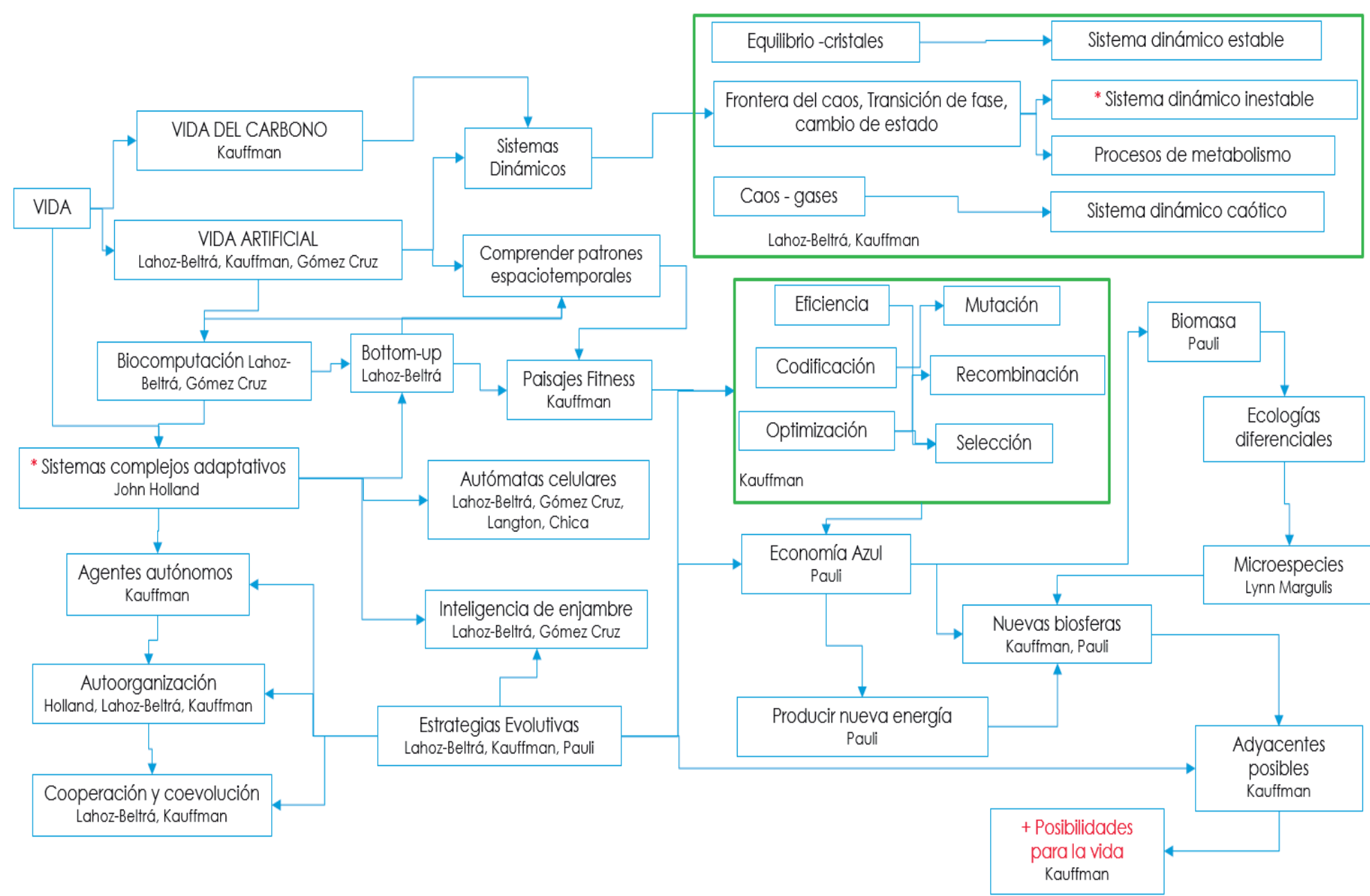
>> Densidad + altura, de edificación (D+A)



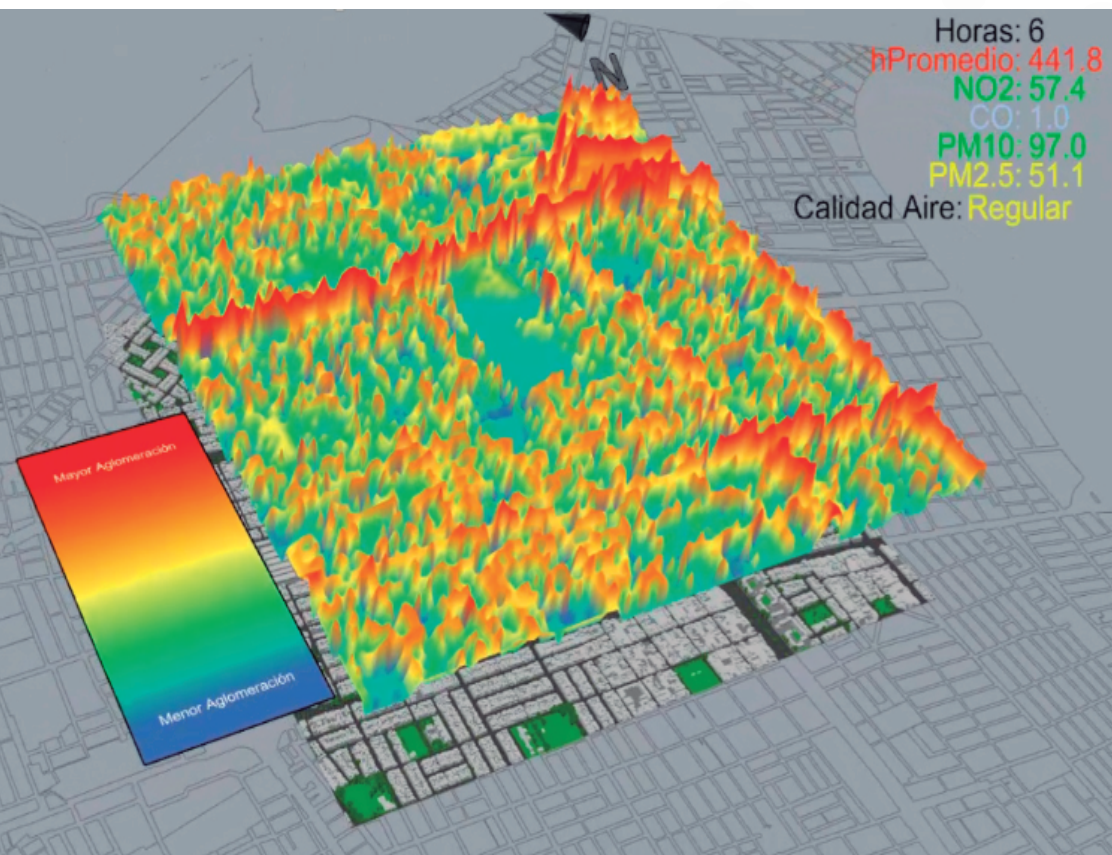
>> Contaminación auditiva por cuadrantes (CAT)



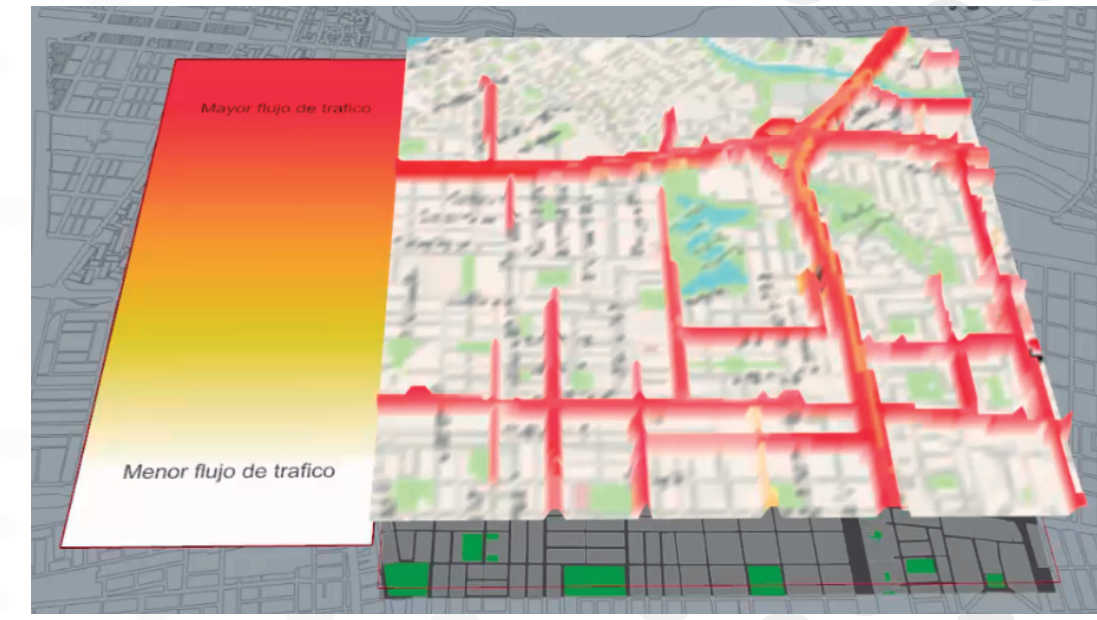
>> Marco Teórico



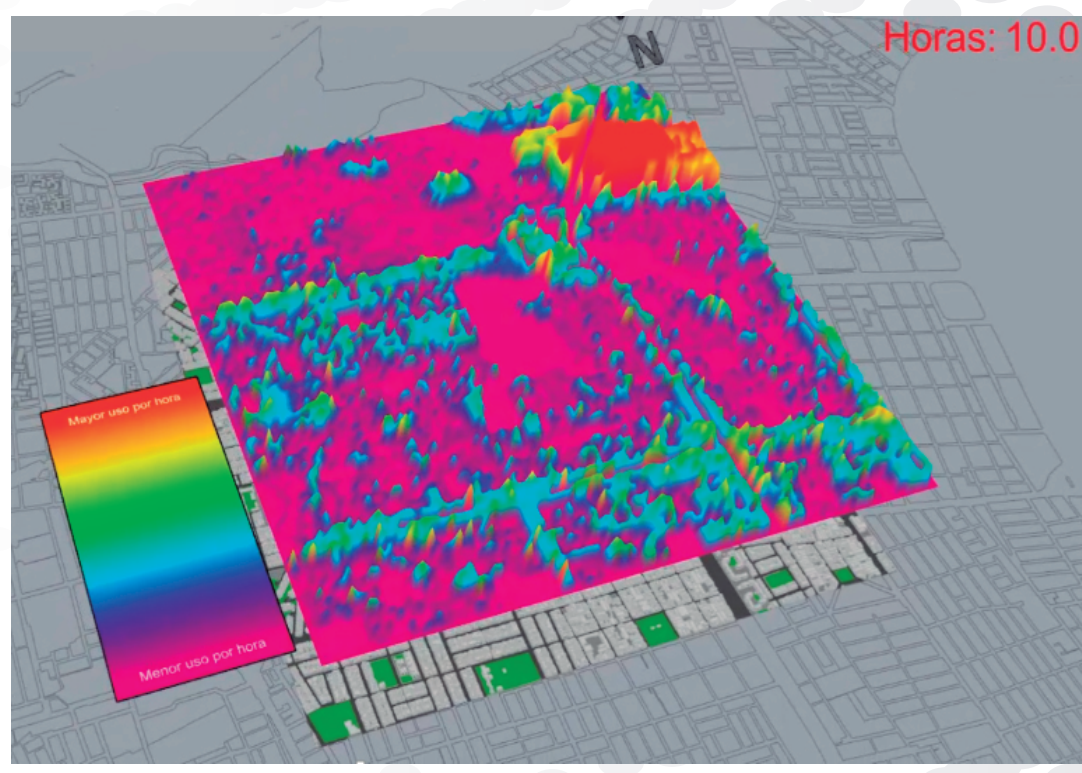
>> Formula 1 y 2 A mayor aglomeración espacio-temporal de Personas y productos mayor contaminación ambiental



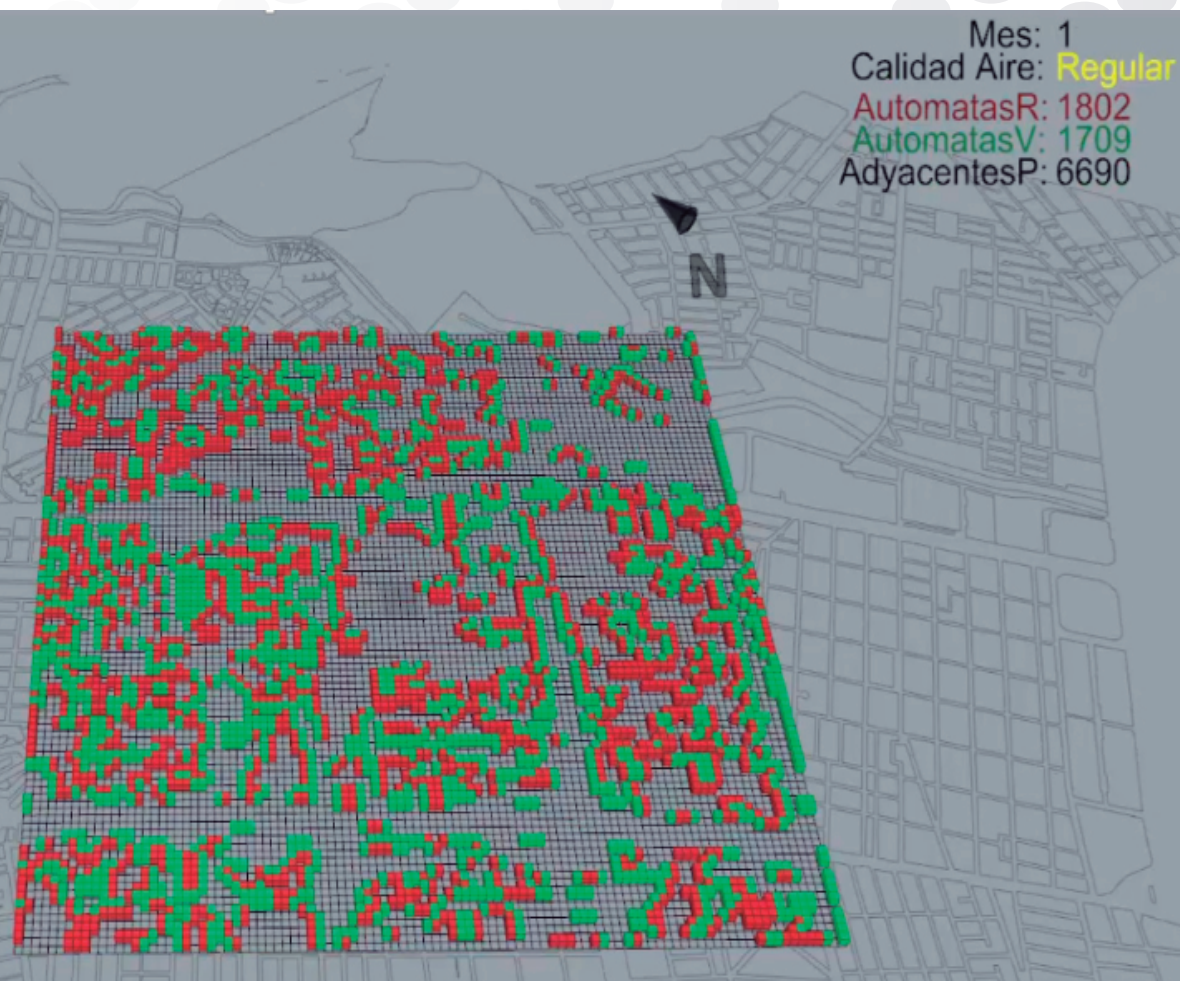
>> Saturación de flujo en el sistema vial (SVT)



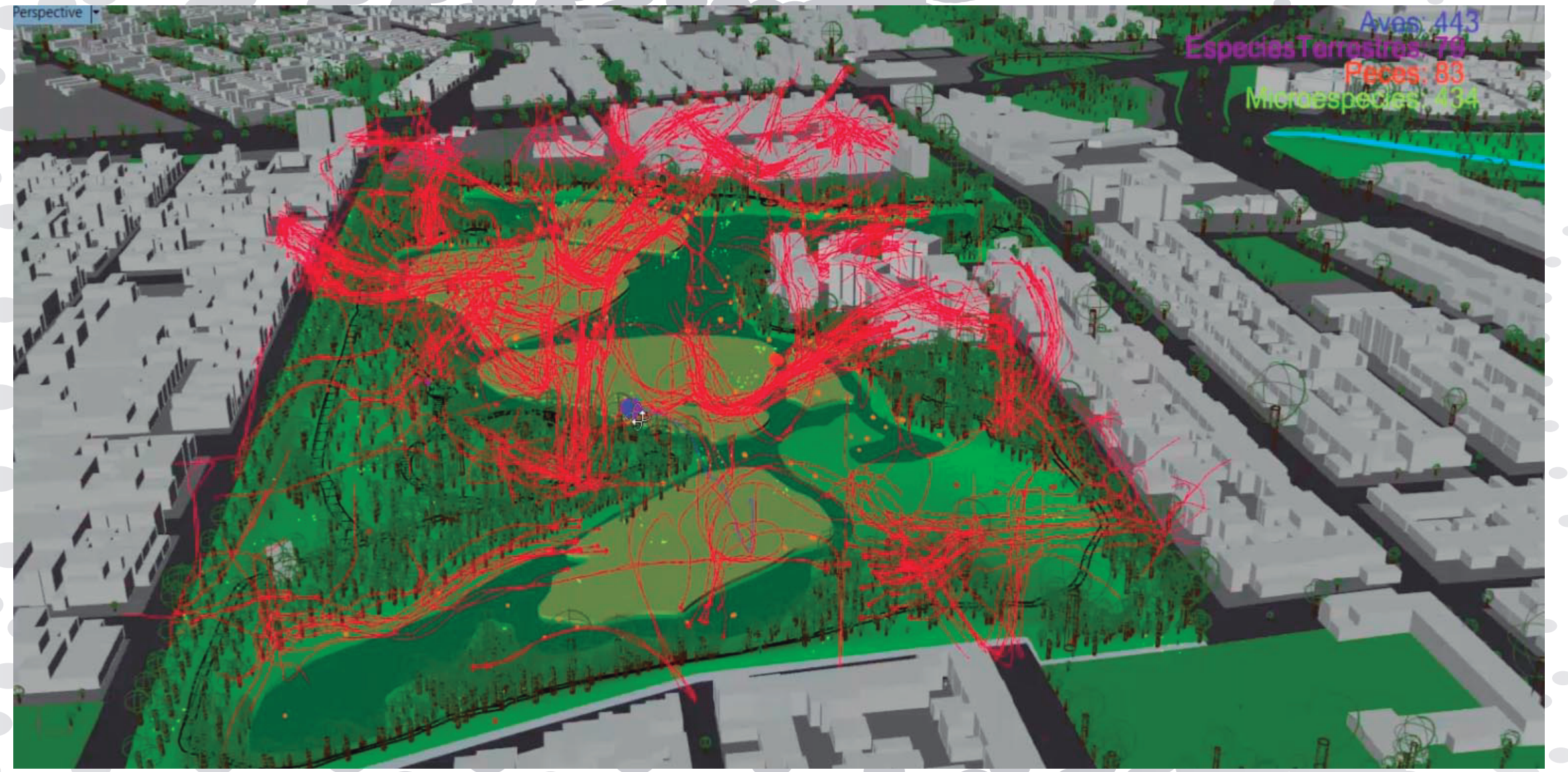
>> Ocupación por Usos del suelo según el horario laboral (OUH)



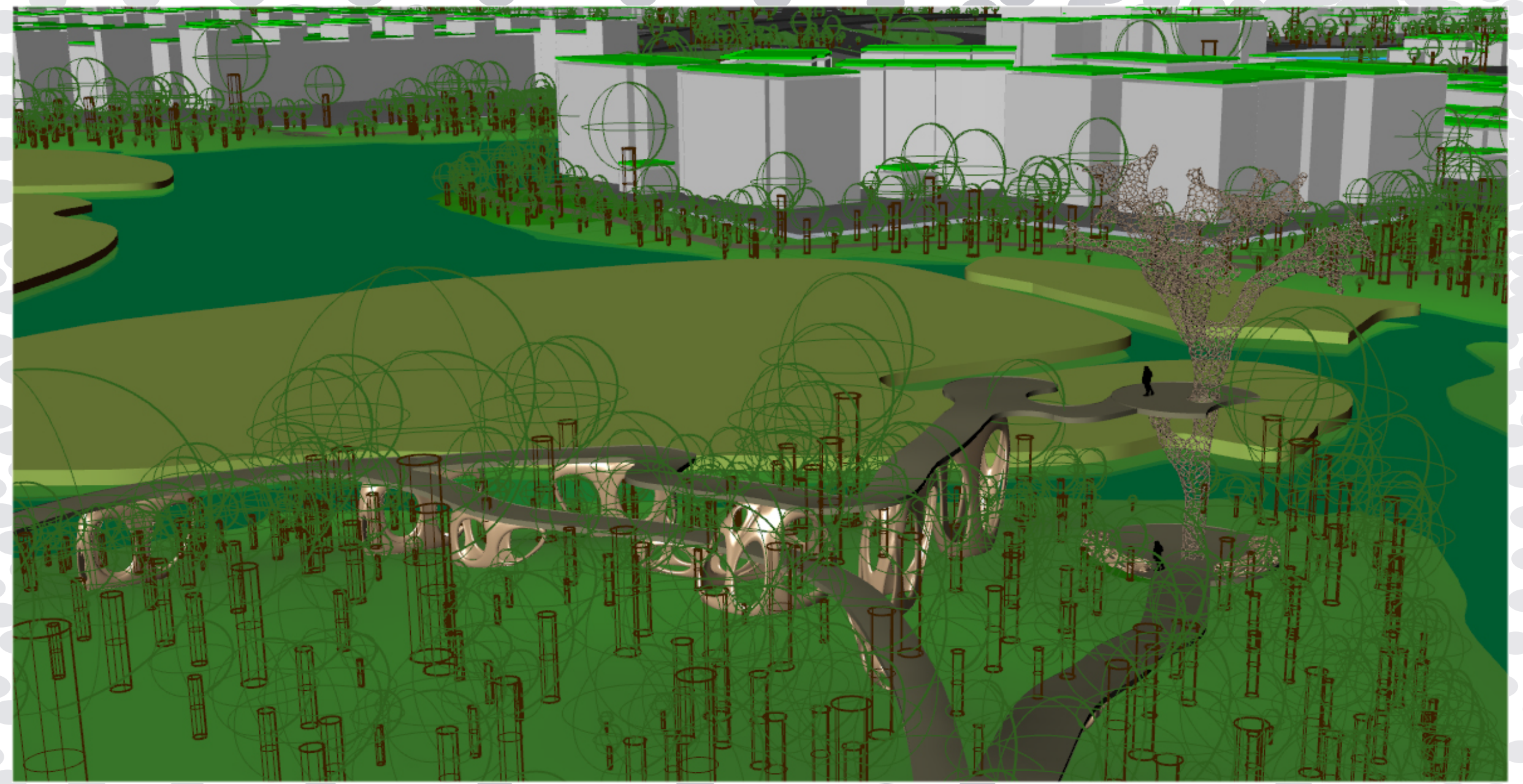
>> Juego de la vida- autómatas celulares - atractores, obstáculos - Probabilidades



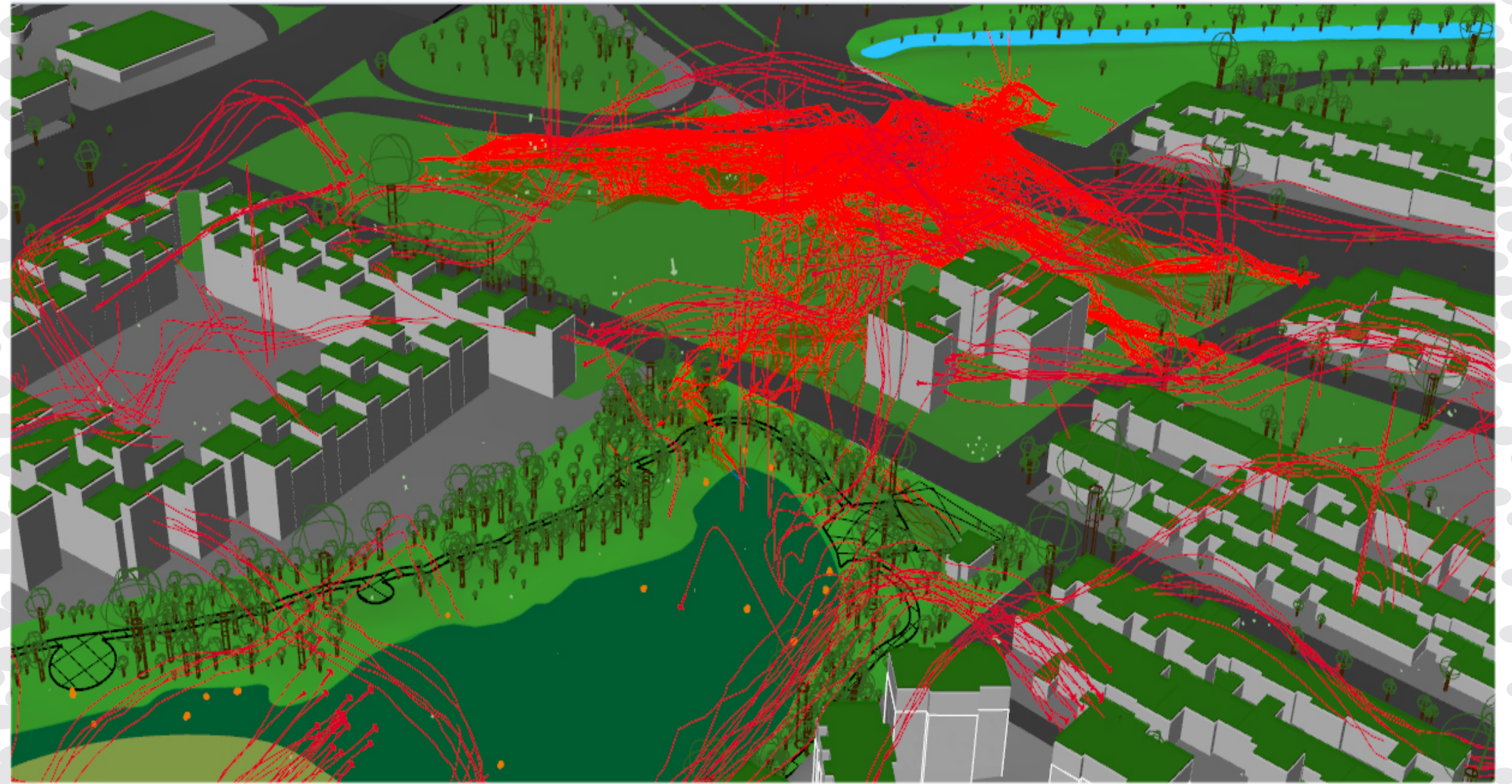
>> Ecosistema artificial datos de ruta y minería de datos



Nuevo observatorio para avistamiento de aves



Nodo de conexión a través de inteligencia de enjambre



Expansión del Humedal a través de arquitectura biocomputacional

