



Afectación de los procesos de conurbación en la planificación territorial y en la oferta de servicios ambientales. Estudio de caso: Bogotá D.C. – Mosquera

Affectation of the conurbation processes in territorial planning and environmental services supply. Case study: Bogota D.C. – Mosquera

Autor:

Edgar Orlando Ladino Moreno*
Universidad La Gran Colombia- Bogotá Colombia

Fecha de presentación: Septiembre 30 de 2013

Fecha de aceptación: Noviembre 30 de 2013

Carol Arévalo Daza**

Lenin Alexander Bulla Cruz***
Universidad Militar Nueva Granada- Bogotá Colombia.

RESUMEN

Por medio de esta investigación se propone identificar la incidencia de los procesos de conurbación en la planificación territorial y los servicios ambientales generados en el límite municipal entre la Ciudad de Bogotá D.C. y el Municipio de Mosquera, a partir del análisis de series de datos de los últimos 20 años; esto con el objeto de realizar la caracterización espacio temporal de los recursos eco-sistémicos, la precipitación, la temperatura, el uso de suelo y la situación socioeconómica que se experimenta en la actualidad en la frontera municipal. Asimismo, se observó la cartografía e imágenes satelitales del área, con el propósito de realizar una aproximación a la tendencia de crecimiento urbano por parte de Bogotá y Mosquera.

En este sentido, el estudio demostró que los procesos de conurbación evidenciados en el límite municipal, se deben principalmente a los cambios en el uso del suelo que se han generado en las últimas décadas y al emplazamiento en zonas de alto riesgo de la población de bajos recursos, el cual indica que las localidades de Bosa, Kennedy y Fontibón experimentarán un déficit de suelo. Esta demanda por el recurso y la dinámica socioeconómica originarán la absorción por parte de Bogotá a Mosquera para el 2018.

Artículo producto de investigación.

* Ing. Civil, Universidad Militar Nueva Granada. Ing. Topográfico, Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Docente tiempo completo Universidad La Gran Colombia. Docente cátedra Universidad Distrital Francisco José de Caldas. edgar.ladino@ugc.edu.co

** Ing. Civil, Universidad de La Salle. Magister en Ingeniería Civil, Universidad de Los Andes. Docente tiempo completo Universidad Militar Nueva Granada. carol.arevalo@unimilitar.edu.co

*** Ing. Civil, Universidad Militar Nueva Granada. Magister en Ingeniería – Transporte, Universidad Nacional de Colombia. Magister en Ingeniería Civil, Universidad de Los Andes. Especialista en tránsito, diseño y seguridad vial, Universidad Nacional de Colombia. Especialista en mecánica de suelos y cimentaciones, Universidad Politécnica de Madrid. Docente ocasional tiempo completo Universidad Militar Nueva Granada. lenin.bulla@unimilitar.edu.co



Revista Academia y Virtualidad

Finalmente, en cuanto a la evolución espacial de la población sobre el territorio, se puede afirmar que esta distribución para Bogotá presenta un comportamiento aniso-trópico, estableciendo una estructura de dependencia espacial.

Palabras clave: Conurbación, POT, planificación territorial, servicios ambientales, modelos de ciudad.

Abstract

This research aims to identify the impact of conurbation processes in territorial planning and environmental services generated within the municipal border between Bogotá City and the Municipality of Mosquera based on data sets analysis during last 20 years in order to generate the spatiotemporal characterization of ecosystem resources, precipitation, temperature, land use and socio-economic status, experienced currently by that area. Furthermore, mapping and satellite imagery of the area were observed in order to approach such an urban growth trend in Bogotá and Mosquera.

In this regard, the study showed that conurbation processes evidenced in the municipal border are mainly due to changes in land use generated in recent decades and a relevant site in high-risk areas of low-income people, which indicates that Bosa, Kennedy and Fontibón are experiencing a progressive soil deficiency. This resource demand and socioeconomic dynamics are causing that Bogotá city will take over Mosquera in 2018. Finally, regarding the spatial evolution of the population on the territory it's possible to aver this distribution for Bogotá area has an anisotropic behavior which establishes a spatial dependence structure.

Keywords: conurbation, territorial planning, environmental services, city patterns.

Introducción

De acuerdo con Geddes (2009), la conurbación se entiende como el proceso y el resultado del crecimiento de varias ciudades integrándolas y jerarquizándolas, donde se establece una unificación territorial independiente de aspectos biofísicos, político-administrativos, originando de esta manera el surgimiento de nuevos modelos de agrupación espacial y sociocultural, contribuyendo a la expansión física de las mismas.

En este sentido, Bogotá no se aleja de este fenómeno, por el contrario, la ciudad desde 1949 (Plan Le Corbusier) ha tenido competencia por el uso del suelo: Industria,

comercio, servicios, vivienda y equipamientos. La necesidad por una ubicación estratégica origina el aumento de los precios del suelo y cambios normativos (Borrero, 2008). Esta dinámica socioeconómica ha generado la absorción de los municipios cercanos como Fontibón, Usaquén, Suba y Engativá (SDH, 2008). A su vez municipios como Funza, Mosquera y Madrid, presentan un fenómeno acelerado de construcción de vivienda, sobrepasando los límites naturales como el río Bogotá (Preciado, 2005), así es como, la frontera perimetral de Bogotá está constituida, no por barrios de la misma ciudad sino por barrios de municipios vecinos (Moreno, 2004).



Revista Academia y Virtualidad

Si bien Bogotá, en el Plan de Ordenamiento Territorial, tiene como principio el crecimiento urbano compacto y el control a la suburbanización desregulada, se observa que esta política se encuentra desarticulada con los direccionamientos por parte del gobierno nacional referidos a la construcción de vivienda, los cuales pretenden incentivar la construcción de viviendas en los municipios vecinos a las grandes ciudades como Bogotá; esto se evidencia en los macroproyectos planificados para el Municipio de Mosquera, donde se pretende desarrollar 25,307 viviendas, apoyados por la normatividad referida al suelo suburbano definida por parte del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.

Este vacío normativo ha permitido a municipios, como Mosquera, promover el emplazamiento de grandes áreas para bodegas y usos industriales, a partir de la modificación de los usos en el Planes básicos de ordenamiento territorial (PBOT) del Municipio.

Según el Ministerio de Trabajo, “el crecimiento del corredor occidental y su relación con Bogotá ha derivado en una conurbación industrial de los municipios de Funza, Madrid, Mosquera, con asiento de importantes empresas industriales, las cuales no sólo surten la subregión sino que venden nacionalmente, según Programa Nacional de Asistencia Técnica para el Fortalecimiento de las Políticas de Empleo, Emprendimiento y Generación de Ingresos en el ámbito Regional y Local”.

De la misma forma, el nivel de entropía evidenciado en los diferentes planes de ordenamiento territorial ha estimulado los procesos de conurbación en áreas inicialmente rurales. En consecuencia, los modelos de planificación implementados o desarrollados para Bogotá no han cumplido con los objetivos inicialmente trazados; esta perspectiva de planificación territorial y urbana no se

ha articulado con los planes de ordenamiento territorial y los planes de desarrollo urbano. (Arce, 2008).

El Decreto del Gobierno 75 de 2013 por el cual se reglamentan los porcentajes obligatorios de Vivienda de Interés Social (VIS) en tratamientos de desarrollo y de renovación urbana, expedido por el Ministerio de Vivienda, estimula la segregación en la ciudad, al impedir la localización de personas con baja capacidad de pago, en las áreas con mejores equipamientos en la ciudad. (Ardila, 2013).

De igual forma, la falta de modelos de planificación que satisfagan las necesidades que impone una ciudad como Bogotá se evidencian en el nivel de crecimiento desmesurado, en los problemas ambientales, de movilidad y calidad de vida que se experimentan actualmente, constituyéndose en un argumento inobjetable; surge así, la necesidad de formular nuevos paradigmas que orienten a la ciudad a un desarrollo estructurado, sistemático, planificado y sustentable, una solución integral, ajustada a las necesidades propias de una ciudad compleja como Bogotá, donde el eje estructurante de desarrollo sea el respeto al sistema natural propio y de los municipios vecinos; para esto es necesario establecer un límite de crecimiento espacial.

No es posible concebir una ciudad con un crecimiento que tiende al “infinito”, absorbiendo municipios circundantes y violentando los límites propios del sistema natural como lo son los cerros orientales de la ciudad y los ecosistemas estratégicos como el río Bogotá. Es así, como la CAR, para el año 2000, consideró la necesidad de fijar un límite al crecimiento urbano para Bogotá, proponiendo la creación de zonas de protección en los cerros orientales y restringiendo el cambio de uso de suelo (Pérez, 2000).



Revista Academia y Virtualidad

“Los cerros orientales y el río Bogotá, conjuntamente con los suelos rurales del D.C. conforman un continuo ambiental y protegido alrededor de la ciudad, cuya finalidad principal es evitar los procesos de conurbación con los municipios vecinos” (POT Bogotá D.C., Art. 16, 2003).

En este sentido, la planificación y el concepto de uso del suelo, deben ser reevaluados por parte de académicos, ciudadanos y tomadores de decisiones, con el objeto de garantizar un desarrollo en el cual la relación <sociedad – naturaleza> no supere, por parte de la actividad antrópica, los límites de resiliencia del sistema.

Si bien, un primer intento de modificar estos patrones de planificación urbana es señalado en el Plan de Ordenamiento Territorial del Distrito, el artículo 1 del Decreto 469 de 2003 establece como objetivo pasar de un modelo cerrado a un modelo abierto de ordenamiento territorial, el primero hace referencia a un sistema funcional cerrado en el cual se delimita un número de funciones humanas básicas y, por esa razón, el plan urbano se concebía como “producto, como guía direccionada hacia una forma de desarrollo futura bien definida” (Dyckman, 1964, citado por Ramírez, 2011). Se ha observado que la interacción entre el sistema ambiental y el sistema urbano corresponde a un sistema abierto (Perloff, 1973). De la misma forma, el modelo abierto de planificación urbana responde a la posibilidad del acceso a diferentes formas de agrupación (Valdivia, 1998).

“La consolidación urbana, tiene como condición evitar la conurbación de la ciudad con los municipios vecinos, mediante la protección, recuperación y mantenimiento de sus bordes: Cuenca del río Bogotá, cerros orientales y zonas rurales del sur y del norte” (POT Bogotá D.C., Art. 6, 2003).

Las administraciones distritales han sido conscientes de la falta de control en la expansión de Bogotá, por lo que, mediante consultorías, se ha buscado encontrar las causas y las problemáticas de los desarrollos informales. Martínez (Slideshare, 2007) formuló una síntesis de dicha problemática, identificando que las áreas informales corresponden al 43% del área total de la ciudad urbanizada y 22% del área urbana; mientras que los objetivos a largo plazo del POT no reflejan tal marginalidad y no la ubica al mismo nivel de otros elementos urbanos. Incluso, en el POT no se profundizó en la explicación y aplicación de las modalidades de tratamiento especial que permiten darle tratamiento urbanístico a las áreas informales (reestructurante y complementaria); así como los procedimientos de legalización y regularización no han encajado en una política del hábitat, siempre variable. De la misma forma, el POT no categoriza una escala zonal de integración de las áreas periféricas con las centralidades, generando actividades y espacio público para conformar la esperada ciudad compacta.

En este contexto, esta investigación pretende realizar una aproximación al estudio de la incidencia de los procesos de conurbación que se originan en la frontera municipal entre Bogotá y Mosquera, sobre los recursos ecosistémicos presentes en el área y su incidencia sobre los procesos de planificación territorial, con el objetivo de presentar una visión de los patrones de crecimiento en el límite municipal; para esto, se realizará un análisis de la expansión espacial y los cambios en el uso del suelo realizados en los últimos 20 años y su repercusión sobre la oferta ambiental en el medio.

1. Materiales y métodos

La investigación se desarrolló en el área del límite de Bogotá y Mosquera, a 6 km aproximadamente a lado y lado. La metodología propuesta para esta investigación



se divide en cuatro fases de la siguiente manera: recopilación de información cuantitativa y cualitativa que sirva como sustento argumentativo, proporcionada por las diferentes entidades estatales como son: DANE, IDEAM, EAAB, CAR, IGAC, IDECA, Ministerio de Transporte, Secretaría de Movilidad de Bogotá, Alcaldía de Bogotá y Alcaldía de Mosquera. A partir de la información base se estableció la estructuración de un sistema de información geográfica, sistematizando las diferentes variables que intervienen en la investigación, utilizando imágenes satelitales y digitalización de mapas (período 1992 – 2012), con el propósito de realizar una aproximación al comportamiento de la tendencia espacial del crecimiento urbano; para esto se implementó la utilización del software ArGis 9.2, HidroSIG y SPSS, con el objeto de georeferenciar y analizar el comportamiento geoestadístico de las variables observadas en el área de estudio.

Asimismo se realizó el análisis estadístico de series de precipitación, temperatura, densidad de población, evolución espacial de Bogotá y Mosquera, en los últimos 20 años. Finalmente, se llevó a cabo la comprobación de la hipótesis planteada, generación del modelo de expansión y absorción, definición de alternativas y estrategias de planificación, áreas de amortiguación y corredores ecológicos de borde.

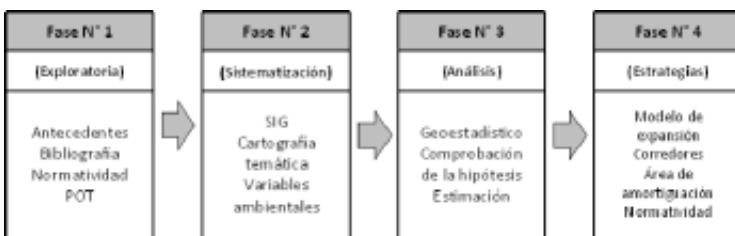


Figura 1. Metodología
Fuente: Elaboración propia.

1.1 Crecimiento demográfico de Bogotá y Mosquera

El crecimiento poblacional y su concentración en las áreas de terreno disponibles permitieron generar un modelo de crecimiento demográfico lineal que produjo un coeficiente de correlación (R) equivalente a 0.998, mediante el que se estima que para el 2050, la ciudad contará con una población de 9'940.123 habitantes. Las densidades poblacionales, en diferentes horizontes, se presentan en la Figura 2.

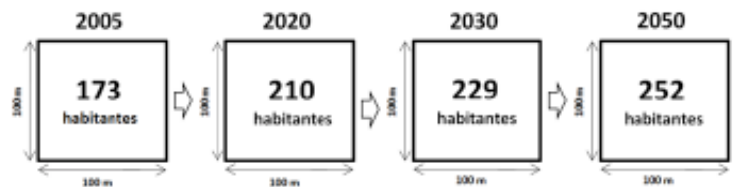


Figura 2. Esquema densidad poblacional Bogotá, 2005 – 2050
Fuente: Elaboración propia.

Mosquera cuenta con un área aproximada de 10,623.502 ha, de la cual cerca del 41.38% está destinada a la adecuación de tierras, según el PBOT. En la siguiente tabla se evidencia el crecimiento significativo que experimentó el municipio para el año de 2007, aumentando su área urbanizada. Este fenómeno se debió, probablemente, al emplazamiento de zonas industriales y zonas francas en el límite municipal con Bogotá.

Año	Área (ha)
1949	787.116
1974	932.396
1993	217.879
2000	347.979
2007	8651.312

Tabla 1. Evolución espacial de Mosquera
Fuente: Elaboración propia a partir de análisis cartográfico.



En cuanto a la población, a diferencia de las tasas de crecimiento de Bogotá, Mosquera presenta una mayor velocidad de crecimiento, originado principalmente por la demanda de suelo urbano por parte de población flotante. El comportamiento de esta variable se muestra en la siguiente figura.

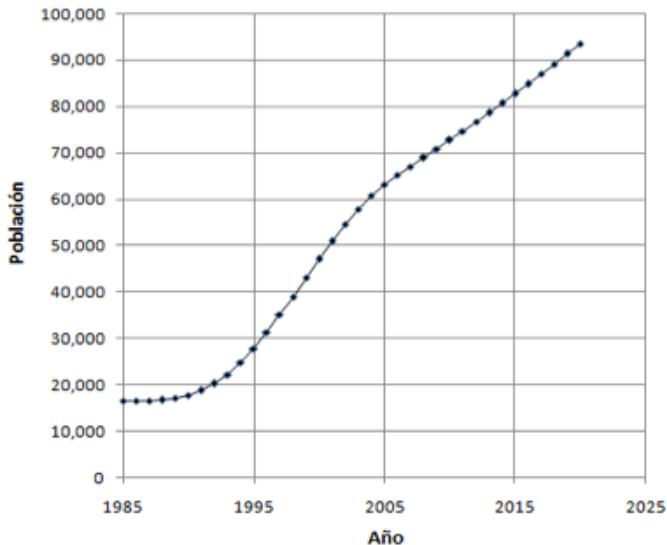


Figura 3. Estimaciones de población para Mosquera

Fuente: Elaboración propia a partir de información suministrada por el DANE, 1985 - 2005.

Una vez establecido el modelo de crecimiento demográfico, se procedió a generar un modelo de expansión de dicha población en el territorio. En la figura 2 se determinó la densidad general; sin embargo, fue necesario proponer un modelo que permita predecir la ubicación específica de la población a partir de las tendencias de concentración históricas; dicho modelo se explica en el siguiente apartado.

1.2 Evolución de la población sobre el territorio

Para el análisis de la expansión antrópica sobre el territorio, se implementó la estimación Kriging, la cual permite analizar y predecir los valores de una variable en función de su posición, en este caso la expansión demográfica sobre el territorio. Al igual que la interpolación Inverse Distance Weighting - IDW, los pesos de la variable en Kriging orbitan en valores medidos para predecir los valores en puntos no medidos, donde los más cercanos por lo general tienen la mayor influencia.

De hecho, los pesos Kriging para los puntos medidos son más sofisticados que los de IDW, así los pesos Kriging provienen de un semivariograma (El variograma, semivariograma o nube variográfica es un gráfico que relaciona la distancia entre parejas de ubicaciones muestreadas y los semic cuadrados de las diferencias entre los valores de la característica estudiada en tales parejas), que se desarrolló mediante la visualización de la estructura espacial de los datos. Para crear una superficie continua, en las predicciones sobre la localización del área de estudio para Bogotá, se establecieron unidades de análisis de la propagación de asentamientos humanos en el límite municipal entre Bogotá y Mosquera, con una resolución espacial de 9 km², obteniendo un semivariograma demográfico y la disposición espacial de los valores observados. Modelo propuesto:

$$\nabla Dp(\text{hab/ha}) = f(N, E) \quad (1)$$

$$\text{Densidad poblacional (hab/ha)} = \beta_0 + \beta_2 \text{Norte} + \beta_3 \text{Este} \quad (2)$$



	Coefficientes	Error típico	Estad	Prob	Inferior 95%	Superior 95%	Inferior 95.0%	Superior 95.0%
Interc.	20,448,865.1	11546488.157	1.771	0.102	-4708771	45606501.6	-4708771.37	45606501.638
Norte	4.192	7.292	0.575	0.576	-11.696	20.079	-11.696	20.079
Este	-24.105	7.932	-3.039	0.010	-41.388	-6.823	-41.388	-6.823

Tabla 2. Coeficientes para la población, Bogotá - Mosquera
Fuente: Elaboración propia.

Modelo propuesto:

Bajo la hipótesis de linealidad y homocedasticidad. La homocedasticidad se da cuando la varianza del error no presenta variación; en caso contrario, el comportamiento se conoce como heterocedasticidad. La ecuación indica el comportamiento del gradiente poblacional en función de las coordenadas norte (m) y este (m).

$$Densidad_{poblacional} (hab / ha) = 20,448,866.1 + 4.192Norte - 24.105Este$$

Aplicando el modelo anterior fue posible establecer la evolución de la población en el territorio y determinar la concentración de la misma en el límite entre Bogotá y Mosquera para el año 2050, como se muestra en la figura 4. Los datos referentes a la densidad histórica, necesarios para establecer el modelo de expansión, fueron suministrados por la Secretaría Distrital de Planeación (SDP).

A partir de la figura 4, se considera evidente la futura concentración de la población en las zonas centrales de las localidades de Fontibón, Kennedy y Bosa. De igual forma, en el costado oriental de Mosquera y el costado occidental de las tres localidades mencionadas, se

denota la tendencia a que la densidad aumente hacia el río Bogotá. Esta primera evaluación permite inferir que el impacto sobre el río y sus márgenes, producto de la actividad humana en el área de influencia directa del afluente, tenderá a empeorar.

Seguidamente, se procedió a evaluar el comportamiento futuro de las variables referentes a temperatura y precipitación, como base del componente ambiental de la investigación.

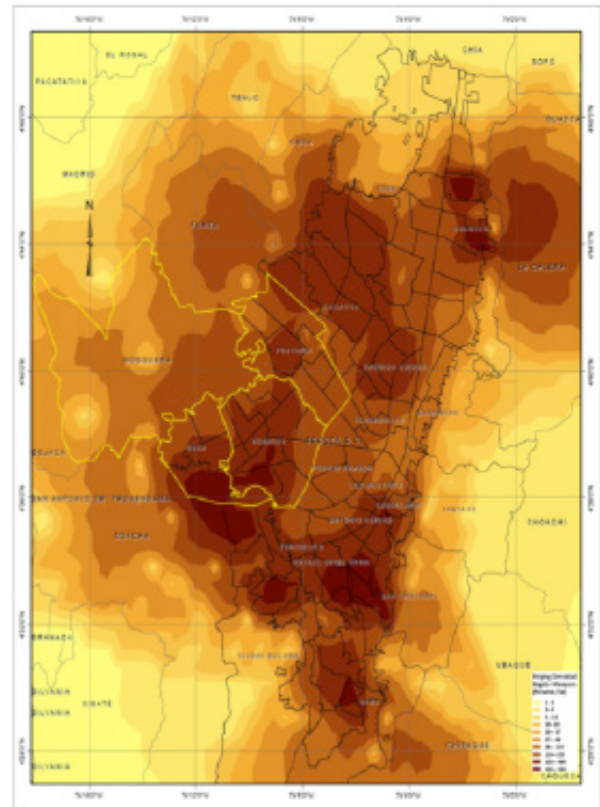


Figura 4. Evolución de la población en el territorio año 2050
Fuente: Elaboración propia a partir de los datos referidos a la densidad de Bogotá, suministrados por la SDP.



1.3 Estimación espacial de la temperatura

El calentamiento global ha incidido en el comportamiento de los diferentes ecosistemas alterando el flujo de energía y, por ende, la producción de materia; un problema básicamente ondulatorio donde la radiación solar es retenida por la capa generada a partir de la utilización de energías combustibles, que ha repercutido notablemente en el termóstato del planeta. Lugares como Bogotá, en el transcurso de las últimas décadas, han experimentado el aumento gradual de la temperatura.

Para el estudio del comportamiento espacial de la temperatura se partió de la información suministrada por el IDEAM, referente a 16 estaciones meteorológicas ubicadas tanto en Bogotá como en Mosquera; de éstas, se cuenta con localización precisa y el registro de temperatura máxima anual en los años 1993 a 2009. El modelo propuesto para explicar la variable de respuesta (temperatura) cuenta con tres variables explicativas: latitud, longitud y altitud, como se muestra a continuación.

Modelo propuesto:

La ecuación indica el comportamiento del gradiente térmico $\nabla T(^{\circ}C)$ en función de la latitud (ϕ), longitud (λ) y la altitud (z).

$$\nabla T(^{\circ}C) = f(\phi, \lambda, z) \tag{4}$$

$$\text{Temperatura } (^{\circ}C) = \beta_0 + \beta_1 \text{Latitud} + \beta_2 \text{Longitud} + \beta_3 \text{Altitud} \tag{5}$$

	Coef.	Error típico	Estad. t	Prob. a.	Inferior 95%	Superior 95%	Inferior 95.0%	Superior 95.0%
Intercep.	240.788	995.136	0.242	0.813	-1949.492	2431.068	-1949.492	2431.068
Variable X 1	11.424	15.341	0.745	0.472	-22.342	45.190	-22.342	45.190
Variable X 2	-3.796	13.568	-0.280	0.785	-33.658	26.066	-33.658	26.066
Variable X 3	0.002	0.002	1.086	0.301	-0.002	0.005	-0.002	0.005

Tabla 3. Coeficientes para la temperatura, Bogotá – Mosquera
Fuente: Elaboración propia.

Modelo encontrado:
Bajo la hipótesis de linealidad y homocedasticidad.

$$T(^{\circ}C) = 240.788 + 11.424\phi - 3.796\lambda + 0.002z \tag{6}$$

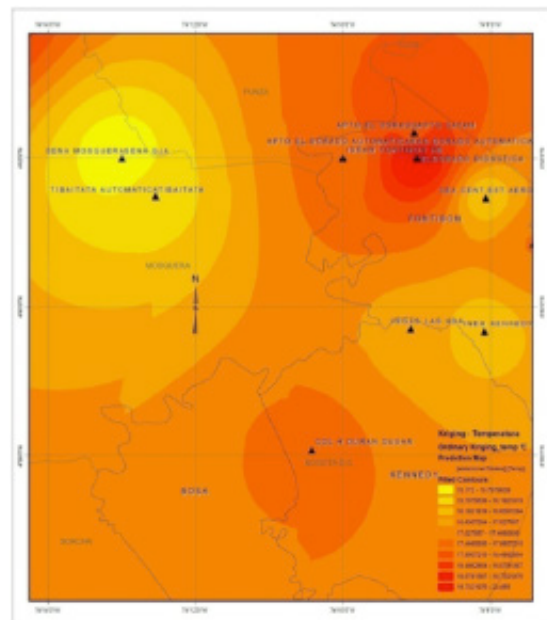


Figura 5. Mapa Kriging para predicción de la temperatura máxima en áreas que no cuentan con datos
Fuente: Elaboración propia.

Como era esperado, las áreas con mayor temperatura coinciden con las áreas donde se concentra mayor población; así como donde se realiza una mayor cantidad de actividades, generadoras de viajes asociados al transporte, con sus consecuentes emisiones vehiculares y su aporte al aumento de la temperatura. Esta situación valida un argumento anterior referente a la necesidad de establecer un control a la ubicación de la población para frenar y corregir el impacto negativo sobre el río Bogotá.



1.4 Interpolación espacial de la precipitación en Bogotá D.C.

Apartir de las mismas 16 estaciones, de tipo meteorológico, empleadas en el análisis de la temperatura, se analizó la precipitación; esto con el propósito de establecer si existe linealidad y algún grado de homocedasticidad de la interdependencia lineal entre la variable respuesta (precipitación) y las variables explicativas (latitud, longitud, altitud). Para lo anterior se implementó un modelo lineal múltiple, similar al utilizado para la temperatura:

$$\nabla P(mm) = f(\phi, \lambda, z) \tag{7}$$

$$Pr\ ecipitación\ (mm) = \beta_0 + \beta_1 Latitud + \beta_2 Longitud + \beta_3 Altitud \tag{8}$$

	Coef.	Error típico	Estadístico t	Prob.	Inferior 95%	Superior 95%	Inferior 95.0%	Superior 95.0%
Intercep.	14,873.122	7216.402	2.061	0.062	-850.068	30,596.312	-850.068	30596.312
Variable X 1	111.761	121.689	0.918	0.376	-153.376	376.898	-153.376	376.898
Variable X 2	-207.491	98.502	-2.106	0.057	-422.107	7.126	-422.107	7.126
Variable X 3	0.028	0.012	2.277	0.042	0.001	0.055	0.001	0.055

Tabla 4. Coeficientes para la precipitación, Bogotá – Mosquera
Fuente: Elaboración propia.

Modelo encontrado:
Bajo la hipótesis de linealidad y homocedasticidad.

$$P(mm) = 14873.122 + 111.761\phi - 207.491\lambda + 0.028z \tag{9}$$

El modelo generado, para la predicción de la precipitación en áreas que no cuentan con datos, suministró un coeficiente de correlación de 0.66, indicando que existe una interdependencia de la precipitación con las variables geográficas en la zona en estudio. Este componente de la investigación representa una herramienta útil para la

determinación de aportes hídricos que puede recibir el río Bogotá y, que al permitir un crecimiento demográfico descontrolado podrían no llegar a su destino, restando posibilidades de una mayor dilución de agentes contaminantes en el afluente; lo que también implica un tratamiento de las aguas aún más costoso y exhaustivo. En la figura 6 se presenta la predicción de la precipitación; así como la localización de las estaciones meteorológicas mediante las que se obtuvo la información base.

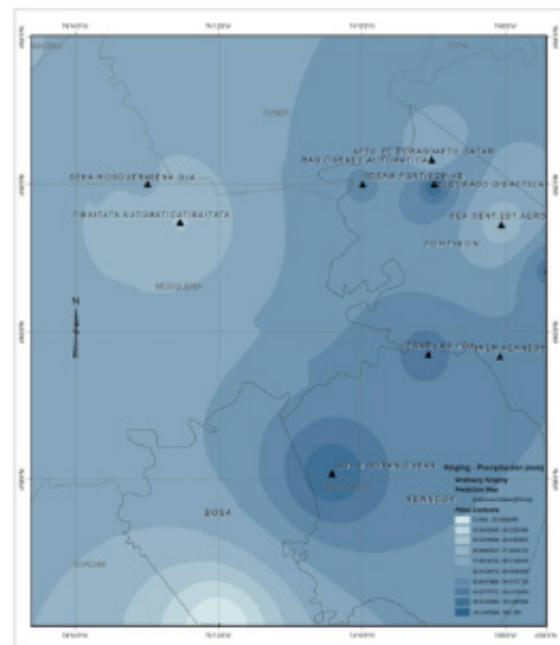


Figura 6. Mapa Kriging para predicción de la precipitación en áreas que no cuentan con datos.
Fuente: (Elaboración propia).

1.5 Crecimiento vertical de Bogotá D.C.

El desarrollo urbano de Bogotá se ha visto condicionado drásticamente por los modelos de desarrollo urbano endógenos e importados, que no le han permitido a la ciudad crecer en forma vertical; si bien es cierto, las condiciones geotécnicas del subsuelo de la ciudad no son



los más favorables, se debe propender por un desarrollo en altura que minimice los procesos de conurbación, los cuales presionan a los recursos ambientales, especialmente al río Bogotá y los cerros orientales.

A partir de los datos suministrados por el IGAC, DANE, Catastro Distrital y la Lonja de Bogotá, se realizó la cartografía referente al crecimiento vertical en Bogotá, en la que se incluyó el número de pisos como variable respuesta y la posición (norte, este) como variable explicativa, esperando encontrar una tendencia que explique cómo la posición geográfica conlleva a la construcción en altura.

En la figura 7 se presenta el semivariograma que relaciona la posición geográfica (abscisas) con la varianza del número de pisos construidos actualmente en Bogotá (ordenadas). En este gráfico se evidencia la continuidad espacial del crecimiento vertical, el cual queda reflejado en la tasa de crecimiento de la varianza; este comportamiento se observa a medida que la distancia (h) aumenta. Según la cartografía obtenida para el crecimiento vertical en Bogotá, se evidencia la tendencia al crecimiento vertical (mayor a 20 pisos) en la parte de centro y la zona nororiental de la ciudad.

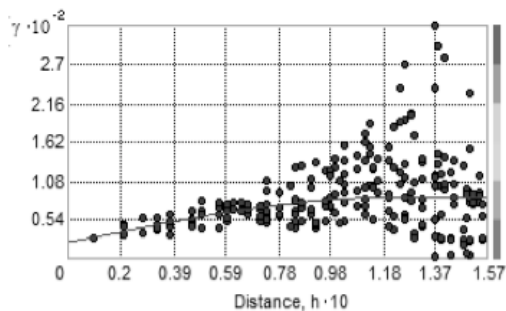


Figura 7. Semivariograma de crecimiento vertical para Bogotá

Fuente: Elaboración propia.

La siguiente figura muestra el crecimiento vertical (número de pisos) de Bogotá, obtenido un mediante modelo similar a los ya presentados, en el que conociendo el número de pisos y localización de diferentes edificaciones, fue posible establecer una tendencia hacia las áreas específicas de concentración. Con respecto a la imagen, no fue establecido el límite ambiental de Bogotá hacia el oriente para visualizar de mejor forma la concentración. En el límite entre Bogotá y Mosquera se observa la concentración de edificaciones en Fontibón, particularmente.

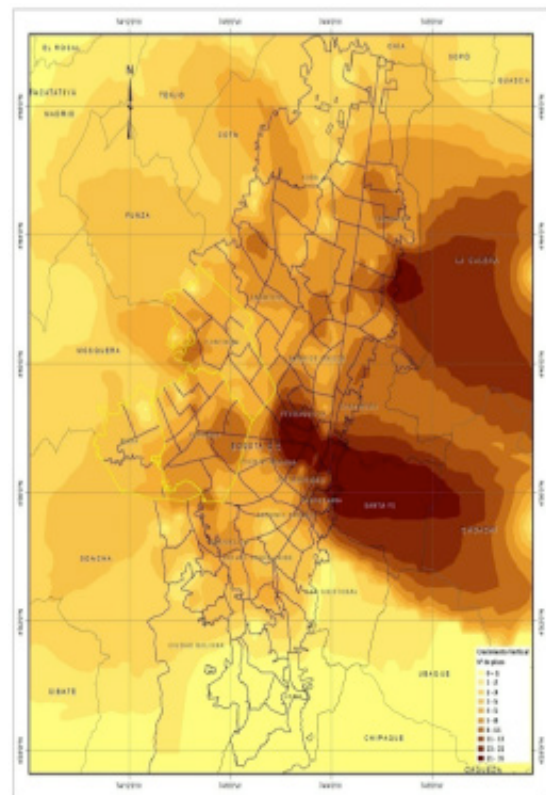


Figura 8. Crecimiento vertical de Bogotá

Fuente: Elaboración propia a partir de la información suministrada por la SDP.



1.6 Modelamiento de la expansión urbana

La expansión urbana puede ser analizada a partir de diferentes variables como son: cambio de uso del suelo, el aumento de las licencias de construcción y el crecimiento demográfico; en este sentido, para el modelamiento del crecimiento urbano sobre el territorio, se adoptó un modelo determinístico en el cual se tomó la tasa de crecimiento urbano calculada para Bogotá a partir del crecimiento demográfico:

$$r_{cu} = \left(\frac{P_{mc}}{P_{ci}} \right)^{\frac{1}{(T_{mc}-T_{ci})}} - 1 \tag{10}$$

Donde,

r_{cu} = Tasa de crecimiento urbano anual en forma porcentual.

P_{mc} = Población (hab) para el último año censado.

P_{ci} = Población (hab) para el censo inicial.

T_{mc} = Último año censado.

T_{ci} = Año para el censo inicial.

$$r_{cu} = \left(\frac{6,837,584}{4,945,448} \right)^{\frac{1}{(2005-1993)}} - 1 = 2.736\% \tag{11}$$

De igual forma, dada la variable explicativa, se obtiene un único resultado reflejado por la variable respuesta, para tal efecto se adopta el modelo geométrico de crecimiento urbano.

$$A_f = A_{uc} \left(1 + \frac{r}{100} \right)^{(T_f - T_{uc})} \tag{12}$$

Donde,

A_f = Área urbanizada correspondiente al año para el que se quiere proyectar.

r_{cu} = Tasa de crecimiento urbano anual en forma porcentual.

A_{uc} = Área construida (ha) para el último año censado.

T_f = Año para el cual se quiere proyectar la información.

T_{uc} = Último año censado para el censo inicial.

$$A_{2050} = A_{2005} \left(1 + \frac{2.736}{100} \right)^{(2050-2005)} \tag{12}$$

$$A_{2050} = 38,437.14 \left(1 + \frac{2.736}{100} \right)^{(2050-2005)} = 129,500.198 \text{ ha} \tag{13}$$

En este contexto, para el año 2050 Bogotá sólo tendrá 29,199.8 ha no urbanizadas. Aplicando el modelo para proyectar la expansión del crecimiento urbano en las localidades de Bosa, Kennedy y Fontibón se obtiene:

Localidad	Uso del suelo	Área total (ha)	Área (ha)				
			1993	1998	2003	2008	2018
Bosa	Urbano	2391.536	1455.4	1456.3	1685.5	1885.0	2469.1
Kennedy	Urbano	3856.091	2894.3	2892.2	3023.7	3470.0	4545.2
Fontibón	Urbano	3325.613	2298.0	2234.4	2678.3	2998.0	3927.0

Tabla 5. Proyección del crecimiento urbano para Bosa, Kennedy y Fontibón
Fuente: Elaboración propia.



La tabla 5 muestra que, para el año 2018, las áreas de las localidades de Bosa, Kennedy y Fontibón estarán destinadas en su totalidad para uso urbano; inclusive se producirá una demanda por suelo. Esta demanda originará la absorción por parte de Bogotá a Mosquera en el 2018, si se mantiene la tendencia histórica.

2. Resultados y discusión

2.1 Estrategias sustentables de planificación territorial

Con el propósito de proponer una estrategia sustentable de planificación territorial, se estudiaron diferentes modelos de ciudad con el fin de identificar aquellos que conlleven a modificar la tendencia hacia la expansión urbana y que ayuden a mitigar los impactos descritos en el área estudiada. Los modelos identificados se describen a continuación.

Modelo de ciudad compacta

Hausmann G., en 1852, propuso un cambio radical en la concepción urbanística de la ciudad de París, basado en la eficacia, productividad y la salud. Este plan se fundamenta en la construcción de grandes vías que comunican el centro con la periferia de la ciudad, donde el desarrollo urbanístico originó la construcción de grandes bulevares y calles diseminadas en forma de árbol, iluminación y sistemas de saneamiento; también se evidencia un proceso de conurbación, al ser absorbidas las poblaciones adyacentes como: La Villette, Bercy, Montrouge, por parte de la ciudad de París. Para lograr esto Hausmann conformó un grupo multidisciplinario de profesionales; en la parte hidráulica contrató a Belgrand, para las zonas verdes (parques, jardines) con Alphand y el componente urbanístico estuvo a cargo de Baltard, quien fundamentó

los diseños en orientaciones de este – oeste, norte – sur, con una tendencia concéntrica.

El modelo está directamente relacionado con las finanzas de los ciudadanos, argumentando que una ciudad donde el sistema de movilidad sea óptimo y el uso del suelo se utilice de manera adecuada, aumentará la productividad y la riqueza de sus habitantes.

“La ciudad compacta, mediación entre los modelos de ciudad concentrada y ciudad dispersa, puede disminuir los costos energéticos urbanos y favorecer así el desarrollo sostenible” (Valdivia, 1998).

Por otro lado, este tipo de modelo fue adoptado en la Cumbre de la Tierra referido a la agenda 21 (1992), estableciendo como modelo urbano a la ciudad compacta, con mezcla de usos del suelo, para alcanzar los principios de la sustentabilidad declarados por Brundtland (1987).

Un estudio elaborado recientemente en la ciudad china de Tianjin llegó a la conclusión de que el ahorro en el costo de la infraestructura resultante de un desarrollo urbano compacto y denso alcanzaba el 55% respecto al de zonas más dispersas. (PNUMA, 2011).

Modelo concéntrico

Burgess (1925) propone la teoría de las áreas concéntricas en las ciudades; éstas se definen a partir del fraccionamiento del suelo urbano generando diferentes anillos referenciados a un punto central, en el cual el valor del metro cuadrado de suelo aumenta a medida que tienda al centro de la ciudad.

Este planteamiento pretende establecer la distancia máxima que la población está dispuesta a recorrer por



la adquisición de cierto producto generado en las áreas de influencia, originando ciudades con mayor nivel de especialización. El citado modelo ha tenido diferentes críticos, debido a la robustez geométrica que presenta. Para Hoyt (1939), autor de la teoría sectorial, señala que las diferencias referidas al uso del suelo establecido en el centro de las ciudades, se conservan a medida que la ciudad se expande perimetralmente generando sectores circulares adyacentes a las vías de transporte.

Según Harris y Ullman (1945), las ciudades se desarrollan a partir de los diferentes usos del suelo, dispuesto en distintos núcleos de crecimiento, generado por la convergencia de actividades económicas y su posición estratégica dentro del espacio geográfico de la ciudad. Esta tendencia de agrupación se debe principalmente al desarrollo de actividades económicas comunes.

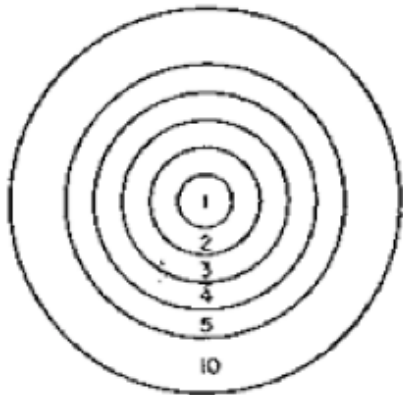


Figura 9. Modelo concéntrico
Fuente: (Burgess, 1925).

2.2 Propuesta de modelo de planificación territorial

Conocidas las condiciones históricas y actuales del proceso de conurbación que se desarrolla entre Bogotá y sus municipios vecinos, así como los impactos identificados

en el estudio de caso entre Bogotá y Mosquera, se identificaron ventajas y desventajas de múltiples modelos de ciudad entre los que se consideraron aplicables los presentados en el apartado anterior; sin embargo, ninguno de los dos es enteramente adaptable, debido a las enormes modificaciones que serían necesarias.

Por lo anterior, el presente estudio propone el desarrollo de Unidades de Especialización Económica Zonal, las cuales deben contribuir al desarrollo sustentable de la ciudad; unidades basadas principalmente en el alcance geográfico y administrativo de las actuales Unidades de Planeamiento Zonal.

Unidades de especialización económica zonal

La estructuración espacial para las UEEZ, se apoya fundamentalmente en la teoría propuesta por Burgess (1925), referidas a la creación de zonas concéntricas definidas a partir del fraccionamiento del suelo urbano generando diferentes anillos referenciados al centro de cada localidad. Asimismo, se plantean como objetivos estratégicos de las UEEZ, los siguientes:

- Desarrollo local.
- Crecimiento vertical (unidades habitacionales mayores a 20 pisos).
- Disminución de los tiempos de viaje.
- Gestión de corredores ecológicos (según la localidad).
- Disminución de la huella ecológica.
- Conservación de humedales y áreas verdes.
- Fortalecimiento la presencia institucional y educativa.
- Limitar la expansión de las redes de los servicios públicos.
- Fortalecer la Estructura Ecológica Principal.
- Uso racional de suelo.



Revista Academia y Virtualidad

Lo anterior permite afirmar que es posible realizar diferentes tipos de acciones encaminadas a la protección del sistema ambiental, a partir del desarrollo local, basadas principalmente en la implementación de diferentes instrumentos técnico-administrativos, los cuales deben garantizar la conservación de los servicios ambientales ofrecidos por el medio.

Como consecuencia de lo anterior, se propone un modelo de ciudad compacta especializada para Bogotá, con un desarrollo vertical marcado por la dotación de bienes y servicios que la comunidad demande como lo son: salud, educación, bienestar y movilidad; esto enmarcado dentro del contexto de desarrollo sustentable, minimizando tiempos de viaje, disminuyendo la huella ecológica al haber menor consumo per cápita de energía y, por ende, aumentado la calidad de vida de sus habitantes.

Al generar un modelo de planificación urbana en el que se induzca a desincentivar la expansión, se lograría proteger los recursos hídricos provenientes de los cerros orientales y racionalizar, planificar y ejecutar, de mejor forma, los tratamientos de las aguas que se vierten en el río Bogotá. El modelo presentado busca mantener las centralidades históricas de las localidades limítrofes, con el fin de generar pequeños centros urbanos que descongestionen el centro expandido de la ciudad; al densificar por medio de construcciones altas estos centros, se pretende generar nuevas actividades que conlleven a la creación de empleo y a la disminución de viajes largos.

La localidad de Bosa es la que cuenta aún con mayor cantidad de suelo disponible; de igual forma, en ésta se está dando un proceso de urbanización acelerado, sin contar áreas consolidadas y organizadas de comercio y servicios en las que se cuente con instituciones de diferente orden para atender las necesidades de la población, sin mayores



Figura 10. Esquema ciudad proyectada
Fuente: Elaboración propia.

desplazamientos. Se considera que el modelo propuesto permitiría alcanzar las premisas de las UEEZ, mejorando las condiciones del río Bogotá.

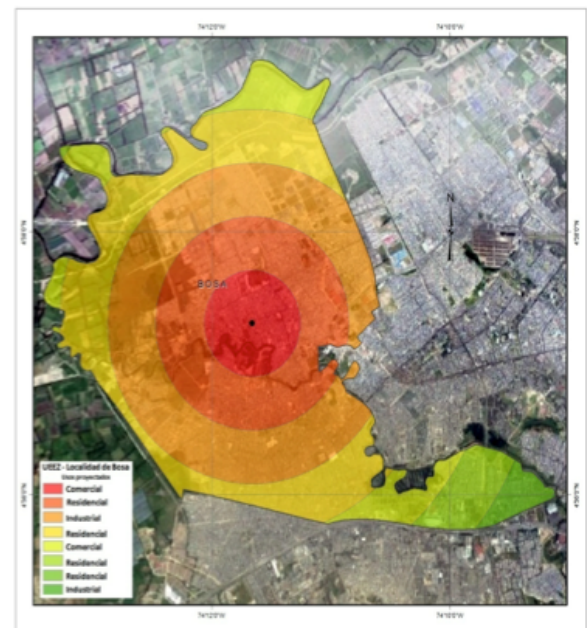


Figura 11. Propuesta de UEEZ para la localidad de Bosa
Fuente: Elaboración propia.



Revista Academia y Virtualidad

Estudios similares (Isaza G., 2008) han propuesto que se siga utilizando el río Bogotá como un contenedor límite al igual que lo hacen los cerros orientales para el crecimiento de la ciudad, ya que a lo largo de la franja del río Bogotá, donde limitan las zonas de protección, es donde los procesos de conurbación están generando el mayor impacto, recuperando las zonas que se han construido cerca del río para lo ambiental y la recreación. La recuperación de las zonas construidas implica la generación de proyectos VIS, para lo que se debería contar con instrumentos como los Planes Parciales para garantizar tanto el desarrollo de vivienda como de infraestructura en general. Esta recomendación ha quedado establecida en el estudio de consultoría titulado “Suelo urbano y vivienda para la población de ingresos bajos Estudios de caso: Bogotá – Soacha - Mosquera; Medellín y Área Metropolitana” (Development Planning Unit of University College London, 2006).

Conclusiones

La entropía urbana evidenciada en los grandes centros poblados contribuye al crecimiento y la expansión perimetral de las ciudades, absorbiendo física y administrativamente municipios adyacentes y sobrepasando, en la mayoría de los casos, los propios límites naturales. En consecuencia, el cambio en el uso del suelo y la desarticulación de los planes de ordenamiento territorial de los municipios circundantes, han alterado los flujos de energía de los ecosistemas de la Sabana de Bogotá y, por ende, se ha disminuido la oferta de servicios ambientales producidos en el límite municipal entre Bogotá y Mosquera. En este sentido, los procesos de conurbación inciden de manera directa en la generación de bienes ambientales, originando cambios drásticos e irreversibles en la capacidad fotosintética y de resiliencia de los ecosistemas existentes.

En cuanto a la evolución espacial de la población sobre el territorio, se puede afirmar que esta distribución para Bogotá presenta un comportamiento anisotrópico, estableciendo una estructura de dependencia espacial. Es decir, la densidad poblacional varía en función de la posición geográfica; esto se evidencia en el mapa obtenido para la evolución espacio temporal de la población (figura 4) y en el semivariograma de ocupación, donde el mayor crecimiento poblacional corresponde a las localidades de Bosa, Kennedy, Ciudad Bolívar y Usme. A pesar del valor obtenido del coeficiente de determinación equivalente a 0.4621, el modelo tiene la posibilidad de explicar la variable respuesta (densidad de población) en función de las variables explicativas .

A su vez, la intervención antrópica local y global ha incidido en el ciclo hidrológico, originando la alteración espacio temporal de las diferentes variables climáticas, especialmente la precipitación y la temperatura; en este contexto y bajo la hipótesis de linealidad y homocedasticidad, se puede señalar que, según el modelo obtenido para la precipitación (ecuación 9), se establece una dependencia espacial de la precipitación, lo cual se evidencia en las variables evaluadas que presentan la semivarianza constante, indicando que el modelo propuesto tiene la posibilidad de predecir el comportamiento de la precipitación en función de la posición y la altitud. Asimismo el semivariograma omnidireccional de las temperaturas medias, para Bogotá y Mosquera, mostró dependencia espacial de la variable observada; sin embargo, el modelo obtenido presenta variaciones significativas en el comportamiento de los residuos.

Sobre la base de las consideraciones anteriores, se sostiene que los procesos de conurbación evidenciados en el límite municipal entre Bogotá y Mosquera, se deben



Revista Academia y Virtualidad

principalmente a los cambios en el uso del suelo, que se han generado en las últimas décadas y al emplazamiento en zonas de alto riesgo de la población de bajos recursos. En términos ambientales este crecimiento urbano ha incidido en el potencial hídrico y la capacidad de asimilación del medio; como resultado de esto y entendiendo la conurbación como una función de densidad demográfica, se calculó la tasa de crecimiento urbano para Bogotá a partir del crecimiento demográfico implementando un modelo geométrico, que indica que las localidades de Bosa, Kennedy y Fontibón experimentarán un déficit de suelo. Esta demanda por el recurso y la dinámica socioeconómica originarán la absorción por parte de Bogotá a Mosquera, para el 2018.

Esta investigación considera la necesidad de redefinir el término correspondiente al “uso del suelo” por “uso del espacio”, considerando el suelo urbano como un espacio finito, proponiendo la implementación de un modelo de ciudad compacta especializada, a partir de la creación de unidades de especialización económica zonal (UEEZ), con el objeto de mantener el suelo rural, limitar la expansión de las redes de los servicios públicos, fortalecer la estructura ecológica principal, disminuir los tiempos de viaje, la fragmentación de los ecosistemas y la reducción de la huella ecológica de la ciudad. En esa misma línea y con base en la teoría de Burgess (1925), se plantea el desarrollo de anillos concéntricos a partir del centroide de cada Localidad con un buffer de 750 m, estableciendo tres usos fundamentales (comercial, industrial y residencial). También se propone como una estrategia para disminuir los procesos de conurbación que se experimentan actualmente, el aumento a 100 m de la margen de protección del río Bogotá a partir del eje.

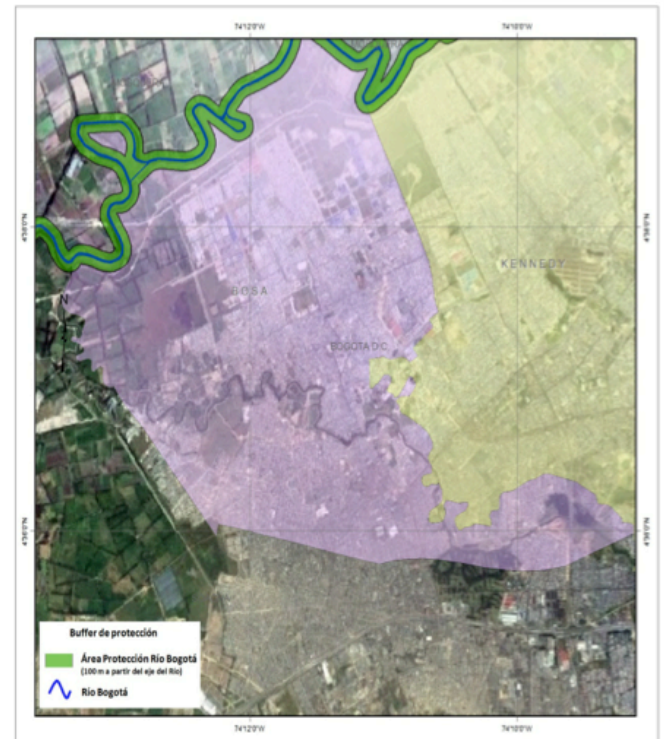


Figura 12. Aumento de área de protección del río Bogotá

Fuente: Elaboración propia.

Con el objeto de disminuir los procesos de conurbación, se recomienda la creación de áreas de amortiguación y la reformulación de las áreas de expansión urbana, las cuales están basadas principalmente en el crecimiento perimetral de Bogotá; es decir, la ciudad crece según estos planes de ordenamiento en dos dimensiones. Se deben establecer políticas que generen iniciativas en las cuales el crecimiento se origine en altura identificando las zonas de vivienda subutilizadas y reformulando el uso del suelo con el objeto de poder generar viviendas de uso multifamiliar mayores a 20 niveles.



Revista Academia y Virtualidad

Finalmente, este estudio considera que la planificación de la ciudad no puede ser desarrollada a partir de una perspectiva aislada y autosuficiente; por el contrario, ésta depende de manera directa del medio circundante, del control de la tasa de crecimiento y establecimiento de diferentes articulaciones entre lo urbano, lo local y lo regional. Como consecuencia de lo anterior, se puede decir que los procesos de conurbación que se establecen en el límite perimetral de Bogotá con los municipios vecinos; más que un problema ambiental, corresponde a un problema político-social, donde la falta de normatividad y de integridad en los planes de ordenamiento territorial han afectado de manera inevitable e irreversible a la Sabana de Bogotá. Es responsabilidad de los diferentes actores sociales y de los tomadores de decisiones, propender por el desarrollo de una ciudad sustentable y autosuficiente, instaurando en el subconsciente colectivo la importancia de la conciencia ambiental y el respeto por los recursos naturales los cuales en la mayoría de los casos son finitos.

Referencias

- Arce, D. T. (2008). Hacia una planificación urbana sistémica. Una experiencia universitaria de aprendizaje y aplicación de nuevos instrumentos técnicos en la planificación urbana tradicional. *Espacio y Desarrollo*, 69.
- Ardila, G. (2013). *Decreto del Gobierno Nacional es inconveniente y estimula la*. Bogotá D. C.: Secretaría Distrital de Planeación.
- Borrero, O. (2008). *Localización de comercio, industria y servicios*. Bogotá D. C.: Cámara de Comercio de Bogotá.
- Brundtland, G. H. (1987). *Our Common Future*. Washington D.C.: United Nations: Report of the World Commission on Environment and Development.
- Burgess, E. (1925). *The City*. Chicago: University of Chicago Press.
- CEPAL/PNUD. (2006). El desarrollo sostenible de los asentamientos humanos en América Latina y el Caribe. *Publicación de las Naciones Unidas*, 6.
- Development Planning Unit of University College London. (2006). *Suelo urbano y vivienda para la población de ingresos bajos Estudios de caso: Bogotá – Soacha - Mosquera; Medellín y Área Metropolitana*. Londres.
- Dyckman, J. W. (1964). Planeamiento y sistemas metropolitanos. En Indagaciones sobre la estructura urbana, eds. Melvin Webber, John W. Dyckman, Donald Foley, Albert Guttenberg, William L. C. (M. Webber, J. Dyckman, D. Foley, A. Guttenberg, W. Wheaton , & C. Bauer Wurster, Edits.) Barcelona: Gustavo Gili, S. A.
- Geddes, P. (2009). *Ciudades en evolución*. Oviedo: KRK Ediciones.
- Harris, C. D., & Ullman, E. L. (1945). *The Nature of Cities*. DOI: 10.1177/000271624524200103: The ANNALS of the American Academy of Political and Social Science.
- Hoyt, H. (1939). *The Structure and Growth of Residential Areas in American Cities*. Washington D.C.: Federal Housing Administration.
- Isaza G., J. (2008). *Conurbación y desarrollo sustentable: una estrategia de intervención para la integración regional*. Bogotá D.C.: Pontificia Universidad Javeriana.
- Martínez, S. (2007). *Slideshare*. Recuperado el 11 de Noviembre de 2013, de <http://www.slideshare.net/smmtoan/evolucion-urbana-informal-en-bogota>
- Moreno, O. (2004). A Propósito de los Procesos de Conurbación en el Sur de la Metrópoli Bogotana. *Bitacora*, 3.



Revista Academia y Virtualidad

Pérez, A. P. (2000). Bogotá y Cundinamarca, Expansión Urbana y Sostenibilidad. Bogotá: CAR, Internacional Ltda.

Perloff, H. S. (1973). *La Calidad del Medio Ambiente Urbano*. Barcelona: Okios-Tau.

Plan de ordenamiento territorial del distrito (POT). Decreto 469 de 2003, art.1, 6, 16.

PNUMA. (2011). Guía para el desarrollo sostenible y la erradicación de la pobreza. *Hacia una economía verde*, 28.

Preciado, J. (2005). Bogotá Región: Crecimiento Urbano en la Consolidación del Territorio Metropolitano. UDFJC, 3.

Ramírez, J. F. (2011). La planeación urbana en Colombia: años sesenta-ochenta. Discursos, consultores y comunidades académicas. *Revista de estudios sociales*, 115-125.

Valdivia, L. (1998). Insuficiencia de la Ciudad Compacta. *Escuela de Arquitectura. Universidad de Navarra*, 4.

Perfil de autores

Edgar Orlando Ladino Moreno

Ing. Civil, Universidad Militar Nueva Granada. Ing. Topográfico, Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Docente tiempo completo Universidad La Gran Colombia. Docente cátedra Universidad Distrital Francisco José de Caldas. edgar.ladino@ugc.edu.co

Carol Arévalo Daza

Ing. Civil, Universidad de La Salle. Magíster en Ingeniería Civil, Universidad de Los Andes. Docente tiempo completo Universidad Militar Nueva Granada. carol.arevalo@unimilitar.edu.co

Lenin Alexander Bulla Cruz

Ing. Civil, Universidad Militar Nueva Granada. Magíster en Ingeniería – Transporte, Universidad Nacional de Colombia. Magíster en Ingeniería Civil, Universidad de Los Andes. Especialista en tránsito, diseño y seguridad vial, Universidad Nacional de Colombia. Especialista en mecánica de suelos y cimentaciones, Universidad Politécnica de Madrid. Docente ocasional tiempo completo Universidad Militar Nueva Granada. lenin.bulla@unimilitar.edu.co