

Aportaciones desde la geocibernética y la percepción remota a la política pública de áreas verdes urbanas

Alejandra A. López-Caloca

*Centro de Investigación en Geografía y Geomática Ing. Jorge L. Tamayo A.C. (CentroGeo)
Mexico City / Mexico*

Enrique Muñoz-Goncen

*Centro de Investigación en Geografía y Geomática Ing. Jorge L. Tamayo A.C. (CentroGeo)
Mexico City / Mexico*

RESUMEN

Este trabajo es la muestra de una investigación transdisciplinaria donde, a partir de algunas demandas de la sociedad, la geocibernética y la percepción remota realizaron contribuciones científicas relevantes. Se describen puentes entre la sociedad, la política pública y la percepción remota apoyados en un meta-diagrama conceptual que se construyen con fundamentos dentro del marco de la geocibernética (comunicación, retroalimentación, aprendizaje) y son guías en el proceso de investigación.

Se presenta el caso del Proyecto del Inventario de Áreas Verdes Urbanas (IAVU) 2002 y algunos elementos relativos al diseño de política pública urbano-ambiental para el caso de estudio del Distrito Federal, México, a través de redes de actores gubernamentales y académicos que desarrollaron procesos geocibernéticos de comunicación y retroalimentación en marcos de colaboración transdisciplinaria con un enfoque territorial. La incorporación de la dimensión espacial en los diferentes niveles de gobierno responsables de la gestión de las Áreas Verdes Urbanas (AVU) permitió comprender los desequilibrios en la distribución de áreas verdes en este territorio, y fue un elemento clave en el proceso de comunicación al integrar diferentes modelos de conocimiento. Los datos obtenidos a través de procesos innovadores de percepción remota resultaron ser un instrumento con aportes conceptuales, técnicos y operativos que coadyuvaron en la identificación de patrones geoespaciales y en el seguimiento de la dinámica territorial. La investigación inició en el 2002, y en los años subsecuentes ha avanzado de manera continua en un proceso de retroalimentación y aprendizaje.

Palabras Clave: Política pública, áreas verdes urbanas, percepción remota, geocibernética, transdisciplina, comunicación, reconocimiento de patrones, retroalimentación, aprendizaje.

ABSTRACT

This work represents transdisciplinary research in which geocybernetics and remote sensing have made relevant scientific contributions in response to societal demands. With the support of a conceptual meta-diagram, bridges between society, public policy and remote sensing are described, which are constructed based on elements fundamental to geocybernetics (communications, feedback and learning) and serve as a guide for the investigative process.

The 2002 Inventory of Urban Green Spaces Project (Inventario de Areas Verdes Urbanas - IAVU) is presented, as well as certain elements related to the design of urban environmental public policy with the participation of networks of government and academic actors for the case study of Mexico City, Mexico. These networks developed communications and feedback processes as part of a transdisciplinary collaboration with a territorial focus. Incorporating the spatial dimension in the different levels of government responsible for the management of Urban Green Areas enabled identifying imbalances in the distribution of green areas in this region. By integrating different knowledge models, it also served as a key element in the communications process. The data obtained through innovative remote sensing processes resulted in an instrument with conceptual, technical and operational contributions that support the identification of geospatial patterns and the follow-up of territorial dynamics. The research began in 2002, and has continuously advanced over the following years through its process of feedback and learning.

Keywords: Public policy, urban green areas, remote sensing, geocybernetics, transdisciplinary, communication, pattern recognition, feedback, learning.

1. INTRODUCTION

En este trabajo se presenta una propuesta que considera elementos conceptuales de la geocibernética (Reyes y Parás 2010) y la percepción remota en el desarrollo de proyectos de investigación que tienen aplicación en política pública que beneficie a la sociedad. A través de un meta-diagrama se explica la forma de construir puentes entre: la política pública, la geocibernética y la percepción remota, basados en una investigación que se desarrolla en marcos de **transdisciplina** y **comunicación**. La transdisciplina proporciona una interacción desde un

dominio empírico a un dominio de conocimiento científico, y establece enlaces en los espacios vacíos entre disciplinas. La comunicación, por su parte, crea un eje entre diferentes actores que proporcionan sus conocimientos en la evolución de las ideas y acciones para responder a varias problemáticas en temas sociales, económicos y ambientales.

Para entender este proceso se muestra el meta-diagrama de la figura 1, como una guía conceptual y que considera los puntos descritos a continuación:

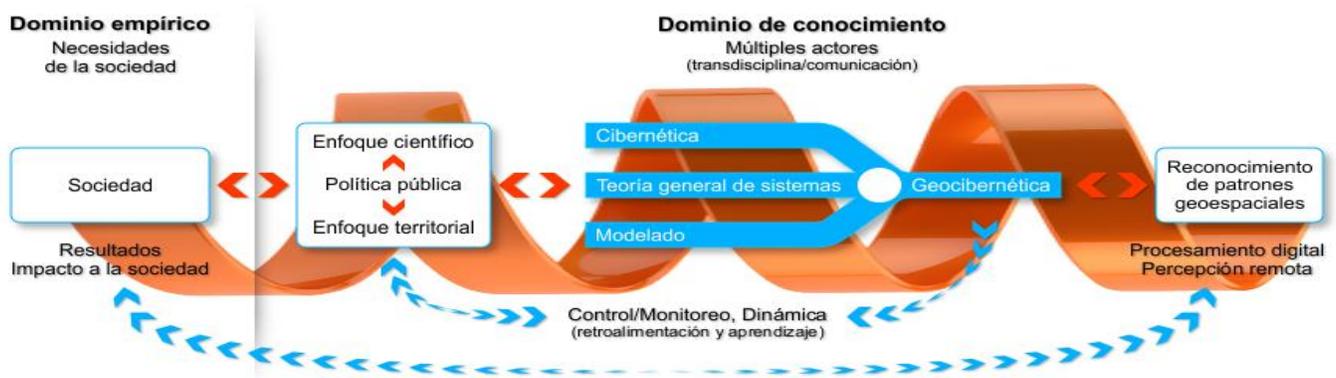


Fig. 1 Metadiagrama. Se muestran los ámbitos de conocimiento en política pública, geocibernética, percepción remota; en un modelo transdisciplinario sin restricciones de fronteras, que permitieron procesos de comunicación basados principalmente en conversaciones sobre el territorio que son las bases para orientar y enriquecer los procesos de política pública.

- 1) Inicia a través de abordar **necesidades de la sociedad** que requieren información y conocimiento geoespacial para propósitos específicos. Los problemas se formulan como un diálogo entre un número amplio de actores y sus perspectivas en un lenguaje ad hoc (Gibbons y Nowotny 2001, 69), en ese grupo llegan a un acuerdo acerca del problema planteado. Se desarrollan procesos de colaboración, negociación y gestión. El gestor del conocimiento por su parte actúa como enlace y ayuda a entender los diferentes insumos suministrados por la sociedad.
- 2) Avanza en el proceso de **política pública (PP)** en su propio dominio de conocimiento que requiere de metodologías que faciliten el desarrollar estrategias que apoyen la toma de decisiones. Asumimos en este estudio que la elaboración de políticas públicas urbano-ambientales tiene un **enfoque científico y territorial**; en particular este último considera la visión de la sociedad en el territorio (planeación territorial, ecología del paisaje, competitividad, sustentabilidad, entre otros), y se direccionan las políticas en concordancia con las particularidades de cada territorio.
- 3) Continúa con líneas de conocimiento conductoras desde **la cibernética, la teoría general de sistemas, y el modelado** (Reyes 2005, 66) que son guías en el desarrollo de líneas de investigación. La geocibernética proporciona los elementos para enfrentar nuevos planteamientos integradores para entrelazar conceptos, métodos, técnicas, instrumentos y herramientas de muchas disciplinas, y adoptar las ideas conceptuales más importantes para encontrar respuestas a las aplicaciones y problemas planteados. (Reyes 2005, 63-97, Reyes et al. 2006, 7-20) por ejemplo, ha mostrado la aplicación de estos conceptos en trabajos de cibercartografía.
- 4) El enfoque **geocibernético**, desarrolla marcos teóricos para resolver problemas en el territorio donde se identifican los contextos geoespaciales de un proceso social. Las soluciones propuestas durante el proceso de investigación construyen redes de conocimiento, basadas en ejercicios transdisciplinarios (Parás 2008), por medio de alianzas y colaboración entre actores de instituciones, organizaciones y la academia. El desarrollo de este proceso toma elementos

conceptuales de la cibernética a través de la comunicación, la conversación, lenguaje espacial y la construcción de modelos de conocimiento como son los prototipos geomáticos (López 2011, 7, 118), en donde los servicios de información geoespacial son integrados y los ámbitos cognitivos claves del proceso se identifican. Esto requiere de individuos conocedores de los fenómenos de interés, ya que sus conocimientos se deben fusionar o entrelazar con los de los especialistas en geomática para construir un modelo geoespacial del proceso que entienda las temáticas, necesidades y problemáticas en el contexto socio-espacial (Martínez y Reyes 2005, 107).

- 5) El **reconocimiento de patrones** con un enfoque geocibernético identifica ciertas características del lugar observado, los retos son identificar patrones significativos (Wiener 1948, 21; Byers 2007, 200 y Nechansky 2012, 446) que proporcionen un mejor entendimiento del lugar, y evaluar su comportamiento funcional y estructural.

La identificación de patrones se realiza a través de una “conectividad digital” de comunicación entre personas y máquinas basadas en geotecnologías. Un instrumento en este ámbito son las imágenes de satélite, que realizan la tarea de observación y generación de información necesaria para abordar preocupaciones ambientales en un entorno del medio urbano. El reconocimiento de patrones digitales y la creación de **expresiones geoespaciales** a través de la percepción remota (PR) y procesamiento digital, está soportada en la investigación básica de algorítmicas nuevas como son las técnicas de fusión de imágenes, clasificadores digitales, extracción de variables biofísicas y caracterización de la estructura espacial de un patrón determinado (forma, diversidad, vínculos con otros elementos, contigüidad, dinámica y cambio).

El conocimiento se hace visible a través de expresiones geoespaciales y bases de datos que permiten a un sistema de reconocimiento de patrones, ser el soporte de un sistema de **aprendizaje** que almacene los patrones resultantes observados, que establecen estándares para la comparación de patrones futuros. Para hacer frente a las tareas aprendidas para el sistema de reconocimiento de patrones se desarrollan

análisis cualitativos y cuantitativos. El proceso de creación de conocimiento tácito tiene que ser explicitado, seleccionado y organizado de modo que pueda conducir al establecimiento de reglas claras, es decir, que permita tener los mecanismos de control capaces de reunir información espacio- temporal sobre fluctuaciones de cambio.

- 6) Los resultados obtenidos tiene impactos en la sociedad a través del diseño de políticas públicas, y su aplicación para la atención oportuna de tendencias detectadas y/o para apoyar actividades, planes, estrategias, entre otras. Como resultado, las políticas públicas se transforman en planes de acciones que satisfacen las demandas de la sociedad.
- 7) Es importante apuntar que en el **dominio empírico**, se adopta como caso el estudio de las áreas verdes urbanas (AVU) del D.F., donde inicialmente su problemática era determinar su deterioro, pérdida, abandono, además de la escasa información de su distribución espacial, así como los procesos de discusión, diseño y construcción de políticas públicas que se desarrolló a través de la comunicación y construcción de conocimiento de redes de actores, basados en un modelo transdisciplinario, donde se identificaron los principales procesos que determinan las tendencias y la conservación de las AVU, y de esta forma se establecieron enfoques y marcos conceptuales en torno a mejores instrumentos de política pública. En este sentido, en el 2002 se cristalizó el inventario de áreas verdes urbanas (IAVU) en la ciudad de México (Inventario de Áreas Verdes Urbanas 2002) dando soporte a los procesos de política pública, y en especial, al diseño e instrumentación de un monitoreo urbano. La investigación inicia en el 2002, en los años subsecuentes avanza y continúa en un proceso de retroalimentación y aprendizaje.

Con lo anteriormente descrito, en este artículo se presentan las aportaciones desde la geocibernética y la percepción remota a la política pública de áreas verdes urbanas organizándolas de acuerdo al diagrama de la figura 1. De esta manera se incorporan las secciones relativas al caso de estudio de áreas verdes, la política pública desde un enfoque territorial y el reconocimiento de patrones geospaciales. En este último se muestran los beneficios de recursos de los sensores remotos

satelitales, donde la utilidad de la información obtenida mejora los esfuerzos para conocer su distribución espacial, caracterización y clasificación de las AVU's. La última sección incorpora las reflexiones en torno al impacto a la sociedad. El enfoque geocibernético es transversal a los procesos de construcción de marcos de conocimiento, comunicación e interacción con la sociedad, y por la tanto se puede identificar en cada una de las secciones antes mencionadas. Finalmente se presentan las conclusiones más relevantes de la investigación.

2. CASO DE ESTUDIO: ÁREAS VERDES URBANAS

Problemática ambiental de AVU

Las necesidades de la sociedad de manera general, se centran en poder contar con un medio ambiente urbano que permita mejorar la calidad de vida de los habitantes. Las AVU son un factor importante para ello, ya que la vegetación urbana mejora la calidad del aire, y regula de la temperatura. Las islas de calor urbano se manifiestan como focos de mayor temperatura situados sobre las ciudades; las causas físicas de este fenómeno (Oltra-Carrió et al. 2010, 70) son la absorción de calor por techos y paredes de casas y edificios, así como una gran cantidad de zonas pavimentadas, vías rápidas y estacionamientos, entre otros. Esto causa que la temperatura superficial no disminuya, debido a un alto porcentaje de superficies impermeables y a menores áreas con vegetación o suelo desnudo, lo que significa que hay menos árboles, arbustos y otras plantas que puedan enfriar el entorno urbano (Heidt y Neef 2008, 84-96).

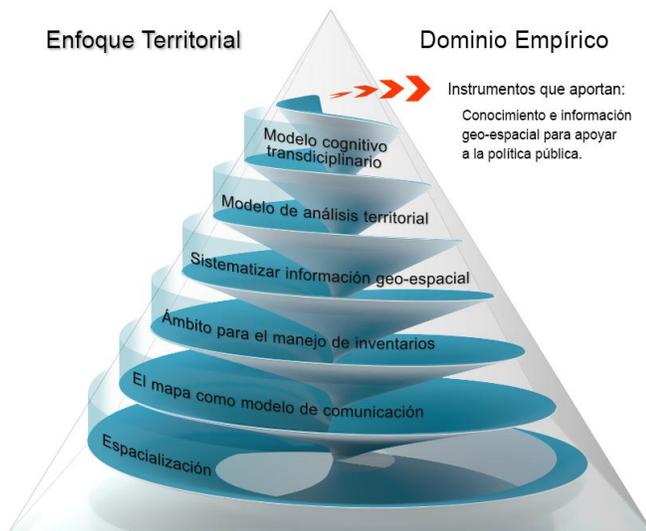
Los espacios verdes urbanos en el Distrito Federal han sido objetos de investigación por parte de CentroGeo, la Secretaría del Medio Ambiente (SMA), las Delegaciones Políticas, y la Procuraduría Ambiental y de Ordenamiento Territorial, (PAOT). A través de actividades multi y transdisciplinarias se han desarrollado temas de trabajo como lo son: funciones físicas, gente-naturaleza, evaluación, manejo y gobernanza.

3. POLITICA PÚBLICA-ENFOQUE TERRITORIAL

El enfoque territorial en las políticas públicas se orienta a la elaboración de una propuesta de plan de manejo a través de una metodología de análisis espacial de las áreas verdes. A partir de este enfoque se reconocen nuevos problemas y necesidades de la sociedad sobre la localización, forma y configuración en relación con la distribución espacial de los habitantes de la ciudad y sus

áreas verdes. Se identifican las necesidades en torno a su mantenimiento y a su gestión como: los recursos humanos, la información y la infraestructura para la atención de AVU de acuerdo al tamaño de la delegación; a la cantidad de áreas verdes con que cuentan; y la importancia que éstas tengan en la imagen de cada zona delegacional.

En la figura 2 se muestran varios niveles de generación de conocimiento e información geoespacial que ayudan al mejor entendimiento del manejo de un IAVU como instrumento de política pública con enfoque territorial. En la base de la pirámide encontramos la espacialización de los datos estadísticos. Éstos se representan en un espacio-mapa obtenido de la imagen de satélite para comunicar y retroalimentar sobre las AVU.



Diseño conceptual: Original de C. Reyes. Comunicación personal, 2002 y 2012

Fig. 2 Inteligencia Social en un marco geoespacial.

En niveles intermedios de la pirámide se encuentra el inventario en AVU de los distintos sectores públicos, que brindan atención a las AVU referidas a un territorio, así como el manejo sistemático de la información contenida en las bases de datos de inventario de las AVU y de infraestructura como ejemplo: jardines, parques, deportivos y espacios abiertos. A medida que aumentan los niveles en la pirámide se presenta un enfoque eminentemente analítico para su utilización en la toma de decisiones, y aquí se encuentra la posibilidad de aplicar modelos de análisis territorial y modelos cognitivos transdisciplinarios, que se enriquezcan con los

conocimientos y experiencias del conjunto de actores del sector social, que ayuden a explicar el funcionamiento y, si es posible, el comportamiento de las AVU.

En el tope de la pirámide se cuenta con los instrumentos que aportan el conocimiento e información geo-espacial para apoyar la política pública y la toma de decisiones. Así, el conocimiento sobre el territorio permite conformar un primer diagnóstico y compartir e integrar información de diversas instituciones; coordinar los recursos y políticas entre los diferentes actores sociales e institucionales, así como los inventarios al establecer modelos geoespaciales de tipo social de territorios específicos.

4. RECONOCIMIENTO DE PATRONES GEOESPACIALES

La percepción remota facilita la identificación de patrones que apoyen las tareas de retroalimentación dentro del marco de control y monitoreo. En el caso de las AVU fue necesario encontrar patrones para generar expresiones geoespaciales a partir de percepción remota con el objetivo de representar y comunicar estas nociones geoespaciales. La Estructura de AVU se caracteriza por las diferentes variantes en la tipología en la Ciudad, las unidades territoriales son los jardines, los parques, los deportivos, los espacios abiertos y las zonas de conservación ecológica, generalmente están distribuidas de manera dispersa y su tamaño varía desde muy pequeñas hasta relativamente grandes. Otras unidades son las privadas y las semipúblicas tales como los jardines de las casas y las escuelas. La distribución de estos patrones, sus relaciones espaciales, la variedad espacial (diversidad), la forma (compacidad), la conectividad en el contexto urbano-periurbano, su contigüidad y la dinámica espacio-temporal cambiante, son características que se pueden reconocer con técnicas de procesamiento digital.

Los esfuerzos para la obtención de patrones espaciales en las áreas verdes se pueden describir con dos enfoques:

- a) Aplicación de Técnicas de Procesamiento digital. Mallinis *et al.*, 2009 aplicaron un método semi-operativo con el fin de discriminar con precisión los bosques naturales de zonas no forestales (matorrales y pastizales) siguiendo criterios de definición legal. El estudio fue parte de un programa de investigación para desarrollar de un bosque nacional, con imágenes de muy alta resolución Quickbird, y evaluar la utilidad de un procedimiento de fusión con el fin de mejorar la clasificación resultante. La fusión de imágenes se ha

utilizado ampliamente en la percepción remota aprovechando la mejora de resolución espacial y espectral, los beneficios potenciales derivados de la fusión en las AVU de la Ciudad de México se reportan en López, 2003 y López-Caloca *et al.*, 2004 con imágenes IKONOS; Kosaka *et al.*, 2005, reportan igualmente un análisis basado en extracción de objetos de una imagen fusionada de Quickbird para AVU. Para el caso de estudio se aplicaron las técnicas de procesamiento digital como lo es la fusión de imágenes.

- b) Modelos ecológicos. Entre estos tenemos los corredores verdes, la ecología de paisaje urbano, las redes ecológicas y los cinturones verdes como métodos de aproximación de entendimiento de la dinámica de las AVU (Breuste *et al.* 2008, 1139–1140). Las redes ecológicas han sido estudiadas a partir de la revisión de los corredores de espacios verdes urbanos para considerar una estructura ecológica de la ciudad y el contexto natural suburbano (Aminzadeh y Mahdi 2010, 23).

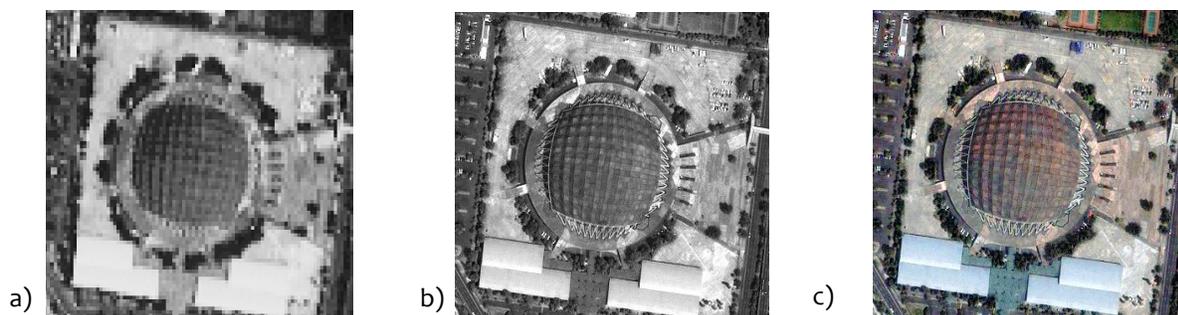
4.1. Metodología por fusión de imágenes

La fusión de imágenes multispectrales (MS) de baja resolución con una banda pancromática (PAN) de alta resolución tiene como propósito mejorar el contenido de información espacial, pero también conservar el contenido de información espectral en cada una de las bandas multispectrales para el análisis de firmas espectrales, tales como los de vegetación y suelo. La selección del sensor dependerá de sus propias características y del satélite como pueden ser: órbita, plataforma, resolución temporal, espacial y espectral (Pohl y Van Genderen 1998, 824) también depende de la cobertura del satélite y limitaciones atmosféricas tales como nubes en las imágenes MS. El siguiente paso es elegir un nivel de fusión adecuado, la fusión por medidas estructuradas se divide a nivel de características, nivel de decisión y nivel de datos en el dominio espacial ó espectral; aquí se manejó a nivel pixel en el dominio espacial. Los pasos de pre- procesamiento dependen de este nivel. La geocodificación, las correcciones geométricas de los datos, detalles como el modelo geométrico, los puntos de control (número, distribución, precisión), el modelo digital de terreno, el método de remuestreo, entre otros, tienen un papel esencial. Ya que un mal registro puede causar colores artificiales o figuras

en datos falsos y alterar la interpretación. Esto incluye el remuestreo de los datos de la imagen para un espacio píxel común y proyecciones a mapas.

La decisión de escoger la técnica de fusión más indicada está relacionada con la aplicación. La idea de fusión es mejorar la calidad de la imagen resultante en resolución espacial y conservar la espectral. Para establecer los criterios de la técnica de fusión, se evaluaron los métodos multiresolución de onduleta (Wavelet) de Mallat y 'à trous' los cuales incorporan detalles espaciales de la imagen pancromática que no están presentes en las imágenes MS. La información de detalle por ejemplo bordes, se colectan en los coeficientes de onduleta o planos de onduleta, obtenidos con los algoritmos de Mallat ó 'à trous', mismos que pueden incorporarse a las imágenes multispectrales por adición o sustitución. El algoritmo de 'à trous' tiene las propiedades de invariancia al desplazamiento, no es decimada, aunque es una transformación redundante, es el más utilizado y fue empleado para este caso de estudio. Los métodos de fusión basados en el método aditivo están reportados por Yocky D. A., 1995; con las transformaciones intensidad-matiz-saturación (IHS) y componentes principales (CP), algunas modificaciones al método IHS y el método CP están reportados en Nuñez J. *et al.*, 1999.

La idea básica del método aditivo es insertar los detalles espaciales de la imagen pancromática en la componente de intensidad obtenida de la IHS en forma aditiva y posteriormente, aplicar la transformada inversa. En este método se fusionaron imágenes MS y la pancromática (IKONOS) con una resolución espacial de 4m y 1m, respectivamente. Esta metodología fue aplicada por González-Audícana M. *et al.*, 2004. Los pasos son los siguientes: aplicar la transformada IHS a la composición RGB de la imagen multispectral y se obtiene la componente de intensidad; generar una nueva imagen pancromática, cuyo histograma se iguala a la de la imagen de intensidad, se aplica la descomposición usando el algoritmo de 'à trous' a la imagen pancromática con el histograma modificado, se añaden estos planos de Wavelet a la nueva imagen de intensidad; e insertar la información espacial de la imagen pancromática en la multispectral a través de la transformada inversa IHS a RGB. Un acercamiento de los resultados de fusión se muestra en la figura 3. En la figura 3c se muestra el resultado del proceso de fusión entre MS y PAN.



Fuente: Alejandra A. López-Caloca y Enrique Muñoz-Goncen

Fig. 3. Ejemplos de la técnica de fusión.

a) Imagen Multiespectral 4m, b) Imagen Pancromática 1m, c) Imagen fusionada con mayor destalle espacial y propiedades espectrales adecuadas.

La validación en la información espectral en los resultados de fusión se realizó con el método ERGAS (protocolo Wald) (Wald 2002, 143, 163). La imagen fusionada presentó resultados aceptables en el análisis de tipo estadístico ERGAS, análisis espacial e interpretación de productos generados a través de la transformación como Tasselep Cap, lo que implica que el método conserva las propiedades multiespectrales de las bandas originales y genera un conjunto nuevo de imágenes MS con alta resolución. El mosaico se clasificó para cada delegación, se formó un mosaico de tipo de coberturas e índices de actividad fotosintética, los productos fusionados, también se clasificaron y se incorporaron índices de vegetación normalizado (NDVI). La validación se realizó con inspección visual e información de campo. La evaluación objetiva se realizó con la clasificación isodata (matriz de error y el índice kappa) (figura 4); el porcentaje de precisión fue 99%. Las técnicas de fusión que se desarrollaron fueron utilizadas en el IAVU para dar una idea de la distribución de patrones de áreas arboladas urbanas y bosques rurales (para cada delegación $m^2/habitante$).

5. IMPACTO A LA SOCIEDAD

El marco de trabajo en actividades multi y transdisciplinarias se basó en la identificación de necesidades y prioridades de AVU y en relación al territorio de las AVU, se consolidó a través de un proceso de comunicación entre las diversas partes interesadas, con el soporte de un convenio interinstitucional del CentroGeo con la Secretaría del Medio Ambiente (SMA) del D.F., que incorporó a las Delegaciones políticas de la Ciudad de México. Estas interacciones estructuraron una red de actores y al mismo tiempo, se trazaron diversos puentes



a)



b)

Fuente: Alejandra A. López-Caloca y Enrique Muñoz-Goncen

Fig. 4. Clasificación isodata.

a) Imagen fusionada, composición banda 3 (rojo), 2 (verde), 1 (azul). b) La clasificación de áreas verdes obtenidas bosques y pastos.

de comunicación entre el ámbito de la geomática y la política pública. Las necesidades y prioridades se formularon en esta red, llegando a acuerdos y acciones a seguir.

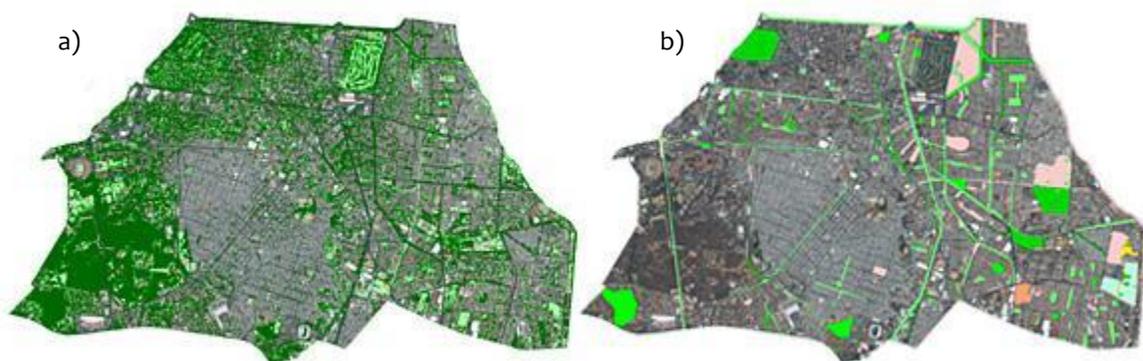
Dentro de los alcances se reconoció la necesidad de consolidar una política pública diferenciada territorialmente para las AVU, lo que permitió un claro acercamiento entre los ámbitos de la política pública y el ámbito de la geomática. En esta dirección es fundamental incorporar al marco jurídico-institucional el conocimiento sobre la heterogeneidad, la situación ambiental y la dinámica de cambio en las AVU; para estos fines un aporte esencial es el IAVU. El inventario se construyó de forma transdisciplinaria y conjuntó los elementos de contexto, regionalización ecológico-ambiental, inventario, evaluación y manejo integral de las AVU. Esta solución incluyó los resultados de la percepción remota y el análisis espacial como factores del enfoque territorial para avanzar hacia una evolución adecuada de la política pública en esta materia.

Hay una serie de beneficios potenciales derivados de los procedimientos de fusión que fueron utilizados en el caso de las AVU de la Ciudad de México, los productos de fusión de imágenes que pueden llegar a los usuarios son:

- 1) A través de un espacio-mapa obtenido por la fusión e imágenes de IKONOS se realizaron reuniones y talleres con las delegaciones, comités y autoridades centrales; se verificaron y evaluaron las áreas verdes; se enriquecieron los planes de manejo delegacional, y se diseñó la plantilla del reporte de inventarios.
- 2) Al tener como referente la recomendación internacional de la ONU en torno a número de metros

cuadrados de área verde por habitante, con el inventario de áreas verdes urbanas (IAVU, 2002) los resultados de percepción remota y las interacciones entre actores, se logró una aproximación sobre la situación en la Ciudad de México; se establecieron las bases para aprender y comprender el deterioro ambiental e impacto social, la distribución espacial desigual, las pérdidas de cantidad de biomasa arbórea en el tiempo, el abandono (sin mantenimiento público), la presión por densificación y redensificación de zonas habitacionales, las deficiencias en gestión y manejo de agua para riego y de infraestructura para actividades lúdicas y de recreación, todo esto como una etapa inicial de retroalimentación.

En la Figura 5a se presentan los datos obtenidos de áreas de bosques y pastos a partir del tratamiento digital en las imágenes de satélite que dio información sobre la distribución espacial. La figura 5b muestra un ejemplo del manejo de las unidades territoriales a nivel delegación, a partir de los procesos de intercambio y ajustes, se reconocieron y actualizaron las áreas de manejo. El reconocer patrones geospaciales y la generación de información, completó etapas de comunicación entre estos ámbitos de conocimiento, y dejó avanzar en el diseño de un sistema de monitoreo y brindar seguimiento a futuro de las afectaciones o mejoras en las AVU.



Fuente: Imágenes obtenidas del IAVU para la Delegación Coyoacán

Fig. 5. Delegación Coyoacán

Imágenes obtenidas del IAVU para la Delegación Coyoacán. a) La imagen muestra la cobertura en zonas verdes obtenidas a partir de análisis de percepción remota; b) Se muestran las unidades territoriales obtenidas desde talleres y desarrollo de bases de datos colectivas en la actualización, la imagen muestra las áreas de manejo de jardines, parques, camellones, deportivos, espacios abiertos y zonas de conservación ecológica. Ambos datos se representan sobre la imagen de satélite.

Entre los avances más significativos destaca la evolución de los instrumentos de política pública, que logra una visión, y manejo integral de todo el recurso natural ubicado espacialmente en el territorio del D.F., no sólo de su zona urbana sino también la zona periurbana. La PAOT (PAOT 2010) ha realizado estudios posteriores, en el 2006 incluyó el desarrollo de indicadores de calidad del arbolado urbano y el indicador de riqueza de especies de arbolado urbano; en el año 2009 se realizó un estudio orientado a la identificación de corredores y sus áreas de influencia en cuanto a su dinámica y cambio como un proceso de monitoreo y retroalimentación. En esta dirección apunta la propuesta de conformación de un Sistema de Áreas Verdes para el Distrito Federal (SAVDF 2011), elaborada por CentroGeo en 2011.

6. CONCLUSIONES

Este trabajo muestra la investigación transdisciplinaria donde los actores contribuyeron a tratar los problemas de servicios ambientales de las AVU que benefician a los habitantes; y contar con información sobre las áreas verdes urbanas y la relación con la dinámica de las personas lo que contribuye a que las políticas públicas incorporen en su enfoque las potencialidades y necesidades de bienestar a la población.

El organizar esta información permite una planeación en su manejo desde una perspectiva territorial para mejorar su mantenimiento. Es importante que una política pública para la gestión de las áreas verdes urbanas, sea un curso de acciones informadas y basadas en el conocimiento acerca de éstas, y de su interacción con los habitantes usuarios y los gestores gubernamentales a lo largo del tiempo, ya que se trata de procesos dinámicos y cambiantes.

La incorporación de la dimensión espacial en los diferentes niveles de gobierno responsables de la gestión de las AVU en el D.F., mostró los desequilibrios en la distribución de áreas verdes en este territorio, la dimensión espacial como medio de comunicación integró diferentes modelos de conocimiento, y facilitó el intercambio del mismo, así como de iniciativas entre las diferentes instancias de gobierno involucradas, y por igual agilizó la verificación de sus bases de datos con el conocimiento de su personal operativo en campo.

El IAVU y las diversas iniciativas favorables al monitoreo tienen un papel importante en la retroalimentación del estado de las AVU, en especial, el inventario es un instrumento de gestión pública que facilita el manejo y cuidado de la vegetación (pastos y árboles), que informa y orienta al enfrentar problemas con la estructura e infraestructura urbana; y también que selecciona nuevos sitios para su asignación, diseño, desarrollo o transformación. Sean privadas o públicas las AVU, la percepción remota permite un análisis espacial que incluye a ambas, los productos obtenidos sirven para complementar la información en el inventario de las AVU que son de acceso público.

Dentro del marco de la geocibernética esto mostró ser una guía de fundamentos conceptuales para construir ligas de comunicación en procesos de colaboración, de monitoreo y retroalimentación, a nivel operativo y a nivel funcional ó de gestión.

Las técnicas de fusión que se desarrollaron en este trabajo resolvieron los problemas prácticos reales en la aplicación de espacios verdes urbanos, optimizando la calidad espacial de las imágenes IKONOS y conservando sus propiedades espectrales, situación que facilitó extraer información sobre las áreas verdes, superando a las fotos aéreas tanto en resolución como en costo. Los alcances de estas herramientas ayudan a avanzar en el diseño de un sistema de monitoreo mediante la retroalimentación del seguimiento, afectaciones o mejoras en las AVU; sin embargo, falta desarrollar más herramientas dentro del marco de la geocibernética, así como indicadores para evaluación y valoración sobre el estado y tendencia de los espacios verdes. La continua aparición de una gran cantidad de nuevos recursos tecnológicos representa un nicho de oportunidades para adoptar nuevos enfoques que den respuesta a las tareas de monitoreo y retroalimentación como son: lidar aéreo, termografía infrarroja e instrumentación en campo.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen las aportaciones de: Alejandro Mohar, Carmen Reyes, Juan Manuel Nuñez, y los apoyos institucionales de la Secretaría del Medio Ambiente (SMA), las Delegaciones políticas que conforman a la Ciudad de México y a la Procuraduría Ambiental y de Ordenamiento Territorial (PAOT).

INFORMACION DEL AUTOR

Alejandra A. López-Caloca es doctorada en Ingeniería Eléctrica en la disciplina de Tratamiento Digital de Imágenes y Señales y maestra en Ingeniería eléctrica, por la UNAM. Investigador titular en el Centro de Investigación en Geografía y Geomática “Jorge L. Tamayo” (CentroGeo). De 2011-2012, trabaja en líneas de investigación básica y aplicada, relacionadas con fusión de datos e imágenes; sistemas dinámicos; análisis espacio-temporal; detección de cambios; clasificadores digitales y percepción remota, entre otras. Ha dirigido 11 tesis de maestría y una tesis de doctorado. Es autor y coautor de artículos publicados en revistas especializadas internacionales y de libros de percepción remota y cambio climático. Docente en el Programa de Posgrado en Geografía en la UNAM y en CentroGeo.

E-mail: alopez@centrogeo.org.mx

Enrique Muñoz-Goncen es Licenciado en Planeación territorial y maestro y especialista en Geomática. Actualmente candidato a Doctor en Geomática, se desempeña por igual en el área de proyectos en Política Territorial y Geomática, y como docente de la especialidad y maestría en Geomática para el Centro de Investigación en Geografía y Geomática “Jorge L. Tamayo” (CentroGeo). Sus temas de investigación se concentran en Geocibernética, Planeación y Política Territoriales, y Cartografía Participativa.

E-mail: emunoz@centrogeo.org.mx

REFERENCIAS

- Aminzadeh, B. & Khansefid M. 2010. “A case study of urban ecological networks and a sustainable city: Tehran’s metropolitan area.” *Urban Ecosyst* 13:23–36.
- Breuste, Jürgen., Niemelä Jari., Snep Robbert P. H.. 2008. “Landscape ecology provides approaches and methods for understanding the dynamics of urban green spaces. Applying landscape ecological principles in urban Environments.” *Landscape Ecol.* 23:1139–1142.
- Byers, William. 2007. *How Mathematicians Think: Using Ambiguity, contradiction, and Paradox to Create Mathematics.* Princeton University Press.
- Gibbons, Michael and Nowotny, Helga. 2001. *The potential of transdisciplinarity. Transdisciplinarity: Joint Problem Solving among Science, Technology, and Society.* Edited by Klein, Thomson J. et al. 3:67-80, Birkhäuser Verlag.
- González-Audícana, María., Saleta José Luis., García Catalán Raquel., García Rafael. 2004. “Fusion of Multispectral and Panchromatic Images Using Improved IHS and PCA mergers based on Wavelet Decomposition.” *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing.* 42: 6:1291-1299.
- Heidt, Volker and Neef Marco. 2008. “Benefits of Urban Green Space for Improving Urban Climate.” Edited by Carreiro M.M. et al. *Ecology, Planning, and Management of Urban Forests: International Perspectives.* SpringerLink. Part I. 84-96.
- Inventario de Áreas Verdes Urbanas. 2002. Gobierno del Distrito Federal, delegaciones políticas, SEMARNAT y CentroGeo.
- Kosaka, N., Akiyama T., Tsai T., Kojima T. 2005. “Forest Type Classification Using Data Fusion of Multispectral and Panchromatic High-Resolution Satellite Imageries.” *Geoscience and Remote Sensing Symposium. IGARSS '05. Proceedings.* IEEE International. 2980-2983.
- López, Alejandra. 2003. “Fusión de imágenes satelitales de la ciudad de México mediante métodos multirresolución.” Tesis de maestría. UNAM
- López, Fernando. 2011. “Un Aporte Teórico: El Prototipo Geomático.” Tesis de Doctorado en Geomatica, Centro de Investigación en Geografía y Geomatica Ing. J.L. Tamayo, México. 7, 118.
- López-Caloca, Alejandra A., Mora Franz, Escalante-Ramírez Boris. 2004. “Mapping and characterization of urban forest in Mexico City.”, Paper presented at *Proc. SPIE* 5239, Remote

- Sensing for Environmental Monitoring, GIS Applications, and Geology III. Accessed February 13, 2004. 522.
- Mallinis, G., Karamanolis, D., Karteris, M., Gitas I. 2008. “An object based approach for the implementation of forest legislation in Greece using very high resolution satellite data.” *Object-Based Image Analysis, Lecture Notes in Geoinformation and Cartography*. 3:309-325, Springerlink.
 - Martínez, Elvia and Reyes María del Carmen. 2005. “Cybercartography and Society.” Edited by Taylor D. R. F. *In Modern Cartography Series*. Amsterdam, Elsevier, 4:107.
 - Nechansky, Helmut. 2012. "Elements of a cybernetic epistemology: Pattern recognition, learning and the base of individual psychology." *Kybernetes* 41: 3:444- 464.
 - Núñez, J., Otazu, X., Fors, O., Prades, A., Palà, V., Arbiol, R.1999. “Multiresolution-Based Image Fusion with Additive Wavelet Decomposition. “ *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*. 37: 3:1204-1211.
 - Oltra-Carrió, R., Sobrino J.A., Gutiérrez-Angonese J., Gioia A., Paolini L. y Malizia A. 2010. “Study of the urban growing, the vegetation structure and the land surface temperatura of the Gran San Miguel de Tucumán, Argentina.” *Revista de Teledetección* 34:69-76.
 - Parás, Margarita. 2008. “Aportes al desarrollo científico en Geomática: un enfoque de conocimiento transdisciplinario.” Tesis de Doctorado en Geomática, Centro de Investigación en Geografía y Geomática Ing. J.L. Tamayo, México. Unpublished.
 - Pohl, C., & Van Genderen, J. L.1998. “Multisensor image fusion in remote sensing: concepts, methods and applications.” *International Journal of Remote Sensing*, 19: 5: 823-854.
 - Procuraduría Ambiental y del Ordenamiento Territorial del D.F. 2010. “Presente y futuro de las áreas verdes y del arbolado de la ciudad de México.” Libro de las áreas verdes del D.F. formato digital.
 - Reyes, Carmen and Parás Margarita. 2010. “Geocybernetics and Science 2.0.” Paper presented at World-Multi-Conference on Systemics, Cybernetics and Informatics:WMSCI2010, Orlando, Florida, USA, June 29-July 2. Accessed June 29, 2010. http://www.iiis.org/CDs2010/CD2010SCI/S2ES_2010/PapersPdf/SB117JY.pdf
 - Reyes, Carmen., Taylor Fraser D.R., Martinez Elvia., López Caloca Fernando. 2006. “Geo-Cybernetics: A New Avenue of Research in Geomatics?.” *Special Issue of Cartographica on Cybercartography*, 41:1:7-20.
 - Reyes, María del Carmen. 2005. “Cybercartography from a Modelling Perspective.” *Cybercartography: Theory and Practice*. Edited by Taylor D. R. F. *In Modern Cartography Series*. Amsterdam, Elsevier, 4: 63-97.1
 - Sistema de Áreas Verdes para el Distrito Federal. 2011. “Carpeta de Proyecto: estudio sobre los impactos de la aplicación y cumplimiento de la legislación, políticas y normas en materia urbana y ambiental en los servicios ambientales del Distrito Federal.” CentroGeo- PAOT.
 - Wald, Lucien. 2002. “Data fusion definitions and architectures, fusion of images of different spatial resolutions.” *Les Presses de l'École des Mines, Paris*.143-163.
 - Wiener, Norbert.1950. *The Human use of Human Beings: Cybernetics and Society*. Houghton Mifflin, Boston.
 - Yocky, David A. 1996. “Multiresolution Wavelets Decomposition Image Merger of Landsat Thematic Mapper and Spot panchromatic Data.” *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*. 62:9:1067-1074.