





DOI: 10.24850/j-tyca-2024-04-10

Notas

# Modelo para estimar demanda de servicios públicos urbanos, zonificados, aplicando sistemas de información geográfica

# Model to estimate urban public services demand, by zone, using geographic information systems

Carlos Roberto Cobos<sup>1</sup>, ORCID: https://orcid.org/0009-0005-9634-9489

José Anta<sup>2</sup>, ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2002-0618

María Teresa Teijeiro<sup>3</sup>, ORCID: https://orcid.org/0000-0001-6179-3348

Manuel Basterrechea<sup>4</sup>, ORCID: https://orcid.org/0009-0009-7058-9280

<sup>1</sup>Universidad de Santiago de Compostela, La Coruña, España, carlosroberto.cobos@rai.usc.es

<sup>2</sup>Universidade da Coruña, Centro de Innovación Tecnolóxica en Edificacioìn e Enxeñaría Civil (CITEEC), La Coruña, España, jose.anta@udc.es

<sup>3</sup>Proyectos y Planificación, Departamento de Ingeniería Agroforestal, Escola Politécnica Superior de Enxeñaría, Universidade de Santiago de Compostela, La Coruña, España, mteresa.teijeiro@usc.es

<sup>4</sup>Academia de Ciencias, Guatemala, asebaste@gmail.com



405







Autor para correspondencia: Carlos Roberto Cobos, cobos.carlosroberto@gmail.com

#### Resumen

Para el diseño y operación de cualquier servicio público, un elemento básico es determinar el número de personas a quienes se les prestará el servicio, no importando si es agua potable, drenajes, transporte o electricidad. Sin embargo, cuando los conglomerados urbanos son grandes o tienen ciudades dormitorio, la estimación de la población a servir se vuelve compleja, sobre todo porque los censos poblacionales por lo regular solo consideran la población residente en un territorio. Así, un distrito comercial o financiero puede tener una población residente relativamente pequeña, pero una población flotante considerable que, aunque solo trabaje, estudie o visite la zona, requiere los servicios básicos (agua, drenaje, etc.). Las mediciones de tráfico dan un valor global de cuántas personas ingresan a un municipio o territorio, pero difícilmente determinan cómo se distribuyen en las zonas urbanas. El modelo propuesto aprovecha las ventajas de los sistemas de información geográfica (SIG) para ubicar la demanda, calculando un estimado de la población a servir, en función de los metros cuadrados construidos y tipo de uso; esto permite no sólo determinar la población residente y flotante de una región, sino también sectorizar y delimitar áreas específicas para obtener los datos de población a servir en un sector, definiendo volúmenes de agua, redes, plantas potabilizadoras, tamaño de drenajes y descargas sanitarias, así como dimensionar plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR), o necesidades de transporte y servicio eléctrico.







El modelo se aplicó en la zona urbana del municipio de Guatemala, Guatemala, ubicado en América Central, obteniéndose la población residente y flotante por cada una de las zonas. El modelo permite definir la población flotante, estimarla a futuro con base en las proyecciones de área construida y ajustarlo conforme ocurran los cambios.

**Palabras clave**: población urbana, población residente, población flotante, modelos SIG, planificación municipal, planificación urbana, planes de ordenamiento territorial, demanda de servicios públicos.

#### **Abstract**

For the design and operation of any public service, a basic element is to determine the number of people to whom the service would be provided, regardless of whether it is drinking water, drainage, transportation or electricity. However, when urban clusters are large or have dormitory cities, estimating the population to serve becomes complex, especially since population censuses usually only consider the resident population in a territory. Thus a commercial or financial district, may have a relatively small resident population, but a considerable floating population that, although only working, studying or visiting the area, requires basic services (water, drainage, etc.). Traffic measurements give an overall value of how many people enter a municipality or territory, but hardly determine how they are distributed in urban areas. The proposed model takes advantage of Geographic Information Systems (GIS), to locate the demand, calculating an estimate of the population to be served, based on the square meters built and type of use. This allows not only to determine the resident and floating population of a region, but also to select and







delimit specific areas, to obtain the population data to be served in a sector, defining volumes of water, networks, water treatment plants, size of drains and sanitary discharges, as well as sizing wastewater treatment plants (WWTP) or transport and electric service needs. The model was applied in the urban area of the Guatemala Municipality, Guatemala, located in Central America, obtaining the resident and floating population for each of the zones. The model allows defining the floating population, to estimate it in the future based on the projections of built area and adjusting it as changes occur.

**Keywords**: Urban population, resident population, floating population, GIS models, municipal planning, urban planning, land use planning plans, public service demand.

Recibido: 02/05/2022

Aceptado: 22/03/2023

Publicado Online: 04/04/2023

#### Introducción

El modelo que se presenta es una propuesta que pretende determinar la demanda de un servicio público estimando la población tanto residente como flotante que requiere servicios; esto, en función del área construida y el tipo de uso. Se le ubicó espacialmente con un sistema de información geográfica (SIG). A la vez, facilita pronosticar los requerimientos de dicha







demanda a futuro con base en las proyecciones de crecimiento en los Planes de Ordenamiento Territorial (POT).

En general, para diseñar y operar los servicios es indispensable conocer la cantidad de población a servir. En el caso de poblados pequeños y con dinámicas de crecimiento normales, la estimación de la población de diseño y sus proyecciones a futuro es bastante directa. Pero cuando las áreas urbanas crecen y presentan dinámicas complejas, el cálculo de la población a servir se vuelve también complejo. Usualmente los censos miden con certeza la población residente, no así la flotante. Ante la falta de datos, los estudios proyectan solo la población censal para estimar la población en el territorio (Barillas, 2012), algunos incluyen el fenómeno migratorio y otros integran desplazamientos internos (Valladares-Vielman, 2008). En el caso de los centros urbanos metropolitanos —que se generan en la confluencia de diversas interacciones y que no siempre son iguales en las diferentes ciudades (Angel, Sheppard, & Civco, 2005; BM, 2015)— es difícil medir el tema de población, en especial la que se traslada de ciudades dormitorio a los centros principales de comercio y producción.

Es importante indicar que éste no es un modelo de población *perse*, sino más bien uno de demandas de servicio. Por ejemplo, puede haber un área construida que no está ocupada al 100%, pero el modelo calculará la población con ocupación al 100%, pues en teoría el encargado de suplir esa demanda debería tener la capacidad de prestar el servicio a toda el área construida o, por lo menos, prever qué acciones a futuro deberá realizar para prestar el servicio.







El modelo se aplicó en el municipio de Guatemala, capital de Guatemala, cuya dinámica poblacional se ve afectada por los municipios aledaños. Los municipios aledaños han crecido de forma vertiginosa conurbándose y creando una gran área metropolitana; si bien oficialmente no existe un área metropolitana definida, según diversos autores puede contemplar de 1 a 23 municipios (Morán, 1998).

El área metropolitana se ha expandido como se muestra en la Figura 1, apreciándose el crecimiento desde 1800 hasta el año 2000 y proyectado al 2020, con base en el proyecto de cartografía urbana del municipio de Guatemala y el Plan de Ordenamiento Territorial (POT) (DPU, 2010).



Ciencias Agua



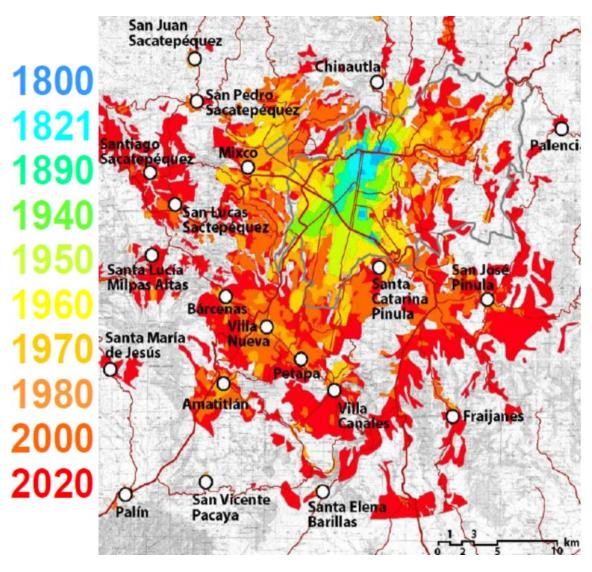


Figura 1. Crecimiento urbano (DPU, 2010).

En Guatemala, a finales de 2018, se realizó un censo de población a nivel nacional del cual aún no se tienen datos desagregados a nivel de zona urbana (INE, 2020). Anteriormente los únicos datos eran los del censo realizado en el año 2002. Sin embargo, a la fecha no se ha establecido, especialmente en la zona del área metropolitana de







Guatemala, una forma que permita estimar la población que requiere estos servicios. La dinámica poblacional que ha tenido en estos últimos 16 años el municipio de Guatemala ha sido afectada por lo siguiente: 1) una migración de los habitantes de la ciudad de Guatemala hacia los municipios vecinos, donde se desarrollaron grandes proyectos inmobiliarios de todo nivel (Villa Nueva, San Miguel Petapa, San José Pinula, Santa Catarina Pinula, Mixco, Fraijanes, Chinautla, etc.), y 2) en los últimos 4 o 5 años, la tendencia anterior parece estar revirtiéndose, al haber una oferta de nuevos apartamentos en edificios recién construidos dentro del municipio de Guatemala.

Por otro lado, la ciudad siguió siendo el centro cultural, comercial, económico y administrativo no solo de la región central sino de todo el país, por lo que la población flotante en la ciudad es significativa y, como ya se ha mencionado, hay que prestarle servicios (Mayorga, 2019).

Para estimar esa población flotante se han utilizado encuestas de origen y destino, determinando el origen de los vehículos que ingresan a la ciudad y a qué parte se dirigen. La última encuesta realizada por la Municipalidad de Guatemala (Mayorga, 2019) estimó en 2017 que la población que ingresa diariamente a la ciudad de Guatemala desde los municipios vecinos es de 1 551 433 personas. Si bien esta encuesta indica aproximadamente a las zonas donde se dirigen, no permite definir las áreas prioritarias de servicio dentro de dichas áreas.

Considerando que existe información generada para otros fines, ésta se puede integrar y utilizarse para determinar la demanda de servicios y ubicarla espacialmente por ser datos georreferenciados. A partir de ello se desarrolla el modelo en función de: 1) el mapa de área







construida (mapa de catastro); 2) uso del área (información de control urbano integrada al número catastral); 3) para las proyecciones a futuro (información de proyecciones de construcción del Plan de Ordenamiento Territorial (POT, 2006), que está actualmente en proceso de actualización), y 4) la categoría de la construcción con respecto a su nivel de calidad.

Esta información, si bien está dispersa, se puede consolidar en una sola capa de SIG, que aplicando una densidad por metro cuadrado de acuerdo con el uso y categoría de las construcciones permite determinar la población residente y flotante por zonas, al igual que áreas más pequeñas y específicas, como por ejemplo, una colonia o un barrio dentro de una zona.

La intención con este modelo es que sea aplicable sobre todo para diseñar, mejorar, planificar y operar los servicios de agua potable, las redes de saneamiento, las plantas de tratamiento de agua potable y residuales, y en general para mejorar el manejo de los servicios públicos existentes.

Este modelo requiere modificarse conforme la información se vaya actualizando. Así, la población residente se deberá ajustar con los resultados publicados del nuevo censo y en el caso de la información catastral conforme haya mejor información (algunas zonas como la 18 y 21 no se encontraban totalmente catastradas en el mapa catastral de 2017 que se utilizó como base). También se deben tomar en cuenta las nuevas construcciones que se autoricen, al igual que los cambios en la tendencia de los usos de acuerdo con el comportamiento del mercado







inmobiliario, o nuevas normativas y regulaciones; las zonas de la ciudad se identifican en la Figura 2.

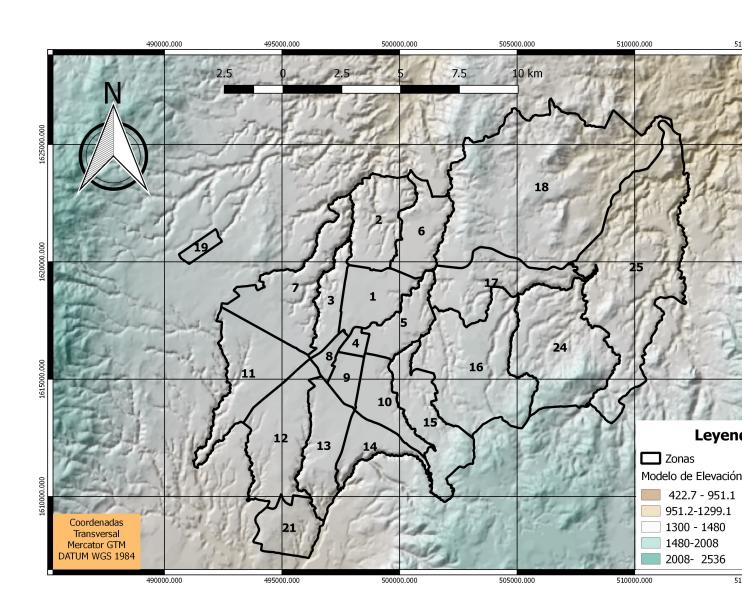


Figura 2. Zonas de la ciudad de Guatemala.







# Materiales y métodos

Se utilizaron tres computadoras estándar de oficina; en dos de ellas se ajustaron las diferentes capas, y en la tercera se procesó y corrió el modelo. Una ventaja es que no se requiere un equipo sofisticado para procesar la información del SIG, aunque sí debe cumplir con los requisitos mínimos del programa utilizado.

Se empleó la versión 2.18 "Las Palmas" del programa Quantum GIS (QGIS™), que puede descargarse en el sitio https://qgis.org/es/site/ (Proyecto QGIS, 2017), donde están el software y diferentes manuales. Este programa es un sistema de información geográfica (SIG), de Código Abierto licenciado bajo GNU (General Public License). El software no tiene especificaciones de hardware, por lo que se puede instalar prácticamente en cualquier equipo. Los equipos utilizados en este caso fueron procesadores previos a Pentium 4, discos con al menos 250 GB disponibles y RAM 4 GB. La velocidad del procesador y la falta de una tarjeta de video adicional pueden provocar que las operaciones sean muy lentas. Algunos sitios de Internet especializados en SIG recomiendan dos GB de memoria RAM como mínimo; un procesador Dual Core o Pentium gráfica 256 MB 4, aue la tarjeta tenga de memoria (https://acolita.com/las-mejores-computadoras-para-aplicaciones-sig/) (ArcGeek, 2020) (https://www.tecpa.es/cursos-on-line/ggis-medioambiente/) (TECPA, 2015).

La metodología usada para desarrollar el modelo conceptual se llevó a cabo en siete fases, las cuales se resumen a continuación.







#### **Fase I. Pruebas preliminares**

Se preparó una metodología preliminar, utilizando la zona 14 de la ciudad, donde participó personal de la Dirección de Planificación Urbana; se definió una densidad poblacional, y se determinaron usos de predios y categorías de construcción. Se definieron sectores homogéneos con base en el uso y nivel económico; cada sector homogéneo se identifica con un código único de sector homogéneo (CUSH), constituido por cinco dígitos. Sin embargo, esta metodología dependía del criterio del evaluador para definir los sectores homogéneos. El criterio del evaluador era muy subjetivo y discrecional, y no permitía generalizar el modelo para todas las zonas de una forma fácil y eficiente, por lo que el uso de este código único se descartó.

# Fase II. Definición de usos de los predios de acuerdo con la información existente

Para que el modelo fuese menos discrecional y más replicable se decidió usar la base de datos de construcciones, que definía el uso del predio, y otra con la categoría de los predios catastrados. La información disponible en la base de datos de construcciones se simplificó y agrupó, quedando finalmente los usos de predios que se muestran en la Tabla 1.



Tecnología y

Ciencias Agua





Tabla 1. Tipo de uso del predio.

Tipo	Descripción				
Residencial	Área dedicada exclusivamente para vivienda				
Comercial	Área dedicada a comercio, oficinas, centros comerciales				
Industrial	Área dedicada a empresas industriales (se usó una densidad común,				
	pues la base de datos no identifica el tipo de industria)				
Edificio	Área dedicada a oficinas públicas (se asume una densidad constante				
público	independiente de la categoría)				
Mixto	Área donde hay vivienda y comercio. Finalmente se definió un 20%				
	comercial y un 80% vivienda, a partir de una investigación preliminar de				
	la DPU (Tovar & Schlezinger, 2019)				
Otros	Aquí se dieron diferentes casos que estaban definidos en la base de				
	datos, pero que no coincidían exactamente con las mismas categorías				
	anteriores, por lo que se dieron valores diferentes				

# Fase III. Definición de las categorías de construcción

Se definieron cuatro categorías de acuerdo con el tipo de construcción, según la base de datos de construcciones y la calidad de construcción (Tabla 2).

Tabla 2. Categorías de construcción.

Tipo	Descripción		
Alta	Construcción de lujo de alto precio		
Media	Construcción con acabados de buena calidad y precio acorde		
Baja	Construcción con acabados de menor calidad		
Precaria	Construcciones de baja calidad y en asentamientos urbanos		







#### Fase IV. Definición de densidades de población

Una vez definidas las categorías de construcción y los usos prediales, se procedió a establecer las densidades de población. La densidad poblacional residencial fue la más difícil de estimar, se basa inicialmente en los datos disponibles de la zona 14, que tiene dos áreas: 1) una que tiene desarrollos de categoría alta y 2) otra de categoría media y baja.

En una primera prueba se identificó que algunos predios presentaban valores muy incongruentes con el tipo de construcción debido a la gran variación de tipo de unidades o apartamentos; por ello fue necesario hacer algunos ajustes. Para realizarlos se tomó en cuenta lo que se había hecho previamente en la fase I, así como una investigación de la DPU (Tovar & Schlezinger, 2019). La densidad poblacional residencial se modificó y contrastó de nuevo con los proyectos en oferta en las diferentes zonas, obteniéndose resultados que se ajustaban a la realidad. En cuanto al tema industrial, los valores son muy variables, dependiendo del tipo de industria, sin embargo los datos de uso del predio no especifican de qué tipo son. Para obtener el valor de densidad poblacional en industria, edificio público, hoteles y las instalaciones de uso especial, se aplicó una densidad poblacional promedio. Para cada caso se usó el consumo estimado de agua basado de las dotaciones del reglamento de agua potable de Empagua (Empagua, 2018), que estaba a veces por m<sup>2</sup> y en otros por habitante. El promedio de diferentes usos comerciales e industriales se aplicó para obtener una densidad por m<sup>2</sup>. Los valores se corroboraron en algunos predios donde se tenía una cierta

(https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)







certeza de la población. Finalmente, la densidad poblacional se muestra en el Tabla 3, ya ajustada y calibrada para el año 2019.

**Tabla 3**. Densidad poblacional: habitantes por cada 100 m² por categoría de la construcción y uso predial.

Uso	Categoría				
050	Alta	Media	Baja	Precaria	
Residencial*	3.5	4.5	6.0	9.0	
Comercial	10	15	24	24	
Industrial**	35				
Edificio público	24				
Mixto***	Área 80% residencial		Área 20% comercial		
Otros					
Colegios	24	75	110	110	
Hoteles	35				
Estacionamiento	1				
Parqueos al aire libre	0.1				
Edificio en construcción			0.1		
Residencial colegio****	20	70	100	150	
Residencial iglesia****	20	70	100	150	
Uso especial****	24				

<sup>\*</sup>Residenciales: densidad de la población residente.

<sup>\*\*</sup>Industrias: la densidad depende del tipo de industria, por lo que en el futuro deberá hacerse un análisis individual.

<sup>\*\*\*</sup>Mixto: el 80% del área utiliza la densidad residencial que le corresponda de acuerdo con la categoría; el 20% del área, la densidad comercial que le corresponda de acuerdo con la categoría.

<sup>\*\*\*\*</sup>Residencial colegio o residencial iglesia son instalaciones con internados.

<sup>\*\*\*\*</sup>Instalaciones especiales, como aeropuertos, museos, iglesias y mercados.







#### Fase V. Segunda prueba preliminar

Siempre usando como ejemplo la zona 14 (Figura 2), y utilizando las nuevas bases de datos, se ajustó la metodología para desarrollar el modelo. Una vez probado y ajustado el modelo en la zona 14, se procedió a definir el modelo conceptual para luego aplicarlo a todo el municipio.

#### Fase VI. Definición del modelo conceptual

Se definió el modelo conceptual para especificar claramente todas las etapas a seguir y minimizar la discrecionalidad en el proceso.

#### Fase VII. Aplicación del modelo a nivel municipal

Se preparó la cartografía de análisis, uniendo dos mapas: el primero, el de catastro (2014) y el segundo, el de construcción (2015) que estaban disponibles en la Dirección de Planificación Urbana (DPU). Se integraron estos dos mapas en una sola capa, que se simplificó para que tuviera solo la información relevante, como la siguiente: identificación del predio, zona de la ciudad, tipo de zona de plan de ordenamiento territorial, superficie del predio (m²), área construida del predio o huella (m²), número de niveles para determinar el área total construida (m²), tipo de uso del predio de acuerdo con lo definido en la fase II y categoría del predio con base en lo definido en la fase III. A la base de datos de esta capa se le







agregaron cinco campos adicionales: densidad residencial, densidad flotante, población residente, población flotante y población total.

De acuerdo con el tipo de uso del predio y de su categoría, se ingresaron las densidades poblacionales correspondientes. En el caso mixto, se ingresaron tanto la densidad residencial como la comercial; así, en el caso de áreas netamente residenciales, se multiplicó la densidad por el área total construida del predio correspondiente, obteniendo la población residencial del predio. En el caso de uso mixto, el área se afectó por un factor de 0.8 (80%), que se multiplicó por la densidad residencial para obtener la población residente; esa misma área se afectó por un factor de 0.2 (20%), que se multiplicó por la densidad de población comercial que le correspondía para obtener un valor de población flotante de ese predio. En el caso de los otros usos, se multiplicará el área total construida por la densidad poblacional correspondiente para obtener la población flotante. La población residencial será la suma de todos los valores de población residencial de cada predio; la población flotante será la suma de los valores de población flotante de cada predio. La población total es la suma de la población residente más la población flotante.

Los resultados acumulados por zonas se revisaron usando las proyecciones de población realizadas por la Dirección de Planificación Urbana (DPU), en dos hojas electrónicas: 1) mostrando las tendencias de uso por zona y 2) una proyección de población del 2014 al 2040, basada en información del INE, correspondiente al censo del 2002 (DPU, 2017-2018), se lograron valores de la misma magnitud en todas las zonas.

Después de la revisión anterior se procedió a correr el modelo; se acumularon los datos por zona para las poblaciones flotantes y residentes



Ciencias Agua



para 2019; luego se proyectan las áreas a construir con base en las proyecciones del POT para definir las poblaciones hacia futuro.

### Modelo conceptual final

Para construir el modelo es necesario organizar la información a utilizar e integrarla. El modelo conceptual consiste en nueve pasos, que se muestran en forma gráfica en la Figura 3. Posteriormente se describen con mayor detalle en cada bloque.

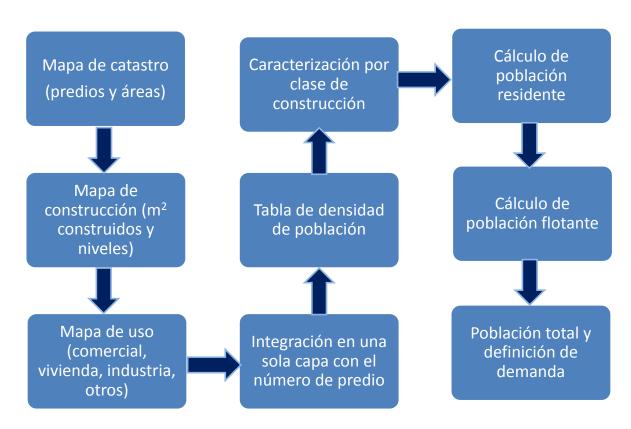


Figura 3. Modelo conceptual.

(https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)





- Simplificación de la base catastral (2017), eliminando la información sensible, como propietario y otros valores catastrales. Esta capa simplificada fue proporcionada por el Catastro Municipal a la DPU. Todo el modelo se realizó en la proyección geográfica para Guatemala (GTM) con Datum WGS 1984.
- 2. Se obtuvo la capa desarrollada por control de la construcción con el área construida y niveles por predio.
- 3. Se preparó otra capa con el uso del predio.
- 4. Las tres capas anteriores se integraron en una sola, con el número de predio como variable común entre las diferentes capas.
- 5. Se estableció la tabla de densidades poblacionales por metro cuadrado por cada tipo de uso del predio y categoría de construcción.
- 6. Se estableció una categorización de calidad de edificios por zona (este paso aún es discrecional).
- Para estimar la población residente, se estableció la cantidad de metros cuadrados construidos para residencia, considerando el uso del predio y la categoría, y se multiplicaron por su respectiva densidad.
- Para estimar la población flotante, se estableció la cantidad de metros cuadrados construidos para oficina, comercio y otros, considerando el uso de predio y la categoría, y se multiplicaron por su respectiva densidad.
- 9. Se estableció la población total sumando la población flotante y la residente. Luego, para calcular la demanda de agua potable, se







utilizó un valor de dotación diferente para la población flotante y otro para la residente. Los resultados se compararon con las poblaciones estimadas por diferentes métodos que realizó la DPU de la Municipalidad de Guatemala; no hubo discrepancias significativas en los totales de población del municipio. Una vez que se tienen los datos del modelo, se puede calcular la población por zona.

#### Resultados

En la Figura 4 se muestra la población residencial estimada para cada zona. Se puede observar que la zona 18, en el *norte* del municipio, y las zonas 7 y 11, al oeste, son las que cuentan con mayor población residencial. Por otro lado, en la Figura 5, la población flotante duplica la población residente en las zonas 1 y 12; mientras que en las zonas 4, 5, 9 y 10, la población flotante prácticamente quintuplica a la población residente.







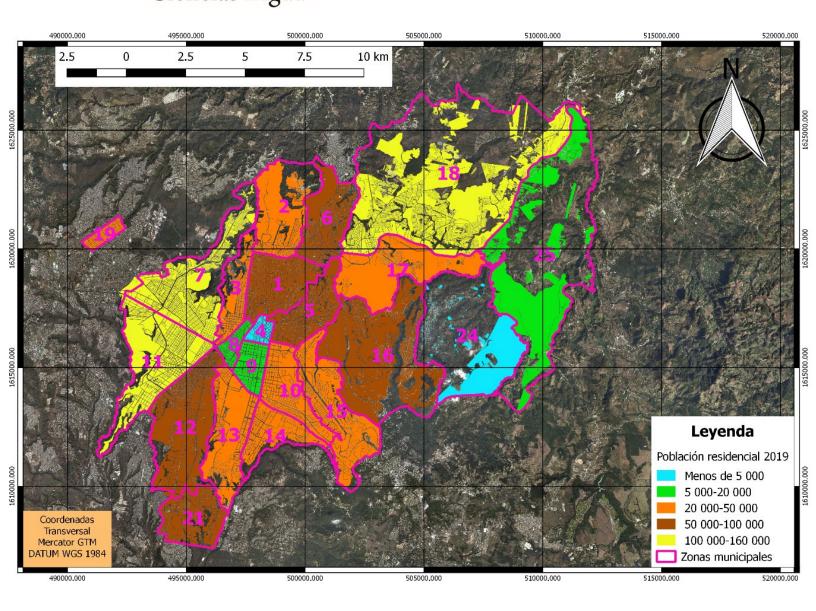


Figura 4. Población residente por zona (2019).







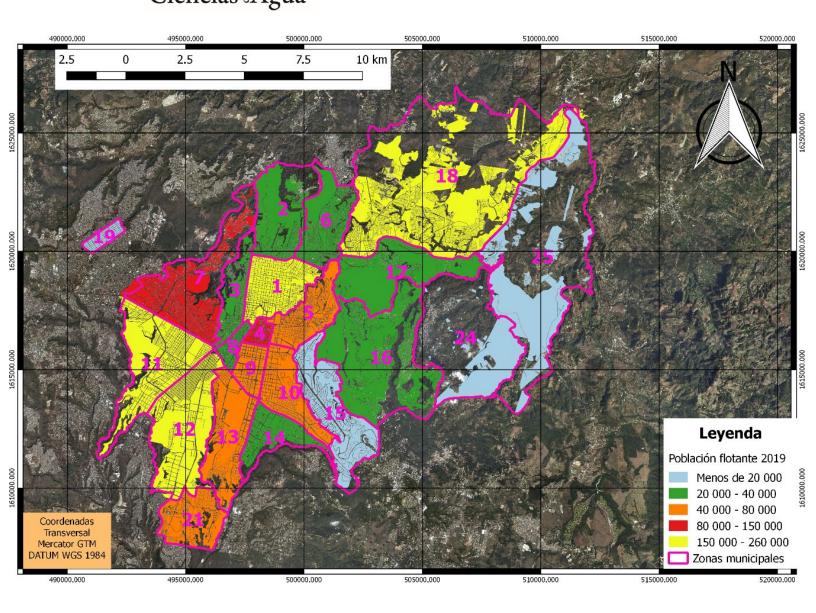


Figura 5. Población flotante por zona (2019).

En la Figura 6 se muestra la población total por zona, donde se puede observar que las zonas 1, 7, 11, 12 y 18 concentran la mayor población.







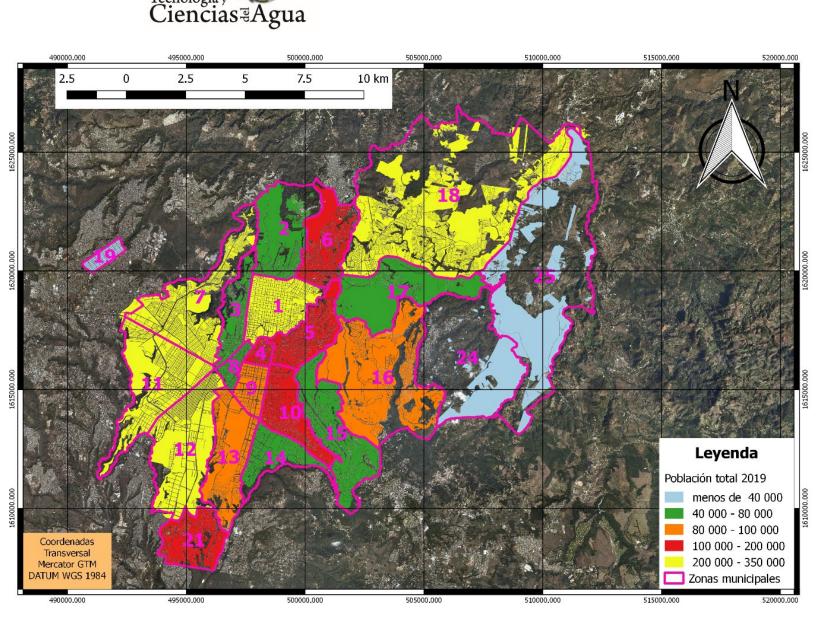


Figura 6. Población total por zona (2019).

La Tabla 4 presenta la población residente, flotante y total por zona, además del caudal necesario de agua potable por zona para abastecimiento a la población. En el caso del servicio de agua potable, se estimó el caudal en metros cúbicos por día, usando como dotación 75







litros/habitante/día para la población flotante y 250 litros/habitante/día para la residente, que es la comúnmente usada para diseño de redes en Guatemala (Empagua, 2018).

(https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)







Tabla 4. Población estimada y demanda de agua por zona (2019).

_		Residente (hab)	Total (hab)	Caudal miles
Zona	Flotante (hab)			(m³/d)
1	217 696	71 787	289 483	34.273
2	35 211	39 892	75 103	12.613
3	27 110	43 078	70 188	12.802
4	101 041	3 368	104 409	8.420
5	48 818	75 773	124 591	22.604
6	38 515	80 778	119 293	23.083
7	109 193	51 523	260 716	46.070
8	35 457	13 425	48 882	6.015
9	74 610	5 621	80 231	7.001
10	67 308	40 820	108 128	15.253
11	179 088	100 642	279 730	38.592
12	257 555	79 933	337 488	39.299
13	60 350	33 226	93 576	12.832
14	35 621	41 873	77 494	13.139
15	19 556	35 483	55 039	10.337
16	31 372	63 118	94 490	18.132
17	33 612	36834	70 446	11.729
18	153 143	156 378	309 521	50.580
19	8 346	20 509	28 855	5.753
21	48 266	62 856	111 122	19.333
24	2 077	1 202	3 279	0.045
25	18 687	18 509	37 196	0.602
Total	1 602 632	1 176 628	2 779 260	414.354







La demanda de agua por zona en miles de m³/día se muestra en la Figura 7. Se puede observar que la zona 18 y 7 son las que presentan mayor demanda.

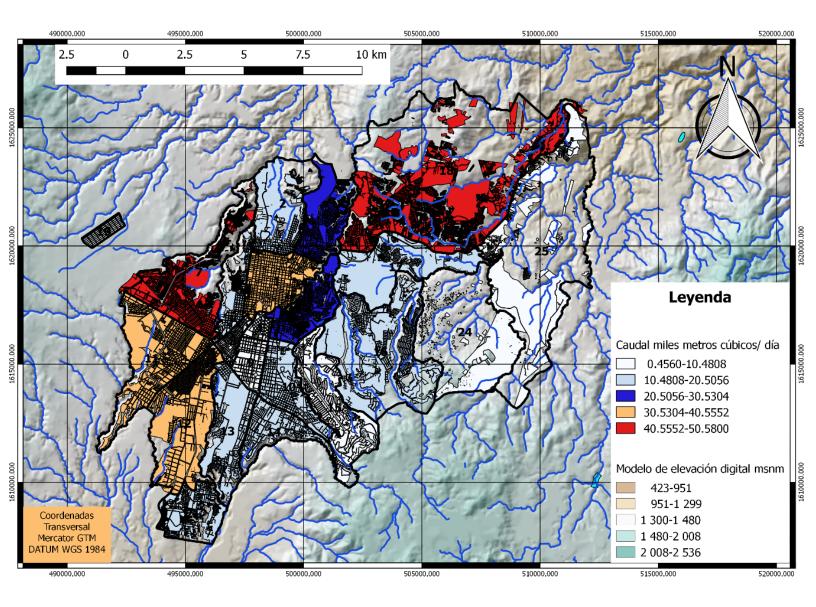


Figura 7. Demanda de caudales por zona (2019).







Por otro lado, la Figura 8 muestra un ejemplo de un área a mayor detalle, mostrando población a nivel de manzana, en un sector más pequeño de la zona 4.

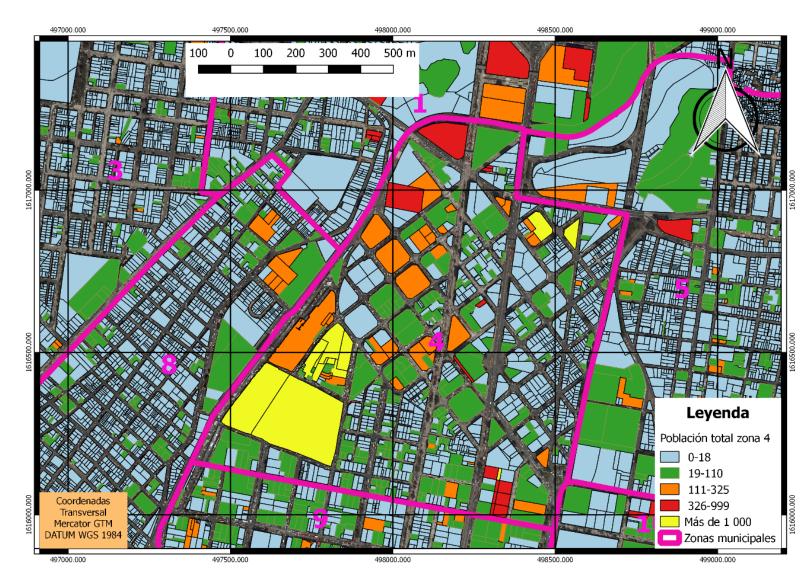


Figura 8. Población total a detalle de zona 4 (2019).







Solo para fines comparativos, en la Figura 9 se muestra el mapa con la población por zona, asumiendo un crecimiento del 50%, según la proyección de edificación del POT para 2067.

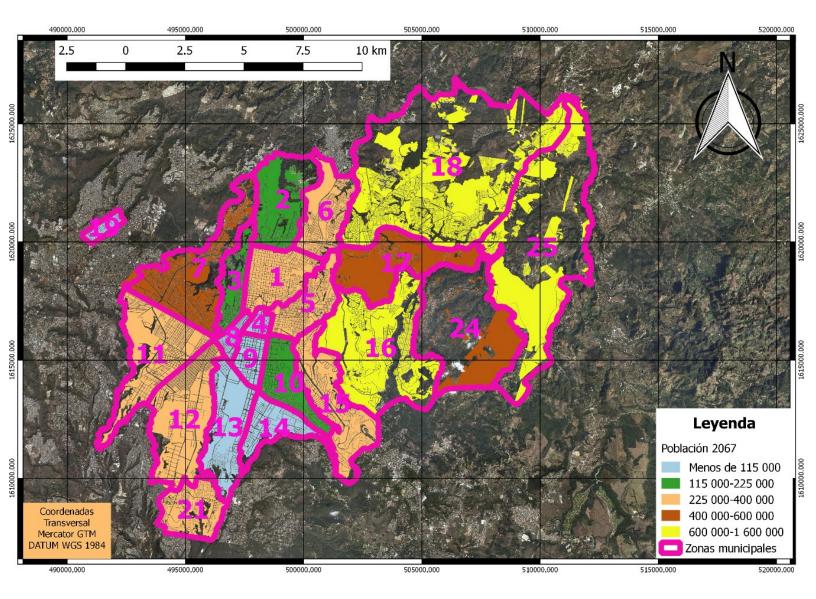


Figura 9. Población proyectada al 2067 con base en el 50% del POT.







La población estimada para ese año —solo residentes— es de aproximadamente 8.4 millones. Se puede observar que las zonas más pobladas serán la 18, 16 y 24; mientras que las zonas centrales reducirán su población.

#### Discusión

El modelo se puede ajustar a diferentes periodos de tiempo en función de los criterios utilizados. En este caso se usó la proyección del POT por dar valores específicos del crecimiento de la construcción por cada zona, pues establece el límite máximo de crecimiento, el cual está limitado por factores de altura de construcción y área impermeabilizada permitidos.

El modelo faculta crear escenarios de crecimiento que se pueden ir actualizando de acuerdo con el desarrollo real del mercado inmobiliario, por lo que permitirá hacer los ajustes necesarios en las coberturas de los diferentes servicios. En el caso de agua potable, el modelo facilita determinar los incrementos de demanda en sectores específicos de cada zona y de esta forma poder planificar los cambios requeridos en la administración y operación de la red, o las necesidades de inversión en nuevas redes y fuentes de abastecimiento.

Como todo modelo, su utilidad depende en gran medida de mantener actualizados los datos, como es ajustar los mapas de catastro, agregar las construcciones nuevas, corroborar con los datos poblacionales de los residentes en los nuevos censos y hacer los ajustes necesarios.







El modelo tiene algunas limitantes ya que: 1) depende de la certeza de los datos catastrales y de construcción; 2) las proyecciones están en función de los estimados a futuro tanto en metros cuadrados a construir y su ubicación como por las tendencias de uso de los predios, y 3) las densidades de población pueden ir cambiando, conforme varíen las necesidades, proyecciones y otros aspectos del desarrollo de la ciudad.

Actualmente el modelo está siendo evaluado tanto por la Dirección de Planificación Urbana como por la Gerencia Técnica de Empagua para su aplicación en diferentes proyectos.

#### **Conclusiones**

Las principales conclusiones son las siguientes:

- 1. El modelo se logró ajustar en términos generales a las proyecciones de población, por lo que es una herramienta útil para la planificación, diseño y operación de servicios, pues permite estimar la población que se encuentra en determinada área de servicio, pues la capa se puede "recortar" o hacer un "clip" de acuerdo con las áreas de interés, y determinar la población específica a servir en esa área y, por ejemplo, la demanda de agua que requieren.
- 2. Permite estimar las zonas de mayor demanda de cualquier servicio con base en el área construida.
- 3. En la proyección a futuro presentada lo único que varió fue el área construida, pero se pueden modificar las densidades, categorías y usos de las propiedades para analizar otros escenarios.



Tecnología y

Ciencias Agua





- 4. A pesar de las limitantes ya mencionadas, el modelo puede extrapolarse para otros municipios del área metropolitana de Guatemala, dependiendo del nivel de la información catastral y de los planes de ordenamiento territorial de otros municipios.
- 5. Se debe ajustar el modelo a medida que se disponga de nueva información. En primer lugar, al tener los resultados del nuevo censo, especialmente para la población residente, es casi seguro que se requerirán ajustes en las densidades; en segundo lugar, al tener actualizaciones de los mapas de catastro y de las construcciones, obviamente esto modificará los metros cuadrados construidos.
- 6. A nivel de alcaldías auxiliares (una por zona) se deben verificar las densidades de población, así como los datos catastrales y de construcción, en particular los que se refieren al uso, categorías y metros cuadrados construidos; esto es un trabajo continuo y de largo plazo.

#### **Agradecimientos**

Se agradece el apoyo al personal de la Dirección de Planificación Urbana de la Municipalidad de Guatemala (DPU), especialmente al ingeniero Conradino Simón Deger Battaglia y a Oscar Blanck, que apoyaron en las pruebas preliminares del modelo.

Éste es un ejercicio académico de desarrollo e innovación tecnológica. El modelo se desarrolló como parte de los elementos necesarios para generar un plan de gestión integrada de aguas urbanas, como parte de una tesis de doctorado.

(https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)







#### Referencias

Tecnología y Ciencias ₹A

- Angel, S., Sheppard, S. C., & Civco, D. L. (2005). The dynamics of global urban expansion. Washington, DC, USA: World Bank.
- ArcGeek. (2020). ArcGeek. Las mejores computadoras para aplicaciones SIG. Recuperado de https://acolita.com/las-mejorescomputadoras-para-aplicaciones-sig/
- BM, Banco Mundial. (2015). Nuñez, A., & Lebeau, J.-R. (eds.) Proyecto de cartografía metropolitana. Guatemala, Guatemala: Banco Mundial y SEGEPLAN Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia.
- Barillas, E. M. (2012). Consultoría: dinámica poblacional y demandas de para consumo humano y agrícola a nivel nacional (Guatemala). Guatemala, Guatemala: Fondo para el Logro de los ODM y Gobierno de Guatemala.
- DPU, Dirección de Planificación Urbana. (2010). Conociendo el POT. Presentación. Guatemala, Guatemala: Municipalidad de Guatemala.
- Empagua, Empresa Municipal de Agua (2018). Guía de reguisitos para la evaluación de sistemas de agua y alcantarillado de proyectos en la ciudad de Guatemala. Guatemala: Empagua.
- INE, Instituto Nacional de Estadística (2020). Portal de Resultados del Censo. Recuperado de https://www.censopoblacion.gt/
- Mayorga, E. (2019). Director de Movilidad Urbana. Entrevistador: Cobos, C.R.







- Morán, A. (1998). Área metropolitana de la ciudad de Guatemala: A propósito del proyecto de Ley del Distrito Metropolitano. Guatemala, Guatemala: Centro de Estudios Urbanos y Regionales (CEUR).
- POT, Plan de Ordenamiento Territorial. (2006). Plan de Ordenamiento Territorial. Guatemala, Guatemala: Municipalidad de Guatemala.
- Proyecto QGIS. (2017). Un sistema de información geográfica libre y de código abierto. Recuperado de https://qgis.org/es/site/
- TECPA. (2015). Curso de QGIS. Recuperado de https://www.tecpa.es/cursos-on-line/qgis-medio-ambiente/
- Tovar, A. A., & Schlezinger, L. K. (2019). Investigadores DPU sobre tendencias de los nuevos edificios. Entrevistador: Cobos, C. R.
- Valladares-Vielman, L. R. (2008). Metropolización. Conurbación Y dispersión. Los municipios del departamento de Guatemala (1986-2007). Guatemala, Guatemala: Centro de Estudios Urbanos y Regionales (CEUR), USAC, Universidad de San Carlos de Guartemala.