

## III Congreso de Agua Ambiente y Energía

### ANÁLISIS MULTITEMPORAL DEL CRECIMIENTO POBLACIONAL EN EL DEPARTAMENTO CENTRAL EN LOS AÑOS 2013 Y 2022.

Iris Viveros <sup>a</sup>, Camila Ledesma <sup>b</sup>

<sup>a</sup> *Facultad de Ingeniería- UNA, Paraguay, irisviveros@fiuna.edu.py.*

<sup>b</sup> *Facultad de Ingeniería - UNA, Paraguay, cledesma@fiuna.edu.py.*

\* *irisviveros@fiuna.edu.py*

**RESUMEN:** La expansión poblacional en el Paraguay presenta un crecimiento desorganizado donde la planificación ha sido más bien escasa dando como resultado un país sin ordenamiento territorial. Para poder mitigar los impactos negativos y llegar a un equilibrio entre lo social, económico y medioambiental son necesarios los análisis que involucren a la población como unidad primordial de estudio. El siguiente análisis involucra la evolución del departamento Central mediante la descripción y el modelado de datos estadísticos y geoespaciales en los años 2013 y 2022. Se obtuvo que el distrito más densamente poblado en ambos años de estudio es Fernando de la Mora que aumento de 7566 a 8977 habitantes por km<sup>2</sup> y el que presenta mayor tasa de crecimiento poblacional es Guarambaré con un aproximado de 0,042% en 9 años. El único caso atípico de decrecimiento es Asunción, que presenta una disminución en cuanto a densidad poblacional y tasa de crecimiento, con una pérdida de 60 habitantes por km<sup>2</sup> para el año 2022 y un descenso de 0.016% en su tasa de crecimiento poblacional. En cuanto al modelado geoespacial, los valores de índice Kappa obtenidos en las clasificaciones correspondientes a los años estudiados son superiores a 0,81 indicando una fuerza de concordancia “casi perfecta”, de modo que pudo estimarse de manera representativa que, a nivel departamental, se registra que para el año 2022, la superficie de la mancha urbana aumenta en 189,97 km<sup>2</sup> o bien un 7,46% de ocupación con respecto al año 2013.

**PALABRAS CLAVE:** Expansión urbana, áreas edificadas, tasa de crecimiento poblacional, densidad poblacional.

#### 1. INTRODUCCIÓN

En la última década, la carencia de políticas de planificación en el Departamento Central ha conducido a un aumento no estructurado de la población en la zona, subrayando de esta manera los desafíos inherentes a la ausencia de planificación adecuada. En el departamento Central, los distritos en su mayoría tuvieron un crecimiento espontáneo a partir de un núcleo generador y con ausencia de parcelamiento previo, las calles constituyen un espacio residual donde la planificación ha sido más bien escasa dando como resultado un departamento sin ordenamiento territorial.

De esta manera, una población en constante crecimiento demanda la ampliación de espacios habitacionales, vías de comunicación y otras infraestructuras, lo que eventualmente ha ocasionado un cambio en el uso del suelo y, con ello, se ha modificado la dinámica socioeconómica-ambiental del territorio. Por ello, es necesario realizar estudios multidisciplinarios que permitan entender la evolución y posibles repercusiones de los cambios en las coberturas y usos del suelo, y tender así hacia un modelo de planificación integral a escala departamental y posteriormente regional que proyecte la reducción de los impactos negativos que puedan deberse a la urbanización descontrolada, e implementar planes y programas que promuevan la sostenibilidad y el desarrollo social equilibrado e incluyente. En este artículo se presenta un análisis multitemporal del crecimiento poblacional en los años 2013 y 2022, enfocándose en el modelado de información estadística y la descripción geográfica de la expansión urbana en dichos años.

## 1. METODOLOGÍA

### 2.1. Área de estudio

El departamento Central, formado por 19 Distritos con una superficie aproximada de 2.400 km<sup>2</sup>. Se encuentra al noreste de la Región Oriental, de menor superficie de la región, pero el más densamente poblado, con una estimación de aproximadamente 2.300.000 habitantes en la actualidad, esto se puede deber a que el proceso de urbanización en el país no es resultado de un proceso de industrialización o reestructuración económica, sino de un desplazamiento forzoso de los habitantes rurales empobrecidos a la ciudad.

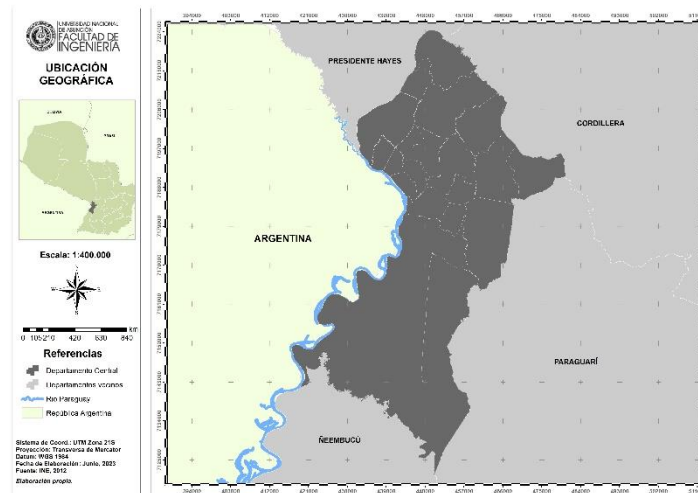


Figura 1. Ubicación geográfica del departamento Central. Fuente: INE, 2012. Elaboración propia

## 2.2. *Análisis y modelado de la información estadística de la población*

La descripción de los datos poblacionales se realizó mediante el cruzamiento de datos provistos por el Instituto Nacional de Estadística (INE) sobre proyección poblacional 2000-2025, tomando los años 2013 y 2022 para el estudio, junto con información bibliográfica sobre crecimiento y densidad poblacional del departamento. Para el mismo, se utilizó la plataforma Power BI Desktop como herramienta para el proceso y análisis de la información, la cual proporciona mejoras notables en la calidad y fiabilidad de la toma de decisiones brindando confianza al realizar previsiones y exponer planes de acción (Parra, 2019). El método utilizado es de carácter inductivo que permitió estudiar detalles del desplazamiento demográfico hacia ciertas zonas específicas del departamento Central.

### 2.2.1. *Adquisición de datos estadísticos*

Los datos sobre población fueron descargados mediante el portal web del INE, en el apartado *Paraguay. Proyección de la población por sexo y edad, según departamento, 2000-2025. Revisión 2015* en el cuadro denominado *Paraguay. Población total, estimada y proyectada, según departamento, sexo y edad, 2000-2025* en formato XLSX. Se filtraron las variables a ser utilizadas (año, tamaño poblacional y distrito) para los años de estudio, seguidamente se trasladaron dichas variables a una nueva tabla de datos dentro Power BI Desktop.

Para la ubicación de cada distrito se utilizaron coordenadas de puntos representativos de cada uno en UTM, posteriormente se transformaron a coordenadas geográficas (latitud y longitud) de modo a que sea compatible con el software.

### 2.2.2. *Modelado de datos*

Una vez realizada la conexión a los archivos de Excel filtrados, se efectuó la limpieza y depuración de los datos mediante la aplicación Power Query, herramienta de Power BI Desktop. El editor de Power BI permite ejecutar las modificaciones a los datos como cambiar tipo de datos y combinarlos desde varios orígenes hasta obtener el modelo deseado.

### 2.2.3. *Creación de objetos visuales e informes*

Una vez establecido el modelo de datos, se crearon objetos visuales desde la tabla obtenida donde se representaron de manera más precisa las variables estudiadas. La colección final de los objetos visuales se representó en informes donde se plasmó el análisis final de la información inducida, mediante la interfaz de inicio dentro de Power BI Desktop.

## 2.3. *Descripción geográfica la expansión urbana en los años 2013 y 2022*

La metodología implementada fue una adaptación de la metodología utilizada en el artículo científico denominado “Metodología para el análisis comparado de dinámicas de expansión urbana; Los casos de Asunción (Paraguay) y Ciudad Autónoma de Buenos Aires (Argentina)” (García-Calabrese et al., 2023) que comprende el análisis de la expansión urbana de las ciudades a través de teledetección y herramientas de Sistema de Información Geográfica.

De la base de datos Cartografía Digital 2012 del Instituto Nacional de Estadística (INE), fueron extraídos en formato shapefile los datos disponibles del departamento Central y del distrito de Asunción. Estos fueron cargados a Google Earth Engine (GEE), donde fueron procesadas las imágenes satelitales Landsat 8 para cada año de análisis (2013, 2022), teniendo filtros de nubosidad y seleccionando las imágenes que pertenezcan al segundo semestre del año, periodos donde las imágenes presentaron mejor visibilidad.

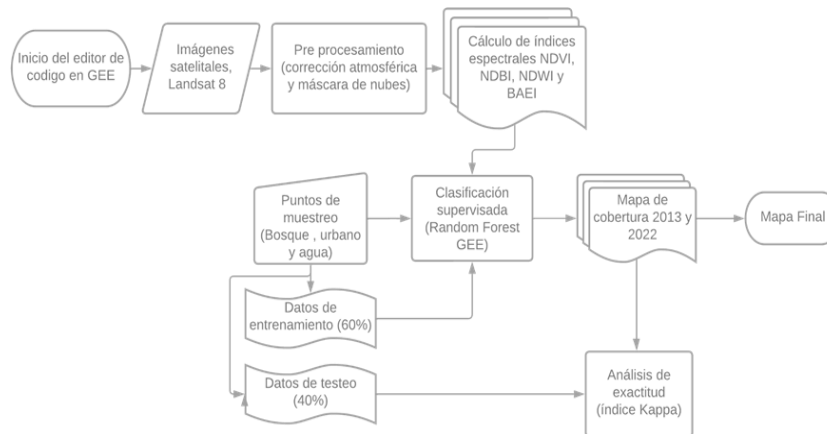


Figura 2. Flujograma de procesamiento de imágenes satelitales en Google Earth Engine (GEE). Fuente: García-Calabrese et al., (2023). Elaboración Propia

### 2.3.1. Cálculo de los índices espectrales

Los índices espectrales calculados van detallados en la tabla 1.

Tabla 1. Índices espectrales calculados.

Índices espectrales	Descripción	Fórmula
NDVI: Índice de vegetación de diferencia normalizada.	Utilizado para la detección de cubiertas vegetales	$\frac{NIR - Red}{NIR + Red}$
NDWI: Índice de agua de diferencia normalizada	Resalta el aspecto de las masas de agua en una imagen de satélite	$\frac{GREEN - NIR}{GREEN + NIR}$
NDBI: Índice de Diferencia Normalizada Edificada	Estima las zonas con superficies edificadas o en desarrollo de construcción frente a las habituales zonas naturalizadas con vegetación o desnudas	$\frac{SWIR - NIR}{SWIR + NIR}$
BAEI: Índice de extracción de áreas construidas	Según Bouzekri (2014), es una propuesta para extraer el área construida de datos de imágenes satelitales	$\frac{RED + L}{GREEN + SWIR1}$ Donde L=0.3

Fuente: EOS Data Analytics. Elaboración propia

### 2.2.2 Clasificación supervisada para la obtención de la mancha urbana

Una vez realizada la combinación de bandas 4 3 2, el cual arroja un ráster con colores que se aproximan a los reales. Fue creado, en ArcGIS, un shapefile de puntos de muestreo de las clases seleccionadas (ID 1: Urbano; ID 2: No Urbano; ID 3: Cuerpos de agua), utilizando de esta manera aproximadamente 150 puntos para el identificador 1 y 2 y 100 puntos para el identificador 3, distribuidos en el área de estudio, para cada año de análisis.

Se realizó una clasificación supervisada en la plataforma de GEE con el algoritmo Random Forest, que utiliza el 60% de los puntos creados como entrada para realizar la clasificación y el 40% restante, para realizar la validación.

Al ejecutar el código, se obtuvo un archivo de tipo ráster en formato GeoTIFF, donde el valor de cada píxel corresponde al número identificador (ID) de cada clase definida.

### 2.2.3 Evaluación de la confiabilidad temática

Se procedió a la validación de los resultados a través de una matriz de confusión y el coeficiente Kappa para medir la exactitud de la clasificación para cada año de estudio, que permitieron identificar la coherencia entre mapa y situación de hecho en terreno para cada periodo analizado.

Tabla 2. Escala de Valoración de Coeficiente Kappa.

Coeficiente Kappa	Fuerza de Concordancia
0.00	Pobre
0.01 – 0.2	Leve
0.21 – 0.4	Aceptable
0.41 – 0.6	Moderada
0.61 – 0.8	Considerable
0.81 – 1.00	Casi perfecta

Fuente: Landis y Koch, 1977. Elaboración propia

### 2.4.1 Cálculo de la superficie y porcentaje de ocupación

Luego de la verificación de la exactitud de las clasificaciones en cada año, se realizó el remuestreo de los productos con ArcMap 10.3, para ajustar el tamaño de los píxeles resultantes a 30x30 metros, correspondiente a la resolución espacial del sensor Landsat 8 y al mismo tiempo, realizar la proyección del ráster a WGS 84, UTM 21 zona Sur, con la herramienta Project Ráster de ArcMap 10.3.

Seguidamente, en la tabla de atributos del ráster, se determinó el área de la mancha urbana para cada año de análisis, teniendo en cuenta el número de píxeles con ID:1 (correspondientes a los píxeles pertenecientes a la zona urbana) y las dimensiones de cada píxel (0.0009km<sup>2</sup>). Finalmente, se presentó el resultado obtenido mediante un mapa temático y una tabla.





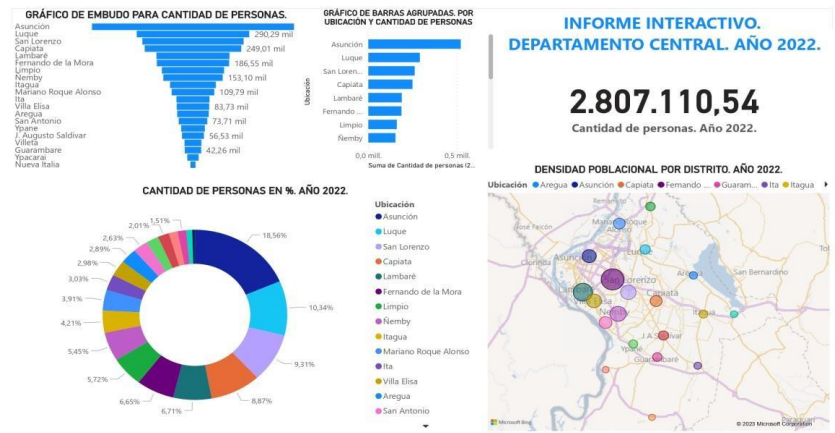


Figura 4. Informe Interactivo. Año 2022. Fuente: INE, 2012. Elaboración propia

Los municipios del entorno de la ciudad de Asunción, se han convertido en zonas con un empresariado muy influyente y en algunos casos excluyente. Se encuentran por lo general en zonas de economía agroexportadora o de producción de energía, incluyendo también ciudades con mayor crecimiento demográfico del departamento central como Luque, Guarambaré o J. Augusto Saldívar, en donde junto al desarrollo empresarial, hay un proceso de urbanización acelerada y la mutación de la agricultura familiar campesina, ahora orientada hacia el mercado interno urbano (rubros frutícolas, hortícolas y de ganado menor). Otros factores que afectan al desplazamiento urbano hacia los municipios lindantes es la inseguridad y los impuestos en la capital (Sili, 2017).

Aunque en Asunción sigue existiendo mayor cantidad de habitantes no es indicativo de que siga creciendo poblacionalmente, esto quiere decir, que la cantidad de personas va menguando en la capital y se expande hacia los núcleos cercanos de manera que la densidad poblacional de la capital ha disminuido significativamente entre los años 2013 y 2022. Consecuentemente la densidad de los distritos alrededor ha aumentado entre los años de estudio.

Por último, mientras que Asunción ha disminuido su tasa de crecimiento poblacional, distritos distantes a la capital han aumentado dicha tasa, como Guarambaré (9.45%) e Ypane (8.83%). En la figura 5 se propone el mapa de calor que consta de la tasa de crecimiento poblacional entre los años 2013 y 2022.

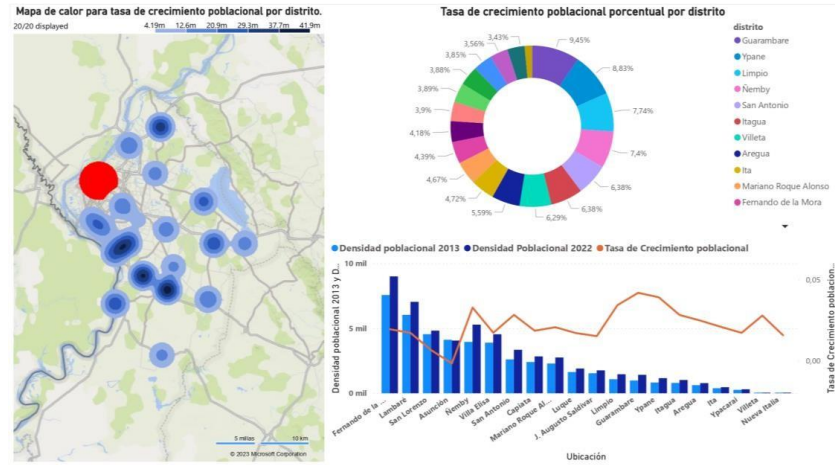

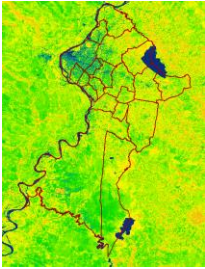

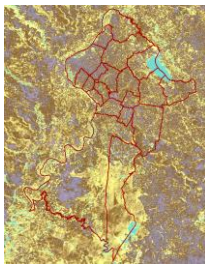
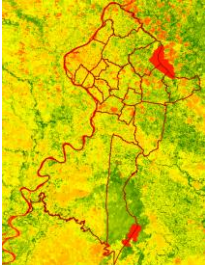
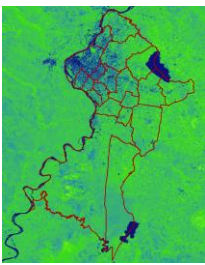




Figura 5. Informe Interactivo. Densidad poblacional (2013-2022) vs Tasa de crecimiento poblacional. Fuente: INE, 2012. Elaboración propia

2.2. Modelado geográficamente y descripción de la expansión urbana en los años 2013 y 2022

El modelado requirió de los cálculos de los índices espectrales, los cuales arrojaron los siguientes resultados

Tabla 3. Índices espectrales calculados

Año	NDVI	NDWI	NDBI	BAEI
2013				
2022				

Fuente: Elaboración propia.

Los índices contemplan las características del terreno, que sirvieron de utilidad para la generación de los puntos de control. En cuanto a la valoración de exactitud, los valores de índice Kappa obtenidos en las clasificaciones correspondientes a los años 2013 y 2022, detallados en la tabla 4 son superiores a 0,81 indicando una fuerza de concordancia “casi perfecta” según escala de valoración de coeficiente Kappa propuesto por Landis y Koch, 1977, arrojando como resultado el siguiente mapa temático

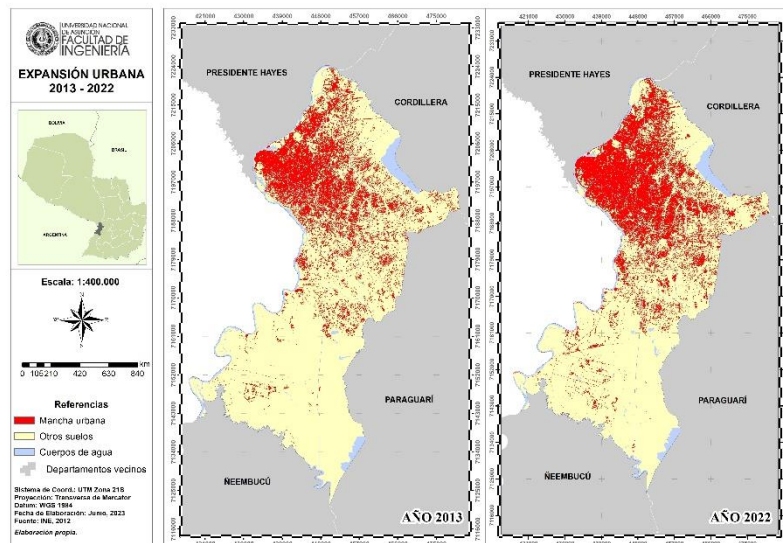


Figura 6. Mapa de expansión urbana. Años 2013 y 2022. Fuente: Elaboración propia



En el año 2013, la mancha urbana ocupa 489,04 km<sup>2</sup>, representando 19,20% del área total; la superficie de ocupación fue aumentando, de tal manera, que pudo cuantificarse que para el año 2022, la superficie de la mancha urbana, pasó a ocupar 679,01 km<sup>2</sup>, el 26,66% de la superficie total, por lo que se registra que para el año 2022, la superficie de la mancha urbana aumenta en 189,97 km<sup>2</sup> o bien 7,46% de ocupación, con respecto al año 2013.

Tabla 4. Cuantificación de ocupación de mancha urbana en el departamento Centra por año, con sus coeficientes Kappa respectivos

Año	Superficie de la mancha urbana (km <sup>2</sup> )	Porcentaje de ocupación de la mancha urbana (%)	Coficiente Kappa (kP)
2013	489,04	19,20	0,95
2022	679,01	26,66	0,96
Variación	189,97	7,46	

Fuente: Elaboración propia

Los Porcentajes de ocupación por distrito, representados en la figura 7, estiman que los distritos con mayor variación en la superficie edificada, son Ñemby con 24,95%, seguido por los distritos J. Augusto Saldivar 23,80%, San Antonio 22,98% e Ypane 20,43%, al efecto de mencionar algunos. Por otra parte, el distrito de Nueva Italia con 0.31% de variación, es el distrito con menor porcentaje de expansión. También se constató que el distrito de Fernando de la Mora, es el que presenta mayor porcentaje de superficies edificadas en proporción al área total del distrito, con un 94,34% de su superficie construida. Así también, se pudo evidenciar, el caso particular de la capital del país, la misma presenta un aumento en la expansión urbana, sin embargo, la tasa de crecimiento poblacional (Ver Figura 5) es negativa, por lo que cabe destacar que las áreas calculadas, representan a las superficies edificadas, sin discriminar a las industrias, edificios gubernamentales, en algunos casos también rutas y caminos, además de las áreas residenciales.

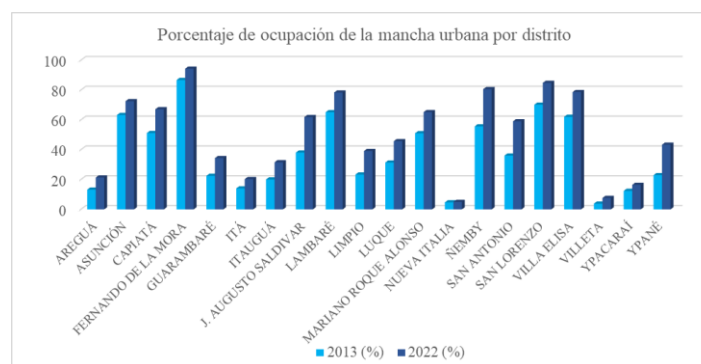


Figura 7. Porcentaje de ocupación de la mancha urbana por distrito. Fuente: Elaboración propia

Sin embargo, para efectos de este artículo no se analizó en detalle el interior de la mancha urbana, por lo que no se hicieron distinciones de estos tipos de edificaciones. Por lo que se recomienda la exclusión de edificaciones no residenciales, para la correlación apropiada con los datos de densidad urbana.

### 3. REFERENCIAS

Bouzekri, S., Lasbet, AA y Lachehab, A. Un nuevo índice espectral para la extracción de áreas edificadas utilizando datos Landsat-8. *J Indian Soc Remote Sens* 43, 867–873 (2015)

Cartografía Digital 2012. Link: <https://www.ine.gov.py/microdatos/cartografia-digital-2012.php>

Frutos, N. D., González, J. A. M., & de Servín, Z. C. S. (2005). Atlas de necesidades básicas insatisfechas. DGEEC.

García-Calabrese, M., Sánchez, I., & Prada, J. (2023). Metodología para el análisis comparado de dinámicas de expansión urbana. Los casos de Asunción (Paraguay) y Ciudad Autónoma de Buenos Aires (Argentina).

Gómez, J. M. (2014). Pobreza y vulnerabilidad social en Paraguay. Nota de Política.

López Hernández, A. (2017). Presentación de datos odata en power bi.

Paraguay. Proyección de la población por sexo y edad, según departamento, 2000-2025. Revisión 2015 en el cuadro denominado Paraguay. Población total, estimada y proyectada, según departamento, sexo y edad, 2000-2025. Link: <https://www.ine.gov.py/publicacion/2/poblacion>

Parra, J., Rincón, M., & Romero, D. (2019). Propuesta de Inteligencia de Negocios mediante la herramienta Microsoft Power BI, como soporte para la toma de decisiones del área comercial de la empresa ABC manufacturera de productos plásticos. (tesis de grado del Instituto Politécnico Gran Colombia)

Román-Sánchez, Y. G., Navarrete-López, E. L., & Barreto-Villanueva, A. (2023). Método para estimar proyecciones de población en la zona metropolitana del valle de México. Años 2010-2020-2050. *Población y Desarrollo*.

Sili, M., Rodríguez, J. C., Ávila, C., Martínez, P., & Bozzano, L. (2017). Modelos de Gestión y Desarrollo Territorial de nivel local y departamental en Paraguay.

Tonina, E. (1995). Problemas habitacionales en suburbios del área metropolitana de Asunción Paraguay.

Vásquez, R. A. D., Espinoza, J. L. A., & Cabrera, M. A. C. (2022). Power bi como herramienta de apoyo a la toma de decisiones. *Universidad y Sociedad*.

Velásquez, A., Gallegos, J., Mas, J., Mayorga, R., Alcántara, P., Castro, R., . . . Palacio, J. (2002). Patrones y Tasas de Cambio de Uso del Suelo en México.