



Autor: Alexandra T. Colón Belén
Mentor: Raúl Matos Flores, Ph.D
Maestría en Ciencia y Tecnología Geoespacial

Resumen

El municipio de Trujillo Alto enfrenta altos niveles de desplazamiento laboral hacia otros municipios, especialmente al área metropolitana. Este estudio analiza los patrones de movimiento y su relación con la Auto-selección Residencial. Usando datos del Censo 2022 y herramientas de Sistemas de Información Geográfica, se aplicó un modelo de regresión por Mínimos Cuadrados Ordinarios para identificar factores que influyen en la movilidad laboral. Se encontró que el acceso al transporte privado y un mayor ingreso per cápita están asociados con una mayor proporción de trabajadores que laboran fuera del municipio. Además, la proximidad a vías principales mostró una influencia marginal. Estos resultados sugieren que las decisiones residenciales podrían estar vinculadas a la necesidad de accesibilidad laboral.

Introducción

El desplazamiento diario se refiere al movimiento entre el lugar de residencia y el de trabajo. En las últimas décadas, este fenómeno se ha intensificado en Puerto Rico debido a la motorización y al crecimiento del uso del automóvil privado, permitiendo a la población residir en áreas suburbanas o rurales, alejadas de los centros de empleo [1]. A pesar de los esfuerzos para mejorar la infraestructura vial, municipios como Trujillo Alto enfrentan congestión vehicular debido a la alta dependencia del vehículo privado y falta de acceso de transporte público eficaz. Trujillo Alto se encuentra ubicado en el noreste de Puerto Rico y colinda con municipios como San Juan, Carolina, Gurabo y Caguas (Figura 1). Entre 2010 y 2020, su población disminuyó de 74,842 a 67,740 habitantes [2], pero los patrones de desplazamiento laboral hacia municipios como San Juan y Carolina se mantuvieron. En este contexto, surge el interés por examinar si estos patrones están relacionados con la Auto-selección Residencial (RSS), donde las decisiones de residencia están influenciadas por necesidades de accesibilidad y movilidad [3].



Figura 1: Ubicación de Trujillo Alto

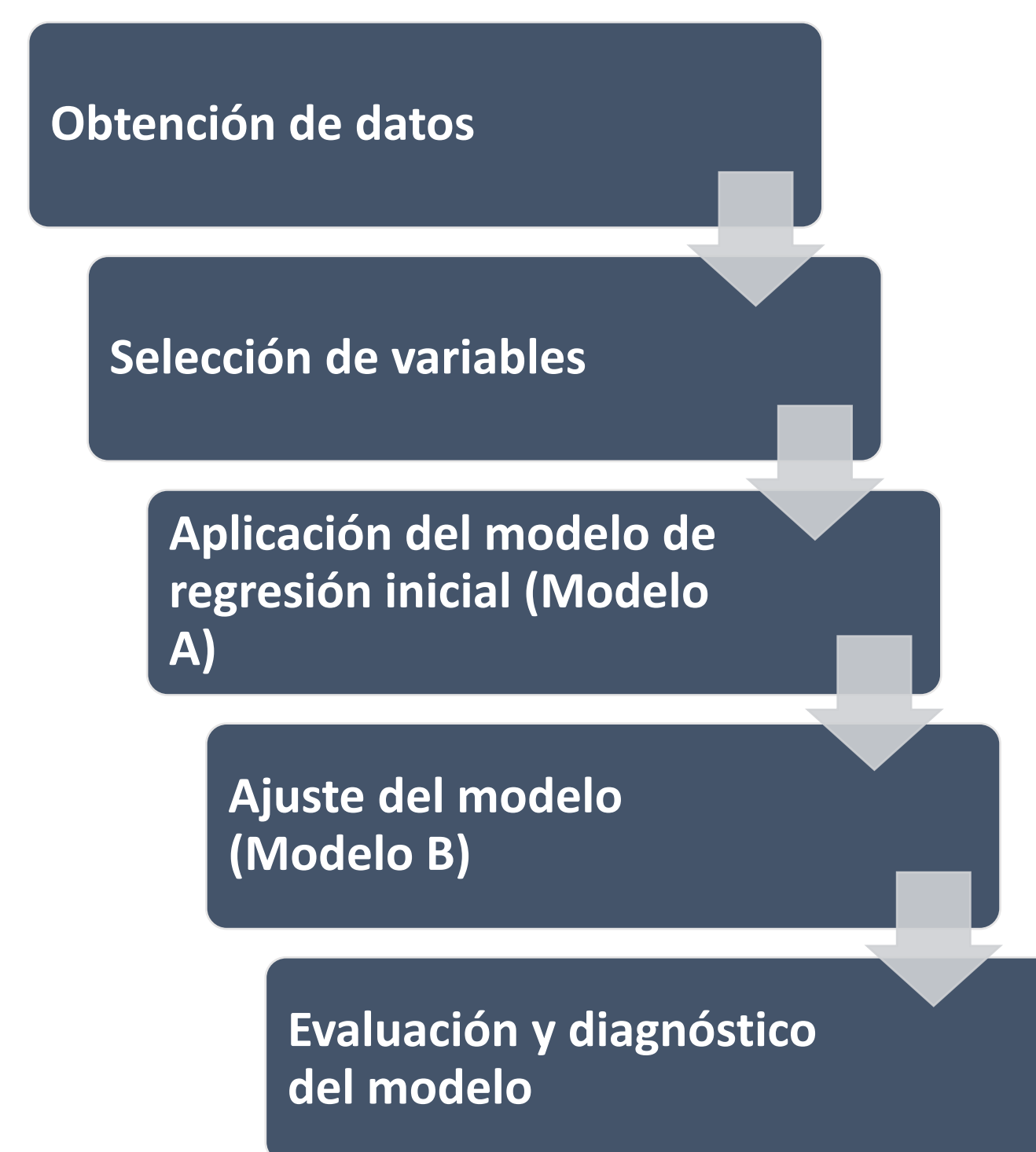
Revisión de Literatura

Investigaciones previas abordan el vínculo entre desplazamiento y residencia. Wang analizó los patrones de desplazamiento en Chicago [4] y Columbus [5], destacando que la accesibilidad al empleo y las características socioeconómicas influyen en las distancias de viaje. Estos hallazgos son relevantes para Trujillo Alto, donde la falta de empleo local impulsa a los residentes a desplazarse hacia otros municipios. French, Popovici y Timming [6] concluyeron que los desplazamientos largos están asociados a mayores ingresos, especialmente entre adultos jóvenes. De manera similar, Carra et al. [7] encontraron resultados similares en Dinamarca, Reino Unido y EE. UU., aunque enfatizaron que el contexto cultural y económico influye en la movilidad. La teoría de la Auto-selección Residencial (RSS) sostiene que las decisiones de residencia se basan en preferencias de movilidad, lo que puede sesgar la relación entre el entorno urbano y el comportamiento de viaje [8]. Van Wee y Cao [3] sugieren controlar este sesgo mediante métodos longitudinales y cualitativos, dado que su influencia varía según las opciones de transporte y vivienda disponibles. Por otra parte, Ettema y Nieuwenhuis [9] demostraron que tanto las actitudes hacia el transporte como los motivos de residencia afectan la movilidad. Su estudio en los Países Bajos mostró que quienes priorizan la accesibilidad utilizan más el transporte disponible.

Problema

El objetivo es analizar los patrones de desplazamiento laboral de los residentes de Trujillo Alto, enfocándose en los trabajadores que se trasladan fuera del municipio según bloques censales en el año 2022. Evaluando si el desplazamiento influye en las decisiones residenciales mediante un modelo de regresión de Mínimos Cuadrados Ordinarios (MCO) y explora la posible presencia del fenómeno de Auto-selección Residencial (RSS). También se examina cómo factores socioeconómicos se relacionan con la movilidad laboral.

Metodología



Paso 1: Se obtienen los datos de la Encuesta sobre la Comunidad Estadounidense (ACS) del Censo de EE.UU., enfocándose en características demográficas, económicas y de vivienda de los grupos de bloques censales de Trujillo Alto.

Paso 2: Aplica la herramienta de Regresión Exploratoria en ArcGIS Pro para identificar variables relevantes asociadas al total de trabajadores que laboran fuera del municipio.

Paso 3: Utilizar la herramienta de Regresión por Mínimos Cuadrados Ordinarios (MCO) en ArcGIS Pro. Variables incluidas inicialmente:

- Total de hombres
- Total de mujeres
- Total de personas que usan carro, camión o van
- Ingreso per cápita
- Diploma de escuela superior
- Diploma de bachillerato
- Media ponderada de duración de tiempo
- Total de personas en profesiones de servicios
- Total de personas en profesiones de ventas y oficinas
- Total de personas en profesiones de recursos naturales, construcción y mantenimiento
- Distancia más cerca de una carretera principal (metros)

Paso 4: Se seleccionan las variables estadísticamente significativas y se ejecuta el Modelo B solo con estas variables:

- Total de mujeres
- Total de personas que usan carro, camión o van
- Ingreso per cápita

Paso 5: Se evalúan métricas de desempeño (R-cuadrado) y pruebas de significancia (valores p). Se hicieron diagnósticos estadísticos mediante: VIF para multicolinealidad, Jarque-Bera para normalidad de residuos, verificación de homocedasticidad y estacionariedad espacial.

Resultados y Discusión

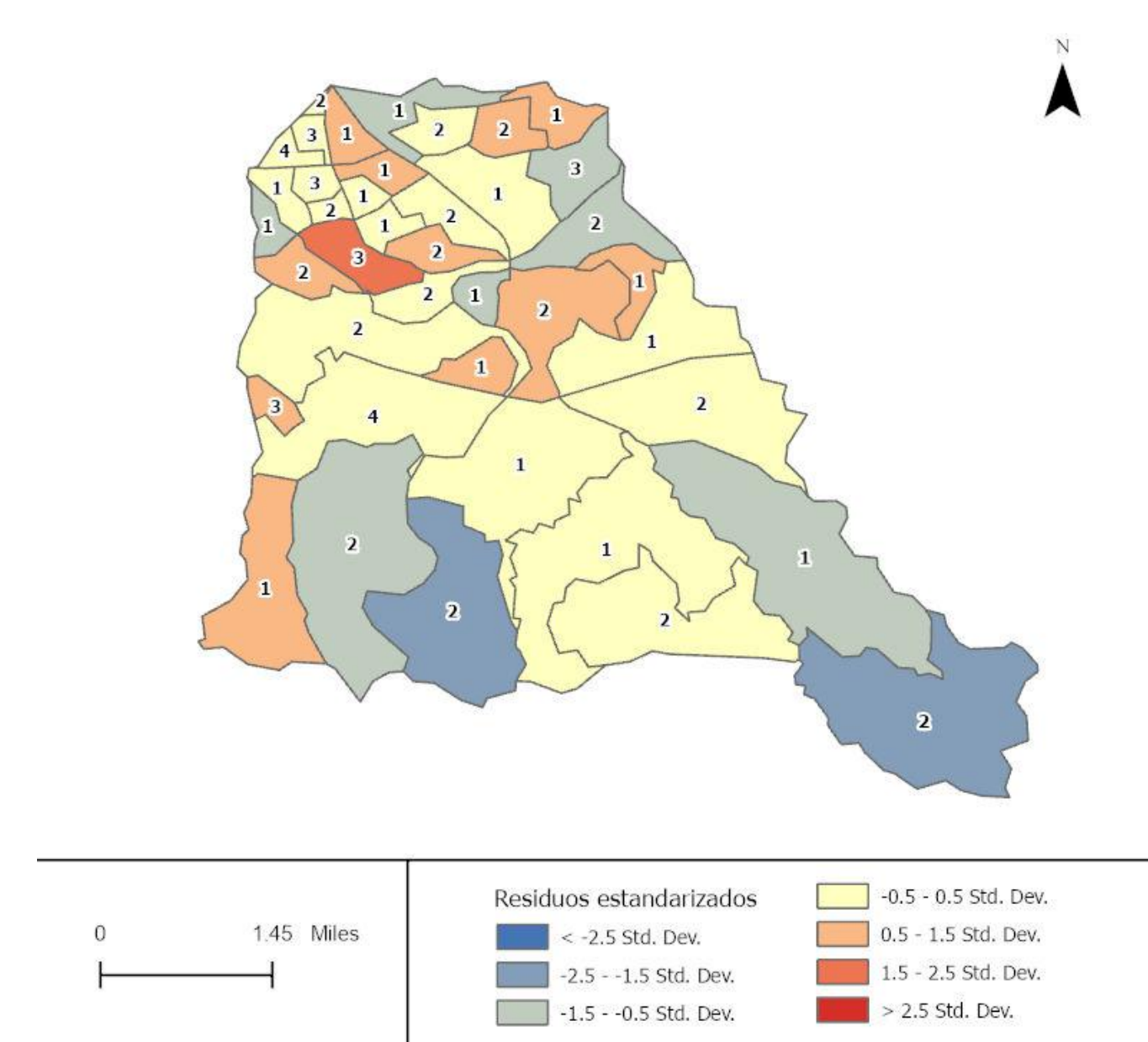


Figura 2: Residuos estandarizados por grupo de bloques (Modelo A)

El modelo MCO muestra un excelente ajuste global ($R^2 = 0.938$; R^2 ajustado = 0.914) y alta significancia ($p < 0.001$). No se detectaron problemas de heterocedasticidad ni sesgo de residuos, reforzando su validez. Variables como sexo femenino, uso de transporte privado e ingreso per cápita resultaron estadísticamente significativas, confirmando que estos factores aumentan la probabilidad de desplazarse fuera de Trujillo Alto. Variables como nivel educativo, profesiones y duración del viaje no fueron significativas, algunas con alta colinealidad (VIF). La distancia a carretera principal mostró una relación negativa marginalmente significativa ($p = 0.0859$), sugiriendo que la proximidad a vías principales favorece la movilidad laboral. En términos espaciales, 19 de 40 bloques censales presentaron residuos entre -0.5 y 0.5 (Figura 2). Solo los bloques 604.01-2 y 605.02-2 mostraron sobrestimaciones significativas, probablemente debido a su perfil rural y dependencia del transporte privado.

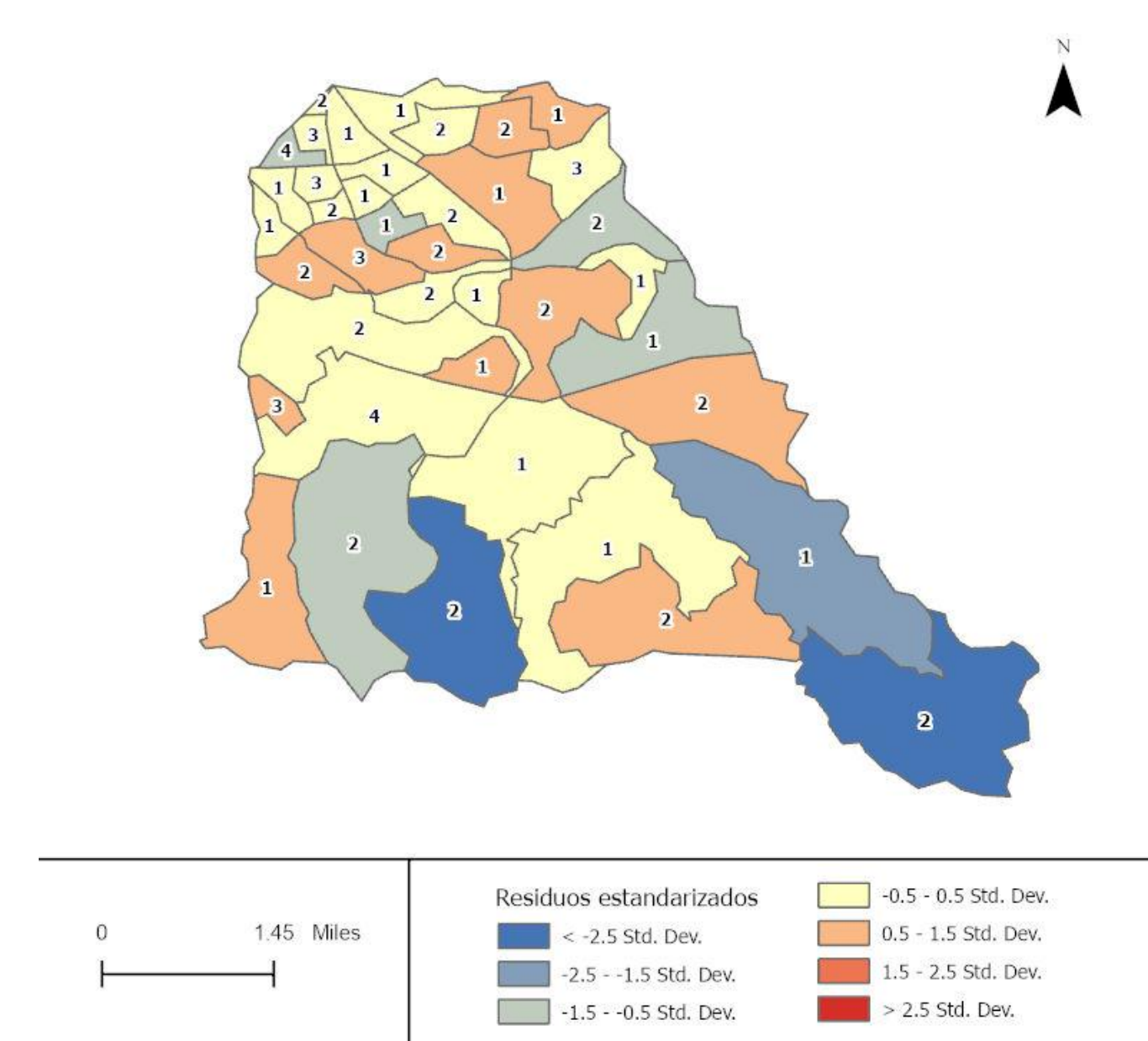


Figura 3: Residuos estandarizados por grupo de bloques (Modelo B)

El modelo simplificado mantuvo un alto ajuste (R^2 ajustado = 0.9106) y significancia global ($p < 0.001$). No hubo heterocedasticidad, aunque se observó cierta desviación de normalidad (p Jarque-Bera = 0.009). Uso de transporte privado ($p < 0.001$) e ingreso per cápita ($p < 0.01$) fueron predictores clave. El total de mujeres no fue significativo, pero mostró una tendencia positiva. Este modelo facilita una interpretación más directa, destacando el peso de la motorización y el nivel de ingresos en la movilidad laboral. En el análisis espacial, nuevamente los bloques 604.01-2 y 605.02-2 mostraron sobrestimaciones, indicando que factores adicionales no incluidos en el modelo influyen en esas áreas (Figura 3).

Conclusiones

El presente estudio identificó los factores que inciden en el desplazamiento laboral fuera de Trujillo Alto utilizando regresión por Mínimos Cuadrados Ordinarios. Los resultados muestran que el uso de transporte privado, el ingreso per cápita y el sexo femenino están positivamente asociados con una mayor proporción de trabajadores que se trasladan fuera del municipio, en línea con la literatura sobre movilidad laboral. Además, la distancia a carreteras principales presentó una relación negativa marginalmente significativa, lo que sugiere que vivir más cerca de una vía principal aumenta la probabilidad de desplazarse a trabajar fuera del municipio. Este hallazgo refuerza la hipótesis de Auto-selección Residencial, al evidenciar que la ubicación habitacional podría responder a la necesidad de mejorar la accesibilidad laboral. El modelo A, al incluir más variables, capturó mejor las variaciones locales y mostró un ajuste espacial sólido sin residuos extremos. El modelo B, más simplificado, logró una mayor robustez estadística, pero presentó sobrestimaciones en zonas rurales, indicando menor sensibilidad territorial. La comparación de modelos demuestra que, aunque optimizar la precisión estadística es importante, la consideración de variables de infraestructura vial aporta valor al análisis espacial. En conjunto, los resultados sostienen que factores sociodemográficos y de accesibilidad influyen en la selección residencial en Trujillo Alto.

Trabajos Futuros

- Ampliar el análisis a otros municipios e incorporar métodos cualitativos y modelos longitudinales para entender mejor los cambios en los patrones de desplazamiento y decisiones residenciales.
- Evaluar el impacto de la infraestructura vial y el transporte público sobre la movilidad laboral y la Auto-selección Residencial.

Agradecimientos

- Se agradece al Profesor Raúl Matos Flores por su valiosa orientación, apoyo académico y contribuciones esenciales durante el desarrollo de esta investigación.

Referencias

- [1] G. Lyons and K. Chatterjee, "A human perspective on the daily commute: costs, benefits and trade-offs," *Transport Reviews*, vol. 28, no. 2, pp. 181-198, 2008.
- [2] U.S. Census Bureau, "RACE," *Decennial Census, DEC Redistricting Data (PL 94-171), Table P1*, 2020. [En línea]. Disponible: <https://data.census.gov/table/DECENNIALPL2020.P1?g=050XX00US72139>.
- [3] B. van Wee and X. J. Cao, "Residential self-selection in the relationship between the built environment and travel behavior: A literature review and research agenda," *Advances in Transport Policy and Planning*, vol. 9, pp. 75-94, 2022.
- [4] F. Wang, "Modeling commuting patterns in Chicago in a GIS environment: A job accessibility perspective," *The Professional Geographer*, vol. 52, no. 1, pp. 120-133, 2000.
- [5] F. Wang, "Explaining intraurban variations of commuting by job proximity and workers' characteristics," *Environment and Planning B: Planning and Design*, vol. 28, no. 2, pp. 169-182, 2001.
- [6] M. T. French, I. Popovici, and A. R. Timming, "Analysing the effect of commuting time on earnings among young adults," *Applied economics*, vol. 52, no. 48, pp. 5282-5297, 2020.
- [7] G. Carra, I. Mulalic, M. Fosgerau, and M. Marthelemy, "Modelling the relation between income and commuting distance," *Journal of the Royal Society Interface*, vol. 13, no. 119, pp. 1-8, 2016.
- [8] T. H. T. Gim, "Residential self-selection or socio-ecological interaction? the effects of sociodemographic and attitudinal characteristics on the built environment-travel behavior relationship," *Transportation*, vol. 50, no. 4, pp. 1347-1398, 2023.
- [9] D. Ettema and R. Nieuwenhuis, "Residential self-selection and travel behaviour: what are the effects of attitudes, reasons for location choice and the built environment?," *Journal of transport geography*, vol. 59, pp. 146-155, 2017.