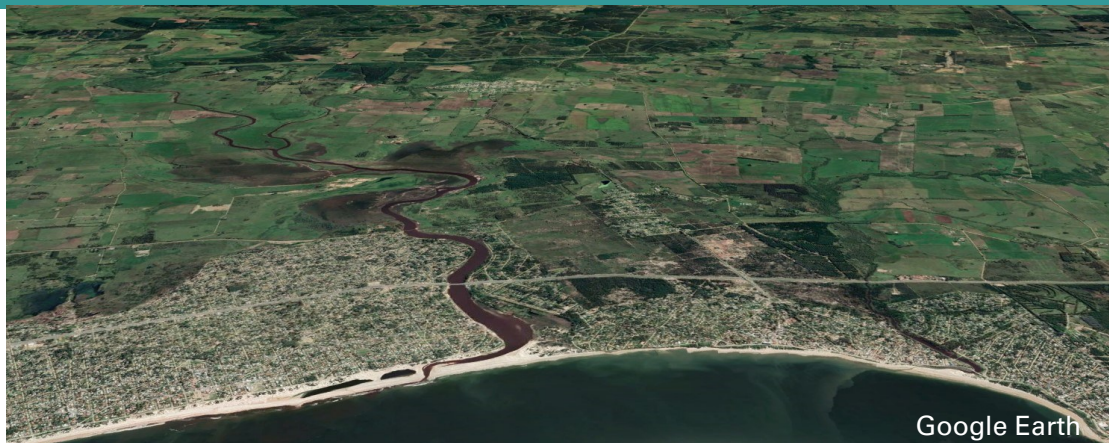




Cartógrafo.CL/01-2021



Néstor López Dos Santos

Licenciado en Geografía  
Universidad de la República

Uruguay



nlopezuy@gmail.com

# Caracterización dasimétrica para Uruguay

auxiliada por el mapa de uso y cobertura del suelo (\*)

## RESUMEN

El presente trabajo corresponde a un estudio teórico-metodológico de un tema de interés geográfico, relacionado con la distribución de la población y el análisis espacial.

La inquietud fundamental fue conocer y emplear nuevas formas de abordaje metodológico en la representación y transformación de los formatos de las unidades geográficas para Uruguay, en particular, sobre la cartografía dasimétrica, que corresponde al ajuste de la densidad de población con el uso de la cobertura terrestre. Los datos públicos del Censo de Población (Instituto de Estadísticas) y el Mapa de Cobertura del Suelo del Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente, y la sincronía de relevamiento para el año 2011, suministraron un marco óptimo para la aplicación dasimétrica en Uruguay.

Analizar las características de las unidades geográficas y el cambio de escalas de representación, así como diferentes técnicas dasimétricas de desagregación y agregación de población, han orientado la elección de tres formas de caracterización en la tesis: Ponderación Areal Modificada, Método Dasimétrico Inteligente y Cálculo proporcional por área de un *grid* de 1km.

Los mapas dasimétricos resultantes, los indicadores, la cartografía de error y los análisis estadísticos han determinado que los tres métodos tuvieron una representación y nivel de significación positiva. Ello posibilita el uso adecuado para situaciones del desconocimiento de la distribución de población propia de los mapas coropléticos.

La aplicación de métodos dasimétricos permite una mejor aproximación a la distribución de población en el territorio uruguayo, constituyéndose en una herramienta significativamente útil para el análisis territorial.

(\*) Texto completo del trabajo en: <https://n9.cl/ku2nc>

## INTRODUCCIÓN

La presente investigación<sup>(\*)</sup> realiza un estudio teórico y metodológico concerniente a la distribución de población y su análisis espacial. La inquietud principal fue emplear nuevos abordajes metodológicos de representación y tratamiento de datos geográficos de Uruguay. En particular, sobre la cartografía dasimétrica, que corresponde a la adaptación de la densidad poblacional a partir del uso de un dato complementario, por ejemplo, la cobertura terrestre.

El interés sobre cuestiones geográficas de importancia social, ambiental o económica impulsa a generar nuevos planteamientos teóricos y metodológicos para hallar respuestas y soluciones actuales. Temáticas como crecimiento poblacional, cambios en el uso del suelo terrestre, desarrollo productivo, aumento de manchas urbanas, hacinamiento, e incluso, la estimación de personas afectadas por un desastre natural, permiten crear técnicas y herramientas novedosas, y así, generar nuevos datos y cartografías que refuercen una mejor planificación del territorio.

Actualmente, desde la academia, ámbito público y privado, se han desarrollado diferentes formas de interpretar la ubicación aproximada de la población, disponiendo de un innumerable set de métodos para representar la técnica dasimétrica, y a la par, proponer acciones de gestión. Europa y Estados Unidos inicialmente, así como algunos países asiáticos, son los que han tomado muy seriamente esta preocupación. Institutos de estadística nacionales y universidades han elaborado herramientas para determinar modos de representación cartográfica de variables demográficas sin vulnerar el atributo del secreto estadístico. Por otro lado, las contribuciones conceptuales y metodológicas de distintas organizaciones, para conocer y medir los cambios y permanencias de la superficie terrestre y su uso, han potenciado el desarrollo de múltiples sistemas de clasificación de la cobertura terrestre. El Land cover (cobertura terrestre) se considera un indicador de relevancia en el diagnóstico y la planificación territorial.

En instancias de la investigación, la nutrida disponibilidad de antecedentes técnicos y la accesibilidad a datos nacionales suministran un marco óptimo para la aplicación dasimétrica en Uruguay (Figura 1). El Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente (MVOTMA) generó el Mapa de Uso y Cobertura del Suelo para el año 2011, así como, el Instituto Nacional de Estadística (INE) realizó el Censo de Población 2011. Ambos marcos de información que, por su concordancia temporal, facilitaron la propuesta de construcción dasimétrica para Uruguay.

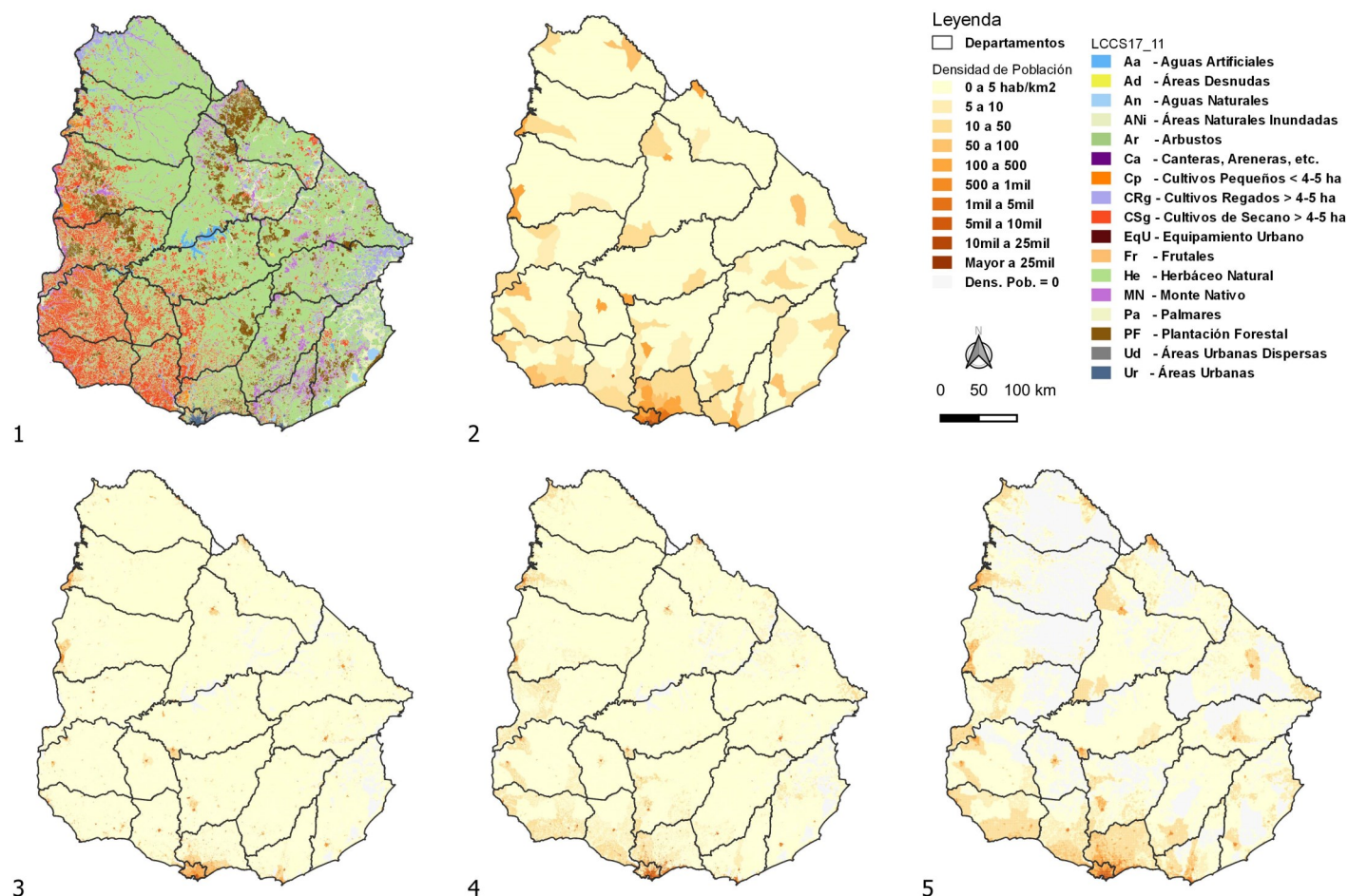
El objetivo general fue construir una representación de diferentes unidades geográficas hacia una caracterización de la densidad de población según la cobertura terrestre. Como objetivos específicos: investigar las distintas formas de representación de densidad de la población en el contexto científico-técnico; analizar las características de las unidades geográficas y las diferentes metodologías de cambio y/o transformación de los formatos y escalas de representación; aplicar y comparar algunas opciones metodológicas para representar la densidad de población según la cobertura terrestre; elaborar conclusiones que permitan indicar las limitaciones metodológicas y las recomendaciones pertinentes en los métodos de agregación y desagregación de los datos geográficos, para su aplicación en Uruguay.

(\*) Proyecto de Investigación de la asignatura "Seminario de Tesis", Orientación Técnicas de análisis territorial / Geomática, de la Licenciatura en Geografía, Facultad de Ciencias, Universidad de la República (UDEAR), Uruguay, defendida a fines de 2017. Tutora: PhD. Virginia Fernández Ramos, y Co-tutor: PhD. Germán Botto Núñez.

En marzo de 2019, fue galardonada con el 2do. Premio del XIX Premio Internacional Francisco Coello, de la Universidad de Jaén (UJA), España, distinción dirigida a Trabajos Fin de Grado (TFG) y a Trabajos Fin de Máster (TFM) en el ámbito de la Ingeniería Geomática.

En noviembre de 2019, fue distinguida con Mención por el Premio Nacional de Urbanismo 2019 del Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente (MVOTMA) de Uruguay, categoría de Trabajos de estudiantes - Monografías y tesis de grado.

Finalmente, hay que mencionar que por Ley N° 19889 (09/07/2020) el MVOTMA se dividió en Ministerio de Ambiente (MA) y Ministerio de Vivienda y Ordenamiento Territorial (MVOT), quedando en este último organismo la publicación oficial de los datos de cobertura de suelo utilizados en esta investigación.



## MATERIALES Y MÉTODOS

Para realizar el proyecto de investigación fue necesario indagar sobre los requerimientos y parámetros de las técnicas existentes, operatividad y dificultades de implementación, los resultados y las formas de evaluar la calidad de información. Así como, reconocer específicamente, los métodos dasimétricos actuales e innovadores para tener una cabal comprensión de la problemática de estudio y hallar su uso adecuado.

El marco teórico se nutrió de conceptos actualizados de análisis espacial y Sistemas de Información Geográfica (SIG), y para valorar la técnica de representación cartográfica, se profundizaron sobre las características de los formatos de los datos geográficos. Particularmente, nos interesó conocer la problemática SIG en la superposición de datos geográficos, los efectos en atributos y geometría, así como, los conflictos en la representación del fenómeno geográfico, dadas por la elección de la escala y unidad de análisis.

Nuestra investigación se importó con el concepto de cambio de escala o escalado (*scaling*), ligado a la extensión, espaciamento y el soporte de las observaciones (Barrios Peña, 2009), e identificó dos tipos distintivos: de desagregación o reducción de escala (*downscaling*), descomponiendo información de forma descendente a unidades menores; y de agregación o aumento de escala (*upscaling*), transfiriendo la información de manera ascendente a unidades mayores.

Se tiene también presente el concepto de error en la aplicación de distintos procesamientos y formatos de representación, y con ello, incorporar bibliografía sobre el manejo de los datos y las incidencias en la cartografía. Por ejemplo, Gotway & Young (2002) advierten sobre la incompatibilidad y modos de inferen-

Figura 1. Mapas de Uruguay:

- 1) Mapa de Uso y Cobertura del Suelo 2011, MVOTMA.
- 2) Mapa coroplético de Densidad de población INE 2011 por Secciones censales.
- 3) Mapa Método 1 (Ponderación Areal Modificada).
- 4) Mapa Método 2 (Método Dasimétrico Inteligente).
- 5) Mapa Método 3 (Cálculo proporcional por área: *grid* 1km).

Mapas 3-4-5 son resultados del Modelo de Coeficientes 3 y Base Vectorial.



cia de los datos, derivando en los clásicos problemas de la unidad de área modificable (PUAM), zonificación, falacia ecológica, alineación y bordes distintos, y el problema en el cambio de soporte. Como procedimientos claves recomiendan la importancia del análisis estadístico y el uso de métodos eficientes en la transferencia de datos.

Uruguay hasta ese momento representaba la Densidad de población –relación entre población y superficie de un territorio– a partir de las unidades geoestadísticas utilizadas por el INE (departamentos, secciones, segmentos y zonas censales).

Es importante tener presente, que la representación del uso de la tierra posee una importancia vital para la humanidad, ya sea por la necesidad de reconocer los recursos existentes como su dinamismo y afectaciones. En este contexto han surgido varios sistemas de descripción y clasificación de la tierra desde la década de 1960, algunos de carácter nacional, regional o global. En Uruguay existen varias cartografías oficiales de interés territorial, tanto por sus implicaciones productivas como de ordenamiento territorial. En nuestro caso de estudio, el Mapa de Cobertura del Suelo de Uruguay se generó a partir del Sistema de Clasificación denominado Land Cover Classification System (LCCS), desarrollado por la Global Land Cover Network (GLCN) de la FAO<sup>1</sup> y la UNEP<sup>2</sup>.

Con el interés de obtener un indicador más ajustado y eficiente de la representación demográfica, se investigaron los antecedentes académicos e institucionales, y entre ellos, trascendió la técnica de mapa dasimétrico, que resultaba ser una herramienta útil a este propósito. Regueira *et al.* (2013) define este concepto como un “mapa de coropletas en el que las áreas estadísticas se subdividen en áreas de homogeneidad relativa basándose en informaciones complementarias”.

En la investigación se presentaron varias técnicas dasimétricas y métodos de representación de cobertura y uso del suelo mundial, útil como información auxiliar. Finalmente, se seleccionaron tres formas de caracterización dasimétrica para aplicar en Uruguay (Figura 2), con variables y ecuaciones para desagregación de población en las 231 secciones censales, aplicando el Método 1 (Ponderación Areal Modificada) y/o el Método 2 (Método Dasimétrico Inteligente), y de agregación de población, utilizando el Método 3 (Cálculo proporcional por área de un *grid* de 1 km).

Para el Método 1 se tuvieron en cuenta los aportes de Gallego & Peedel (2001), Bielecka (2005, 2007), Rosina *et al.* (2012) y Goerlich y Cantarino (2012). De ellos se consideraron las ecuaciones y coeficientes de ponderación de distribución de población por cada tipo de cobertura de suelo, obtenidos de procesos iterativos (conocido como CLC-iterativo). Para el Método 2, los trabajos de Mennis y Hultgren (2006) y Batista e Silva (2009), que se basan en la estimación de población por unidad censal y su redistribución según el área de cada cobertura dentro de esa unidad censal. Para el Método 3, se estudiaron las sugerencias de Milego y Ramos (2011) y Goerlich y Cantarino (2012), que logran las estimaciones de agregación de población por cada celda *grid*, a partir de la suma de la proporcionalidad ponderada de la población según el área y el tipo de cobertura de suelo.

Inicialmente, para emplear los métodos, se realizaron ajustes en los atributos y la topología de las capas de cobertura terrestre y secciones censales. Conjuntamente, se prepararon tres formatos geométricos: una capa vectorial con la intersección entre secciones censales y cobertura (BV: Base Vectorial), una cuadrícula vectorial de 100 m, derivada de la rasterización del dato anterior (BRV: Base Raster-Vectorial), y una cuadrícula vectorial de 1 km (Base *grid*), que contenía 177.474 celdas para todo el Uruguay.

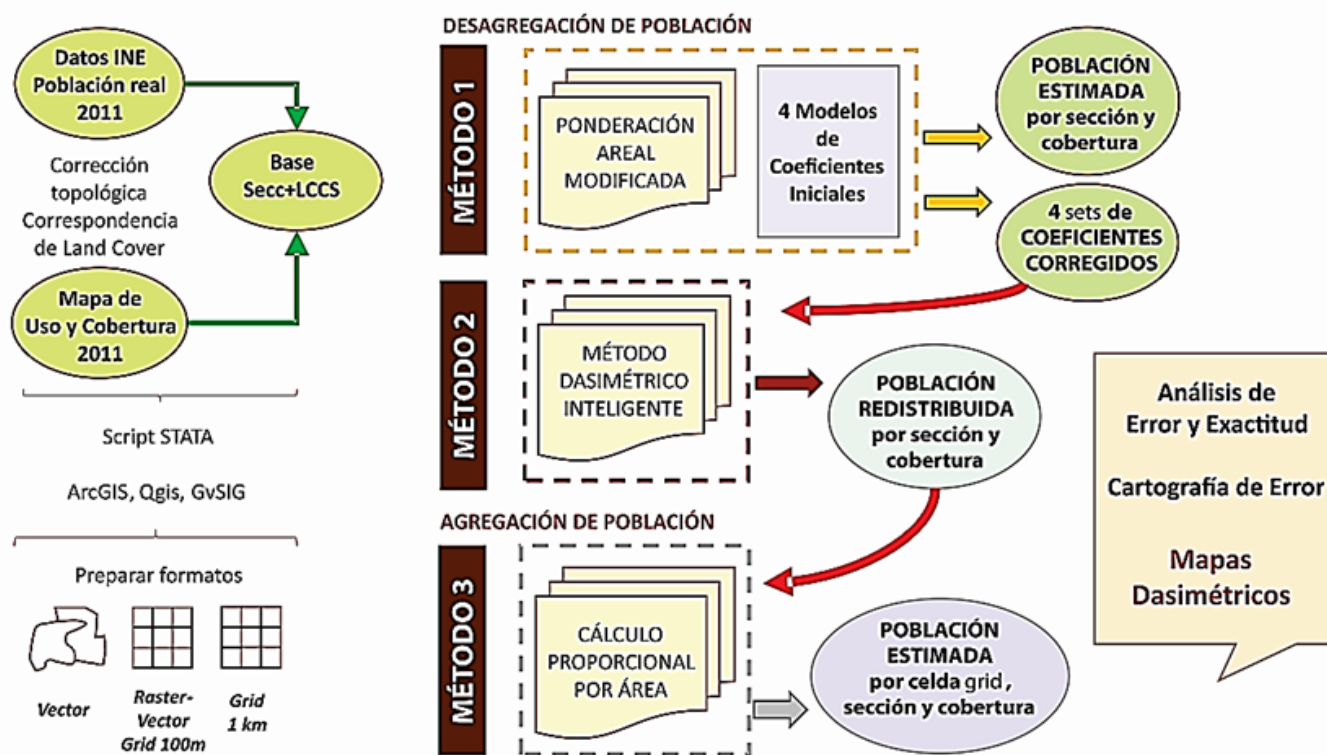
En la aplicación del Método 1, se determinaron cuatro Modelos de Coeficientes (MC) de distribución dasimétrica de la población (Tabla 1). El MC 1 considera todas las coberturas con el mismo nivel de distribución, por lo tanto, los coeficientes teóricos son de valor 1, como propone Rosina *et al.* (2012). El MC 2 considera los coeficientes iniciales de Gallego & Peedel (2001). El MC 3 considera los coeficientes finales de Gallego & Peedel (2001) y Bielecka (2005). El MC 4, creado en el marco de esta investigación, resulta de la adaptación a datos de Uruguay, y corresponde al porcentaje de población por cobertura del suelo, según una distribución aleatoria de la población 2011 por zonas censales INE.

<sup>1</sup>Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO por sus siglas en inglés).

<sup>2</sup>Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente-PNUMA (UNEP por sus siglas en inglés).

Por otro lado, también hubo que adaptar los coeficientes teóricos al sistema de clasificación de cobertura terrestre (LCCS de FAO) de Uruguay, pues los modelos MC 2 y MC 3 utilizaban el sistema europeo CORINE Land Cover (CLC). Para ello, se adaptaron los coeficientes de las categorías de cobertura en bibliografía, y así, hallando los equivalentes más acordes.

### Metodología Aplicada



En todos los casos, se procesaron las bases de datos unificadas (con datos censales y de cobertura) con scripts elaborados con el paquete estadístico *Stata*, para hallar las estimaciones de distribución de población y los nuevos coeficientes por cobertura terrestre. Los tres Métodos utilizaron los cuatro Modelos de coeficientes, y en estudios separados, una de las dos bases geométricas de entrada en la programación (Vectorial y Raster-Vectorial).

Al mismo tiempo, se hallaron los valores globales de diferencia entre población de referencia y estimada, y se calcularon indicadores de discrepancia absoluta  $\Delta$  (equivalente al Error Total Absoluto), variando entre 0 y 2 veces el total de población de la unidad de análisis; indicadores de discrepancia relativa  $\delta$ , re-escala entre [0,1] del anterior indicador; y el índice  $100 \times \delta$ , correspondiente al valor  $\delta$  en porcentaje.

Para medir las diferencias, en el Método 1 se emplearon la población por departamento y sección censal, y para el Método 2, se usaron la población real por sección censal con la población estimada y definida por los coeficientes obtenidos con el Método 1. En el Método 3, se coteja una población "real" ficticia por celda *grid* de 1 km, construida a partir de puntos aleatorios de población 2011 por zona censal, con las estimaciones de agregación por celda obtenidas a partir de la población estimada por cada cobertura y sección censal del Método 2. Como se observa la aplicación del Método 1 fue fundamental para desarrollar e implementar teóricamente los Métodos 2 y 3.

Figura 2. Esquema metodológico de preparación de los datos geográficos y aplicación de los tres métodos dasimétricos propuestos. De ello resultaron diferentes estimaciones, para el cual se prepararon cartografías dasimétricas y de error, así como, gráficos del análisis de error.

Se complementa la verificación de los resultados, con el análisis de exactitud y error del método aplicado. Inicialmente se realizaron cálculos de correlación – Coeficiente de Pearson (R) y Coeficiente de determinación ( $R^2$ )– y nivel de significancia ( $\alpha$ ) para cada estimación de población; así como, los residuales de las observaciones. Para ello, se utilizaron los test estadísticos más frecuentes en estas aplicaciones geodemográficas: la Raíz del Error Medio Cuadrático (RMSE) –rango  $[0, \infty]$ , entre la estimación perfecta y valores muy altos de menor ajuste–; el Error Total Absoluto (TAE) –rango  $[0, (2 * Pt)]$ , entre cero a dos veces la población total del área de estudio–; el Error Medio Absoluto (MAE) y el Error Total Absoluto Relativo (RTAE) –rango  $[0, 2]$ –.

Incluso se valoraron visualmente las estimaciones y el error desde una representación cartográfica. Para ello, se observó la desviación del resultado, sea por infraestimación o sobrestimación, y complementándose a la visualización del error absoluto y relativo. Además, se elaboró la diferencia normalizada entre la población real y estimada por sección censal, tanto gráfica como cartográficamente.

Por último, para obtener mejores resultados se realizaron ajustes en algunas etapas de la aplicación metodológica. Entre ellos, la corrección topológica inicial en la geometría, adecuación de una codificación para la intersección de las unidades entre cobertura y sección censal, preparación de leyendas cartográficas a utilizar, así como, ajustes globales en los coeficientes y métodos a aplicar.

Por ejemplo, es importante destacar que el Método 3, de agregación de las estimaciones de población por celda *grid* de 1 km, presentaba una complejidad extra dada la unión del *grid* con la geometría superpuesta de cobertura y sección censal. Por un lado, se presentaban tres formas posibles de geoprocesos y obtención de geometrías con áreas distintas por cada cobertura en una celda: polígonos Multiparte, Polígonos disueltos y/o Partes sencillas. Por otro lado, se obtendrían de forma inconcebible, valores de población con decimales, y que al recurrir al redondeo de la estimación al inicio y/o al final del proceso se lograban valores muy diferentes. Por ello, se determinó seis tipos de cálculo: Tipo 1 y 2, para polígonos Multiparte; Tipo 3 y 4, para polígonos Disueltos, y Tipo 5 y 6, para polígonos en Partes Sencillas; siendo los tipos impares la suma de población en números enteros en las celdas *grid* al inicio del proceso, y los tipos pares, la suma decimal, para realizar el redondeo al final del cálculo. Luego de algunas verificaciones, se identificaron que los tipos pares estiman mejor, y que el Tipo 2 es el más aceptable, es decir, calcula la suma de población por celda *grid* con redondeo al final y geoproceso de polígonos Multiparte.

## RESULTADOS

A continuación, se presentan el análisis de la asociación entre población real y estimada para los tres métodos dasimétricos, presentando los resultados de base estadística en formato gráfico y cartográfico.

El Método 1, inicialmente posee un estudio particular sobre la cantidad de iteraciones al aplicar las sintaxis *Stata* de análisis estadístico, para obtener las estimaciones equivalentes a la población real, así como los nuevos coeficientes ajustados a Uruguay para cada MC (Tabla 1). Resultaron pocas iteraciones en general: máximo 6 en el MC 1, y mínimo 1 iteración en el MC 4. A priori, es indeterminada la razón de pocas iteraciones, quizás sea por nivel de calidad del dato de origen y/o por una sintaxis con un diseño casi óptimo. Por ejemplo, la adaptación europea de Gallego & Peedel (2001) alcanza 40 iteraciones hasta lograr una población estimada equivalente.

En lo que corresponde al análisis del grado de asociación entre las variables de población real y estimada del Método 1 (Tabla 2 y Figura 3-1), todos los casos lograron un coeficiente de correlación de Pearson (R) positivo entre 0 y 1. El MC 3 en ambos formatos obtuvo el mayor valor (BV:  $R = 0,8804$ ; BRV:  $R = 0,8800$ ), y el MC 1 el peor resultado (BV:  $R = 0,6728$ ; BRV:  $R = 0,6885$ ). En correspondencia a lo anterior, los coeficientes de determinación  $R^2$  del MC 1 y MC 3 respectivamente fueron los valores menores (BV:  $R^2 = 0,4526$ ; BRV:  $R^2 = 0,4741$ ) y mayores (BV:  $R^2 = 0,7751$ ; BRV:  $R^2 = 0,7744$ ) de ajuste lineal entre las variables.

COEFICIENTES RESULTANTES DEL MÉTODO 1		Base Vectorial / Modelo 1 (MC1)		Base Vectorial / Modelo 2 (MC2)		Base Vectorial / Modelo 3 (MC3)		Base Vectorial / Modelo 4 (MC4)	
Categorías del Mapa de Cobertura y Uso del Suelo LCCS 2011		Coeficientes Valor 1		Coeficientes Iniciales Europeos entre 0 y 32		Coeficientes Finales Europeos entre 0 y 176		Coeficientes Adaptados a Uruguay 2011	
MVOTMA Uruguay		Coeficiente Inicial Teórico	Coeficiente Final (6 iteraciones)	Coeficiente Inicial Teórico	Coeficiente Final (5 iteraciones)	Coeficiente Inicial Teórico	Coeficiente Final (3 iteraciones)	Coeficiente Inicial Teórico	Coeficiente Final (1 iteración)
Cód.	Categoría		Valor promedio		Valor promedio		Valor promedio		Valor promedio
Aa	Agua Artificial	1	2,65	0	0	0	0	0	0
Ad	Áreas Desnudas	1	3,45	0	0	0	0	0	0
An	Agua Natural	1	3,43	0	0	0	0	0	0
ANi	Áreas Naturales Inundadas	1	4,91	0	0	0	0	0	0
Ar	Arbustos	1	2,90	1	2,11	0,5	0,65	0,17	0,19
Ca	Canteras, Arenas, Minas a Cielo Abierto	1	4,67	0	0	0	0	0	0
Cp	Cultivos Regados y de Secano < 4-5 has	1	4,90	5	14,75	6	9,07	0,87	1,07
CRg	Cultivos Regados > 4-5 has	1	3,45	3	6,60	3	3,66	0,14	0,17
CSg	Cultivos de Secano > 4-5 has	1	2,98	3	6,07	3	3,98	1,43	1,76
EqU	Equipamiento Urbano	1	4,49	1	2,87	10	15,29	0,24	0,29
Fr	Frutales	1	4,77	5	14,11	6	8,60	0,24	0,30
He	Herbáceo Natural	1	0,89	1	0,87	0,5	0,43	5,4	4,33
MN	Monte Nativo	1	2,49	1	1,82	0,5	0,59	0,74	0,77
Pa	Palmares	1	5,39	1	3,51	0,5	0,80	0	0
PF	Plantación Forestal	1	1,20	1	1,07	0,5	0,49	0,95	0,91
Ud	Áreas Urbanas Dispersas	1	4,65	5	14,38	176	259,29	7,53	9,17
Ur	Área Urbana	1	5,11	32	96,85	176	295,68	82,21	101,60

Tabla 1. Coeficientes iniciales y resultantes de la aplicación de cuatro Modelos de Coeficientes en base a la bibliografía, según el Método Dasimétrico 1. Aquí se presentan los valores promedios resultantes del proceso de iteración de las sintaxis Stata, utilizados para crear (o recrear) los mapas dasimétricos según este método.

En el análisis del nivel de asociación de estimaciones según el Método 2 (Tabla 2), los cuatro MC y los dos formatos, se lograron coeficientes  $R = 1$  y coeficientes de determinación  $R^2$  también valor 1. Aunque esto representa un resultado dudoso, deviene porque la población de entrada y la estimada sumada en cada sección censal presentan valores muy similares.

En el Método 3 y agregación Tipo 2 resultaron con coeficientes  $R$  positivos entre 0 y 1 (Tabla 2 y Figura 3-3). El MC 3 fue el que mostró el mejor resultado (BV:  $R = 0,9297$ ; BRV:  $R = 0,9283$ ) y el MC 1 obtuvo el menor valor (BV:  $R = 0,8240$ ; BRV:  $R = 0,8274$ ). En correspondencia con lo anterior, los coeficientes  $R^2$  del MC 1 y MC 3, respectivamente, fueron los valores menores (BV:  $R^2 = 0,6789$ ; BRV:  $R^2 = 0,6845$ ) y mayores (BV:  $R^2 = 0,8644$ ; BRV:  $R^2 = 0,8617$ ) de ajuste lineal entre las variables.

El nivel de significancia en los tres Métodos dasimétricos, para el 95% de intervalo de confianza, y los 8 MC (4 Vectorial y 4 Ráster-Vectorial), lograron un p-valor menor a 0.0001, indicando la característica de extremadamente significativo.



A partir del cálculo de error por sección censal de la estimación de población, se prepararon mapas de error relativo y de diferencia normalizada para Uruguay según los tres Métodos, los cuatro Modelos de coeficientes y ambos formatos geométricos (BV y BRV). En los mapas del Método 1 (Figura 4-1), resultaron para todos los MC, sobrestimaciones de población en la mayoría de las secciones censales "rurales", e infraestimaciones en Secciones "urbanas". Este problema ya lo había advertido Gallego & Peedel (2001) en la aplicación europea. Se reconoció infraestimación considerable en el centro de Montevideo, capitales departamentales y localidades de población. Las Secciones más periféricas o del interior de los departamentos se caracterizaron en general por tener algún nivel de sobrestimación. En el caso de los mapas normalizados los patrones mantuvieron la representación relativa de diferencia de población.

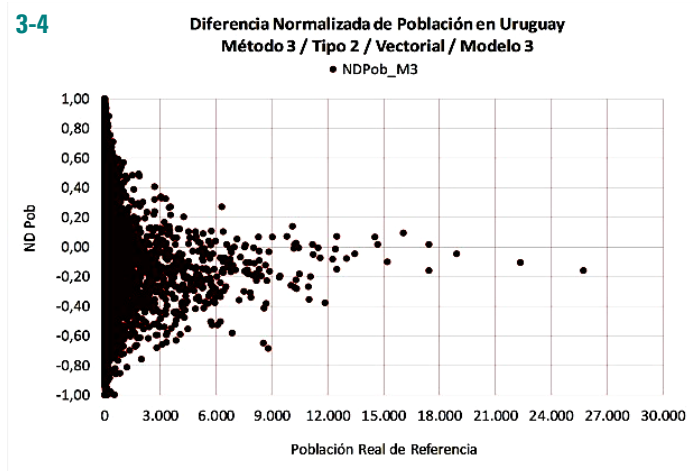
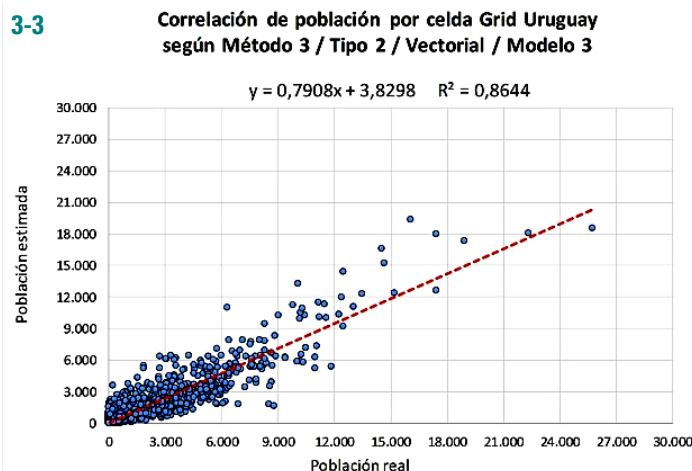
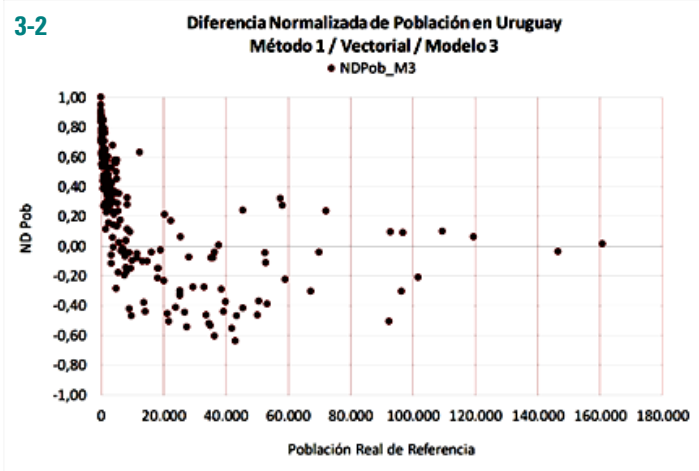
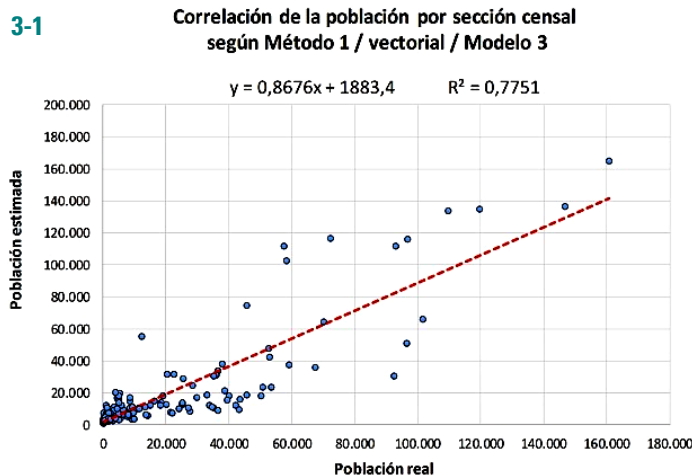


Figura 3. Análisis estadístico de los Métodos Dasimétricos 1 (de desagregación de población) y 3 (agregación del Tipo 2), según la base Vectorial y el Modelo de Coeficientes 3. Se presentan los gráficos de Correlación (1 y 3), indicándose el valor de Coeficientes de determinación  $R^2$ , y de Diferencia normalizada (2 y 4) entre población real y estimada de 231 Secciones censales de Uruguay.



El Método 2 obtuvo errores de estimación entre un “-5% a 5%” del valor de población en las 231 secciones censales, en ambos formatos geométricos, resultando valores infraestimados y sobrestimados y una cartografía de error poco representativa. Como mencionado previamente, este método considera que la población inicialmente introducida en el algoritmo se mantenga íntegramente cuando realiza la redistribución, sin haber pérdidas por redondeo o asignación espacial.

En el Método 3, de agregación de población en un *grid* de 1km, los valores gráficos y cartográficos (Figura 4-2) resultaron de las diferencias entre población real y estimada en las 177.474 celdas del país. En todos los MC se observa una sobrestimación de población, principalmente en celdas suburbanas de alrededores de capitales departamentales y la franja sur del país con actividades indicativas de una dinámica metropolitana o de pequeñas localidades interconectadas. La infraestimación se verifica en el centro de ciudades importantes y algunas localidades urbanas dispersas, y una distribución dispersa en el entorno rural. Este error acompaña la tendencia detectada en el Método 1. El grupo de “- 5% a 5%” de bajo error estimado, incluyó la mayoría de las celdas en los 4 MC, indicando un buen desempeño general. Por ej., el error estimado de este grupo en base Vectorial, representó en el MC 1 el 72,59% de celdas incluidas, en MC 2 el 73,38%, en MC 3 el 73,94% y en MC 4 el 73,05%.

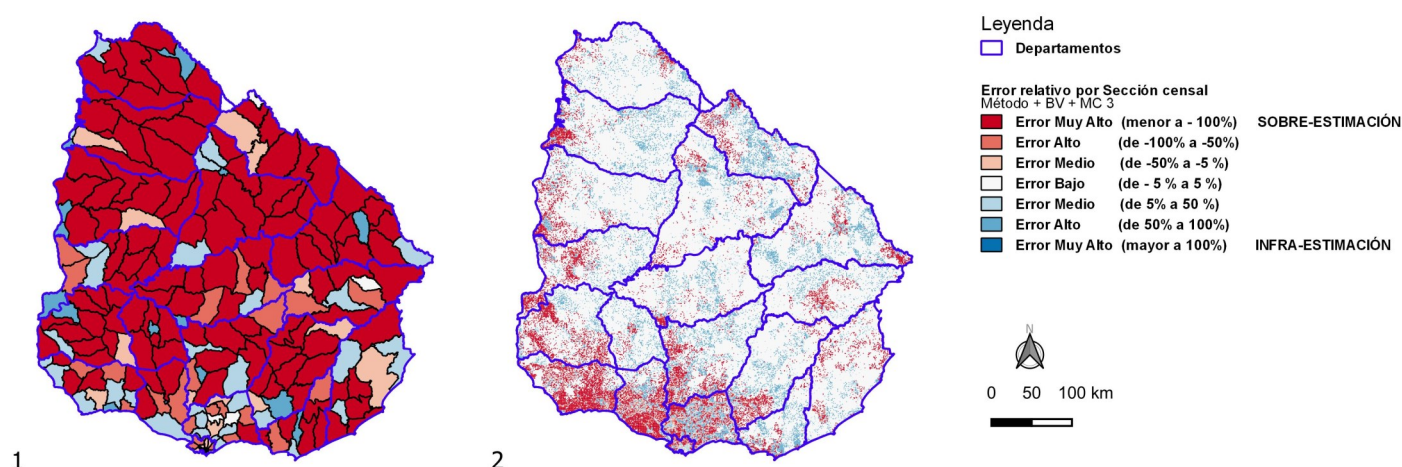


Figura 4. Mapas de Error para Uruguay:

- 1) Error Relativo por Sección censal, según el Método 1 de desagregación, Modelo de Coeficientes 3 y Base Vectorial.
- 2) Error Relativo por Celda *grid* de 1 km, según el Método 3 / Tipo 2 de agregación, Modelo de Coeficientes 3 y Base Vectorial.

La leyenda en color rojo representa las sobrestimaciones y en azul las infraestimaciones de población.

En consonancia, los indicadores de error y exactitud propuestos (RMSE, TAE, MAE y TAE) para el Método 1, se obtuvieron las mismas tendencias en el análisis de los 4 MC y los dos formatos geométricos. El MC 3 (Tabla 2) presentó los indicadores de menor desviación, seguido del MC 2. El peor rendimiento de ajuste de modelos de distribución de población según cobertura del suelo lo obtuvo el MC 1 (que utiliza los coeficientes valor 1). En el caso del Método 2, el MC 4 (coeficientes adaptados a Uruguay 2011) representó a los valores de menor desviación, seguido del MC 2. El peor rendimiento lo obtuvo el MC 1 en los cuatro indicadores. El indicador RTAE (Vectorial) presentó valores demasiado bajos, casi nulos. En el Método 3 Tipo 2, el MC 3 representó a los valores de desviación menores, seguido del MC 4. El peor rendimiento de ajuste lo obtuvo el MC 1 en los cuatro indicadores.

En los análisis de los índices de discrepancia absoluta  $\Delta$  (equivalente a TAE), el índice de discrepancia relativa ( $\delta$ ) y el índice  $100 \times \delta$ , se estimaron los resultados para Uruguay y cada uno de los 19 Departamentos. Por ejemplo, el Método 1, BV y MC 3 obtuvo el valor más bajo de discrepancia absoluta y relativa ( $\Delta = 1.684.347,24$ ;  $\delta = 0,26$ ;  $\delta \times 100 = 25,63$ ), y el MC 1 el más alto ( $\Delta = 2.798.748,90$ ;  $\delta = 0,43$ ;  $\delta \times 100 = 42,59$ ). A nivel departamental, para los 4 modelos, se identifica en Montevideo al mínimo del conjunto (MC 1:  $\delta = 0,24$ ; MC 2:  $\delta = 0,15$ ; MC 3:  $\delta = 0,17$ ; MC 4:  $\delta = 0,15$ ) y en Flores al valor máximo (MC 1:  $\delta = 0,82$ ; MC 2:  $\delta = 0,76$ ; MC 3:  $\delta = 0,59$ ; MC 4:  $\delta = 0,77$ ). Coincide que Montevideo es el departamento de

mayor población (1.318.755 habitantes) y Flores el de menor población del país (25.050 habitantes).

En el Método 2, al obtener un total de población casi similar a la población real, en todos los modelos se alcanzaron valores casi nulos de discrepancia de población ( $\delta = 0,00$ ;  $\delta \times 100 = 0,00$ ), a pesar de que presentaran valores de discrepancia absoluta de 158, 130, 134 y 115 habitantes, respectivamente, entre los MC 1 al 4 (BV) o de 161, 127, 124 y 123 habitantes (BRV). Esto demuestra en parte, que la estimación en el Método 2 no es exacta.

Según el Método 3 Tipo 2, el MC 3 presentó el valor más bajo de discrepancia relativa ( $\delta = 0,28$ ;  $\delta \times 100 = 27,81$ ) y el MC 1 el más alto ( $\delta = 0,52$ ;  $\delta \times 100 = 51,95$ ). Incluso a nivel departamental se llegó a estos máximos y mínimos en conjunto, identificándose que Montevideo logra para los 4 MC el mínimo del conjunto (MC 1:  $\delta = 0,22$ ; MC 2:  $\delta = 0,15$ ; MC 3:  $\delta = 0,16$ ; MC 4:  $\delta = 0,15$ ). En el caso de los valores máximos, Flores era el de mayor valor de discrepancia absoluta (como en el Método 1), pero para el índice de discrepancia relativa tuvo a Río Negro como máximo para MC 1:  $\delta = 0,90$ ; MC 2:  $\delta = 0,76$ , y MC 3:  $\delta = 0,59$ ; y Lavalleja fue el máximo para el MC 4:  $\delta = 0,77$ .

Análisis estadístico		Base Vectorial / Modelo de coeficientes				Base Raster-Vectorial / Modelo de coeficientes			
Método dasimétrico	Parámetros	Población Real y MC 1	Población Real y MC 2	Población Real y MC 3	Población Real y MC 4	Población Real y MC 1	Población Real y MC 2	Población Real y MC 3	Población Real y MC 4
<b>Método 1</b>	Coefficiente $R^2$	0,4526	0,6922	0,7751	0,6183	0,4741	0,6778	0,7744	0,6180
	Coefficiente R	0,6728	0,8320	0,8804	0,7863	0,6885	0,8233	0,8800	0,7861
	RMSE	20.367	14.411	12.425	16.121	19.764	14.763	12.455	16.132
	RTAE	0,85	0,65	0,51	0,75	0,84	0,67	0,51	0,75
	Indicador $\delta$	0,43	0,33	0,26	0,37	0,42	0,33	0,26	0,37
<b>Método 2</b>	Coefficiente $R^2$	1	1	1	1	1	1	1	1
	Coefficiente R	1	1	1	1	1	1	1	1
	RMSE	0,95	0,82	0,83	0,74	0,96	0,81	0,81	0,81
	RTAE	0,00005	0,00004	0,00004	0,00003	0,00005	0,00004	0,00004	0,00004
	Indicador $\delta$	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Método 3 (Tipo 2)</b>	Coefficiente $R^2$	0,6789	0,8519	0,8644	0,8553	0,6845	0,8450	0,8617	0,8553
	Coefficiente R	0,8240	0,9230	0,9297	0,9248	0,8274	0,9192	0,9283	0,9248
	RMSE	170,63	118,00	112,59	116,13	169,25	120,49	113,50	116,05
	RTAE	1,04	0,68	0,55	0,67	1,03	0,70	0,56	0,67
	Indicador $\delta$	0,52	0,34	0,28	0,33	0,51	0,35	0,28	0,33

Tabla 2. Resultados del análisis estadístico entre la población estimada y real de los Métodos Dasimétricos 1, 2 y 3, según las bases Vectorial y Ráster-Vectorial, y los cuatro Modelos de Coeficientes derivados del Método 1. Se presentan los valores de Coeficientes de determinación  $R^2$ , Coeficientes de Pearson R, indicadores de error RMSE (rango  $[0, \infty)$  y RTAE (rango  $[0, 2]$ ), y el indicador de discrepancia relativa  $\delta$ , entre población real y estimada de Secciones censales de Uruguay.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Esta investigación constituye una contribución novedosa a la representación cartográfica de la densidad de población en Uruguay. Actualmente, la cartografía nacional de densidad de población procede principalmente de mapas coropléticos según los distintos niveles de unidad censal; técnica de población/área censal, que nos parece correcta, pero limitada. Dada la importante bibliografía del tema dasimétrico y las diferentes adaptaciones regionales y nacionales, exploramos y seleccionamos los métodos más factibles de producción, ya sea por su aplicación sencilla como por las unidades geográficas más pertinentes.

La elección de tres métodos, dos de desagregación (Método 1, Ponderación Areal Modificada, y Método 2, Dasimétrico Inteligente) y uno de agregación de información (Método 3, Cálculo proporcional de área), proporcionó un abanico de posibilidades para la implementación y realización de mapas temáticos originales en futuras instancias. Estas alternativas están asociadas a la aplicación y estudio de dos unidades de trabajo: las unidades censales (en Método 1 y 2, donde se utilizó la información de sección censal cruzada con la cobertura del suelo) y el *grid* en base a celdas de 1 km x 1 km (utilizada en el Método 3). Pero más allá de este estudio operacional, se estimó la conveniencia del uso de dos formatos de construcción geométrica: Vectorial (cruce simple de las unidades censales y cobertura del suelo) y Ráster-Vectorial (capa vectorial “rasterizada” en una cuadrícula de 100 m x 100 m, posteriormente “vectorizadas”, indagando sobre situaciones similares con datos originalmente ráster).

A continuación, se indican las conclusiones y recomendaciones más importantes de la investigación:

1. Promover una adecuada topología y delimitación de los datos geográficos de entrada, que faciliten su integración y alineación, y en este sentido, evaluar la necesidad de lograr un *grid* como estándar nacional de geometrías multinivel codificadas (por ej., 50, 10, 1 km);
2. Obtención de un buen nivel de correlación y significancia estadística en los Métodos dasimétricos aplicados, aunque se sugiere utilizar el Modelo de Coeficientes 3 y/o 4;
3. En la aplicación del Método 1 se observó que las unidades espaciales (secciones censales) con mayor área y/o con menor cantidad de población tienen menores desviaciones en las estimaciones de error, facultando la oportunidad para futuros estudios sobre esos casos particulares;
4. El Método 3 logra los mejores resultados en todos los modelos de coeficientes y entre los tres Métodos, e incluso, esta técnica fue útil en la representación del *grid* de 1 km, utilizando solamente los datos coropléticos de población por zona censal;
5. Se propone investigar escalas a partir del uso de unidades censales menores a sección censal y/o cobertura de suelo de mayor resolución, y coeficientes para nuevas categorías o grupos de cobertura de suelo, así como, investigar nuevos métodos estadísticos y/o dasimétricos para ajustar mejor la representación;
6. Se propone que el INE y el MVOTMA se apropien de los resultados de la investigación para aplicaciones futuras y la planificación del territorio, y se sugiere que en años de censos de población se realicen mapas de cobertura de suelo.

Por último, en relación con los mapas dasimétricos resultantes, es bastante revelador, independiente del nivel de exactitud de un Método o Modelo de Coeficientes adoptado, la mejora en la representación de la densidad demográfica en el territorio nacional. Es fundamental el hecho de no distribuir población en zonas de coberturas de aguas, canteras, áreas desnudas y humedales, por ser categorías de suelo no habitables, y que en los mapas de los Modelos de Coeficientes 2, 3 y 4, se representan sin población, es decir, con valor 0. Así como de identificar, en contra-

parte, la huella de la alta densidad de población en localidades y centros urbanos de importancia.

El trabajo confirma la valiosa capacidad que genera este tratamiento de escalamiento y cambio de soporte, sea por desagregación o agregación de datos (Figura 5). Ello posibilita el uso adecuado para situaciones en que se desconoce la distribución de población propia de los mapas coropléticos. Por lo tanto, la aplicación de métodos dasimétricos permite una mejor aproximación a la distribución de población en el territorio uruguayo, constituyéndose en una herramienta significativamente útil para el análisis territorial.

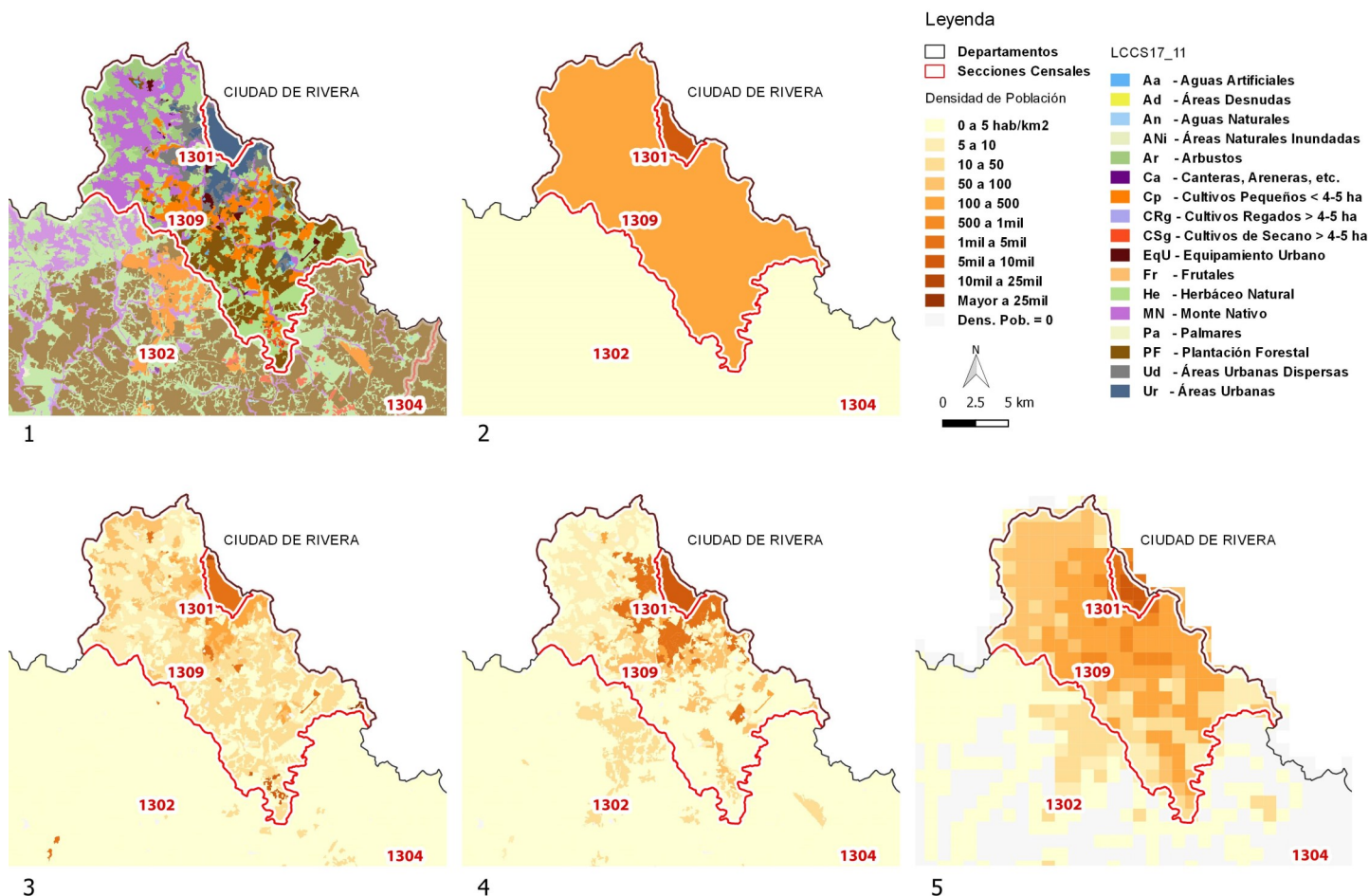


Figura 5. Mapas de las Secciones censales de la Ciudad de Rivera (1301 y 1309).

- 1) Mapa de Uso y Cobertura del Suelo 2011, MVOTMA.
- 2) Mapa coroplético de Densidad de población INE 2011 por Secciones censales.
- 3) Mapa Método 1 (Ponderación Areal Modificada).
- 4) Método 2 (Método Dasimétrico Inteligente).
- 5) Método 3 (Cálculo proporcional por área: *grid* 1km).

Mapas 3-4-5 son resultados del Modelo de Coeficientes 3 y Base Vectorial.



## REFERENCIAS

1. Álvarez, A., A. Blum y F. Gallego (2015). *Atlas de cobertura del suelo del Uruguay. Dirección Nacional de Ordenamiento Territorial (DINOT)*, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). Montevideo: Mosca.
2. Barrios Peña, M. I. (2009). *Análisis de escalabilidad espacial para un modelo conceptual de producción de escorrentía*. Tesina de Máster Universitario en Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente. Universidad Politécnica de Valencia, España.
3. Batista e Silva, F. (2009). *Modelação Cartográfica e Ordenamento do Território: Um ensaio metodológico de cartografia dasimétrica aplicado à região Oeste e Vale do Tejo*. Tesis de Maestría en Sistemas de Información Geográfica e Ordenamento do Território, Universidade do Porto, Portugal.
4. Bielecka, E. (2005). A dasymetric population density map of Poland. En: ICC2005, International Cartographic Conference (XXII), *Proceedings*, 9-15 julio 2005, La Coruña, España. 9 pp.
5. Bielecka, E. (2007). Mapping Population Density Using Dasymetric Methods. In: D. Kereković (Ed.). *Richness and Diversity of GIS. Croatian Information Technology Association - GIS Forum*, University of Silesia, Zagreb, pp. 209-215.
6. Cal, A., A. Álvarez, C. Petraglia, M. Dell'Acqua, N. López y V. Fernández (2011). Mapa de Cobertura del Suelo de Uruguay - *Land Cover Classification System*. Montevideo: Mosca.
7. Cantarino, I. y F. Goerlich (2013). Un modelo de distribución de población para España. *GeoFocus* (Artículos), n.º 13-1, pp. 246-269.
8. Gallego, J. & S. Peedel (2001). Chapter 6: Using CORINE land cover to map population density. In: *Towards agri-environmental indicators. Integrating statistical and administrative data with land cover information*. Topic report n.º 6. Luxemburgo: Eurostat, DG Agriculture, DG Environment, Joint Research Center, European Environment Agency, pp. 94-105.
9. Goerlich, F. J. y I. Cantarino (2012). *Una grid de densidad de población para España. Informe Economía y Sociedad*. 1ª ed. Bilbao: Fundación BBVA.
10. Gotway, C. & L. Young (2002). Combining incompatible spatial data. *Journal of the American Statistical Association*, Vol. 97 (458), pp. 632-648.
11. Instituto Nacional de Estadística (INE). *Base de Datos. Microdatos de Población. Marco censal año 2011*. Montevideo, Uruguay: INE. Recuperado de: <http://www.ine.gub.uy/web/guest/bases-de-datos> [Acceso 7/12/2017, 19/05/2021]
12. Instituto Nacional de Estadística (INE). *Mapas (Vectoriales y/o shapefiles de Unidades Geoestadísticas)*. Montevideo, Uruguay: INE. Recuperado de: <http://www.ine.gub.uy/web/guest/cartografia> [Acceso 7/12/2017, 19/05/2021]
13. Mennis, J., & T. Hultgren (2006). Intelligent Dasymetric Mapping and Its Application to Areal Interpolation. *Cartography and Geographic Information Science*, Vol. 33 (3), pp. 179-194.
14. Milego, R. & M. J. Ramos (2011). Disaggregation of socioeconomic data into a regular grid and combination with other types of data. *Technical Report, ESPON Database 2013, European Observation Network for Territorial Development and Cohesion Programme*, Bruselas: Comisión Europea.
15. Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente (MVOTMA), Dirección Nacional de Ordenamiento Territorial (DINOT). *Sistema de Información Territorial. Mapa de Cobertura y Uso del Suelo*. Montevideo: MVOTMA. Recuperado de: <http://sit.mvotma.gub.uy/js/cobertura/> [Acceso 7/12/2017, 19/05/2021]

16. Regueira, I., J. Molina, S. Ojeda, M. Escudero y G. Pérez (2013). La distribución especial de la población en Andalucía. Instituto de Estadística y Cartografía de Andalucía. En: *IV Jornadas Ibéricas de Infraestructura de Datos Espaciales*, 13-15 noviembre 2013, Toledo, España.
17. Rosina, K., P. Hurbánek, & P. Atkinson (2012). Spatial disaggregation of population data using maps of land cover and imperviousness / Priestorová dezagregácia populačných dát s využitím máp krajinej pokrývky a nepriepustnosti povrchu. En: *Symposium GIS Ostrava 2012. Současné výzvy geoinformatiky: proceedings*. VŠB - Technická univerzita Ostrava, 23-25 enero 2012, Ostrava, República Checa.

## Néstor López Dos Santos

Licenciado en Geografía por la Facultad de Ciencias, Universidad de la República, Uruguay. Es profesor de “Representación y Análisis de la Información Geográfica” de la Licenciatura en Gestión Ambiental, del Centro Universitario Regional Este, Maldonado.

Imparte docencia en la Universidad de la República desde 2007, sobre distintas Tecnologías de la Información Geográfica, principalmente Cartografía y SIG. Actividad realizada para las carreras de grado en Geografía (Facultad de Ciencias), Desarrollo (Facultad de Ciencias Sociales), Diseño Integrado (CENUR Salto) y Licenciatura en Gestión Ambiental (CURE Región Este). Participó en proyectos de investigación del Departamento de Geografía (Facultad de Ciencias) y del Instituto de Teoría y Urbanismo (Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo).

Cuenta con amplia experiencia de consultorías al sector público en la preparación de productos cartográficos relacionados con el ordenamiento territorial (Ministerio de Vivienda y Ordenamiento Territorial), medio ambiente (Ministerio de Ambiente) y gestión de riesgos de desastres (Sistema Nacional de Emergencias, Intendencia de Rivera). Actualmente, asesora en SIG y gestión de información geográfica a la Dirección de Cambio Climático, Ministerio de Ambiente, y desarrolla el Proyecto “SIG para la gestión del patrimonio arqueológico” de la Comisión del Patrimonio Cultural de la Nación (CPCN).

### Se sugiere citar:

López Dos Santos, N. (2021). Caracterización dasimétrica para Uruguay auxiliada por el mapa de uso y cobertura del suelo. *Revista Cartógrafo.CL* 1 (1), pp. 51-64.



Bajo Licencia Creative Commons  
Atribución 4.0 Internacional.