

Análisis de algunas dinámicas de la población colombiana durante el periodo 1985-2015

Autor: Sergio Avilán Britto
Directores: Alberto Ramírez González y
Alex Mauricio González Méndez



Pontificia Universidad Javeriana
Facultad de Estudios Ambientales y Rurales
2018

Resumen

El estudio de la población colombiana ha sido ampliamente tratado por demógrafos y por estadísticos, no obstante, las aproximaciones teóricas son todas tomadas de la *ecología de poblaciones*. Así bien, el objetivo de esta investigación es analizar algunas de las dinámicas poblacionales de Colombia enfrentando dos diferentes enfoques conceptuales: *bottom-up* y *top-down*. Para esto, se llevaron a cabo correlaciones, regresiones, el desarrollo de mapas y la elaboración de un modelo de agentes. Por ello, el análisis estadístico realizado fue orientado a entender posibles relaciones, no necesariamente causales, entre diferentes variables asociadas al crecimiento poblacional. Esto llevó a resaltar, que la población colombiana está atravesando un proceso de transición demográfica en el cual estamos iniciando un *envejecimiento poblacional*. Esto quiere decir, que a medida que la expectativa de vida individual es cada vez mayor, la tasa de fecundidad poblacional es más baja. Esta dinámica, es influenciado por el aumento en los costos de vida y los factores asociados a un aumento en la *calidad de vida*. Por ello, el modelo de agentes, basado en toma de decisiones individuales, busca explorar la dinámica de migración interdepartamental en la cual la *calidad de vida* es el núcleo del proceso de toma de decisión, que llevó a los individuos a seleccionar predominantemente departamentos con condiciones favorables utilizando variables asociadas a una alta *calidad de vida*; dentro del cual, el *Ingreso Nacional Bruto per cápita* tuvo mayor influencia. Así pues, el crecimiento poblacional, aunque sigue positivo, ha disminuido y a su vez estamos experimentando una transición demográfica: *envejecimiento poblacional*. Importante reflexión en la toma de decisiones nacionales y de planeación.

Abstract

The study of the Colombian population has been broadly approached by demographers and statistician, however, the theory underlining is all provided by the field of *populational ecology*. Therefore, the objective of this investigation is to analyze some of the populational dynamics of Colombia from two different conceptual perspectives: *bottom-up* and *top-down*. Then, this study used correlations, regressions, maps and the elaboration of an agents model. Hence, the statistical analysis was directed to study relationships, not necessarily causal, amongst different variables associated to the populational growth. This revealed, that the population is undergoing a process of demographic transition where we are begging a *populational aging*. This means, that as the individual life expectancy is increasing, at the same time the fecundity rates are decreasing. This dynamic is influenced by, an increase in the costs of living and with factors associated with *quality of life*. Given this, the agents model, based on the faculty of individual decision taking, explores the interdepartmental migration in which the *quality of life* is the nuclei of the process of decision that lead the individuals to select predominantly departments with favorable conditions, using variables associated with a high *quality of life*; where the *Gross National Income per capita* had the greatest influence. Whereas, the populational growth is still positive, it has decreased it rates, as well the country is experiencing a demographic transition: *populational aging*. Important reflection in terms of decision taking and national planning.

1 Introducción

1.1 Problema

La población humana ha tenido un crecimiento desenfrenado que ha llevado casi a la triplicación en números absolutos mundiales en último siglo (Ricklefs & Miller, 1999). Esto es de importante atención ya que las poblaciones que alcanzan números muy altos de individuos consumen una mayor porción de la energía disponible en el sistema y puede llevar a la inestabilidad en las funciones de soporte (Odum, 1975). El entendimiento del crecimiento poblacional humano es indispensable para poder proyectar y potencialmente diseñar planes de regulación que permitan una relación más saludable y duradera con los ecosistemas (Ripple et al., 2017).

Muchos países en el mundo, sobre todos aquellos con mayor poder económico y calidad de vida, han empezado a demostrar un cambio en sus pirámides poblacionales, lo que sugiere un posible equilibrio (Ricklefs & Miller, 1999). Sin embargo, esta abstracción trasladado a curvas de supervivencia en humanos se vuelve irreal (Margalef, 1995). Ya que, la capacidad de importar recursos y distribuirlos homogéneamente en el espacio representa una capacidad muy alta de saciar las necesidades y adicionalmente tener una cantidad de recursos creciente. Por lo tanto, la explicación del crecimiento poblacional humano encuentra ciertas limitaciones, ya que las razones atribuidas tradicionalmente a la estabilidad en el crecimiento poblacional están asociadas a la disponibilidad de recursos.

La población colombiana ha tenido un rápido crecimiento al igual que la tendencia mundial, sobre todo en el siglo pasado en donde el número de ciudadanos pasó de 8,701,816 en 1938 a 30,062,200 en 1985; un aumento de más del treientos por ciento en medio siglo (Banguero & Castellar, 1991). Aunque el crecimiento en Colombia ha disminuido en los últimos años, las proyecciones para el 2025 son de 54,280,617 personas lo que implica una presión inmensa sobre los ecosistemas (Banguero & Castellar, 1991). Se presume que la principal causa de la disminución en el crecimiento poblacional colombiano es una disminución en la tasa de natalidad y un incremento en la tasa de mortalidad, teniendo mayor peso la segunda (Banguero & Castellar, 1991). Dado esto, es importante posterior al entendimiento de las dinámicas poblacionales ocurrientes, entender cuáles son las diversas causas de muerte y determinar cuáles están teniendo un mayor peso sobre el crecimiento poblacional (Margalef, 1995).

Debido a que Colombia es un país que tiene una historia estadística relativamente reciente (Estrada Orrego, 2017), es importante ahondar sobre los procesos de transición demográfica que se están llevando a cabo haciendo uso de la información disponible. Así bien, entender el comportamiento de los factores principales asociados al crecimiento poblacional en Colombia, permite establecer relaciones importantes que respondan a temas de planeación nacional (Ministerio de Salud y Protección Social, 2013). Más aún, entender procesos como el *envejecimiento poblacional* (UN, 2017) o la migración interna pueden proveer información necesaria para atender las problemáticas demográficas futuras.

1.2 Justificación

La ecología, al ser entendida como la ciencia que estudia el hábitat de plantas, microorganismos, animales y humanos que cohabitan como componentes interdependientes (Odum, 1975), denota una ciencia holística que permite entender la codependencia en las relaciones que hay entre diversos factores en un sistema. Por ello, la ecología se encuentra en todos los ámbitos y puede tener aproximaciones diversas. No hay una sola forma de entender, estudiar y preguntarse sobre la ecología.

Uno de los campos más formalmente descritos en esta ciencia, es la *ecología de poblaciones*, que busca entender las fluctuaciones en el número de individuos de la misma especie causadas por variaciones en el ambiente (Margalef, 1995). Encima, ha servido de herramienta, no solo para profundizar nuestro conocimiento sobre el entorno sino también, para estudiar fenómenos reales como patrones de extinción. Por ello, la *ecología de poblaciones* ofrece un valioso aporte dentro de la ecología.

Por otra parte, el impacto que ha tenido la especie humana sobre la biosfera es inmenso (Ripple et al., 2017). Por eso, es de vital importancia entender a profundidad los diversos impactos que la humanidad tiene sobre los ecosistemas. Claramente, una de las consecuencias de las afectaciones que se pueden observar es debido a una cantidad creciente de humanos que incrementa sostenidamente las problemáticas ambientales (Echols, 2018).

Es así, como este estudio busca indagar sobre los patrones de crecimiento poblacional y los principales factores que están influenciando la dinámica poblacional de Colombia. Así es, que, entendiendo la población colombiana, se puede, generar una planeación adecuada para los colombianos en el futuro.

Por otro lado, dentro de la formación de un ecólogo, al pensar en sistemas, siempre hay dos visiones que contrastan profundamente al momento de entender y acercarse a una realidad: *bottom-up* y *top-down*. La primera, permite entender las dinámicas dentro de un sistema como la sumatoria de las interacciones que ocurren en niveles jerárquicos bajos y se expresan posteriormente, en una jerarquía superior. La segunda, por el contrario, entiende los sistemas como el resultado de las presiones que se ejercen desde las jerarquías superiores y el resultado se expresa en todos los niveles. Teniendo esto en cuenta, el estudio de las poblaciones ha sido pensada utilizando el esquema *top-down*, donde, los factores que determinan el crecimiento o decrecimiento poblacional operan sobre ésta y esto se ve expresado en sucesiones de nacimientos y muertes (Margalef, 1995). Así bien, este estudio busca entender la población colombiana desde la perspectiva tradicional, pero también, busca explorar los factores que afectan la dinámica de migración interdepartamental en la escala del individuo.

1.3 Preguntas de investigación

1.3.1 General

¿Cuáles son los factores principales asociados a la dinámica poblacional de Colombia a nivel nacional y departamental y cuáles son sus interacciones a través del tiempo y el espacio durante el periodo 1985-2015?

1.3.2 Específicas

- ¿Cuál ha sido la dinámica poblacional de Colombia espacial y temporalmente?
- ¿Qué relaciones existen entre factores socioculturales, económicos, demográficos y ecológicos asociadas al crecimiento poblacional?
- ¿Cómo se puede explorar la dinámica migratoria desde un modelo de agentes basado en tomas de decisiones individuales?

2 Objetivos

2.1 General

Analizar los factores principales asociados a la dinámica poblacional de Colombia a nivel nacional y departamental y sus interacciones a través del tiempo y el espacio en el periodo entre 1985-2015.

2.2 Específicos

- Caracterizar la dinámica poblacional de Colombia por departamentos espacial y temporalmente.
- Establecer relaciones entre factores demográficos, socioculturales, económicos y ecológicos asociadas al crecimiento poblacional.
- Explorar la relación entre la toma de decisiones individuales en búsqueda de una mejor calidad de vida y la dinámica de migración interdepartamental, a través de un escenario hipotético generado mediante un modelo de agentes

3 Marcos de Referencia

3.1 Marco Conceptual

En primera instancia es importante aclarar que el presente estudio se enmarca dentro de la ciencia llamada *Ecología*, que de manera simple puede definirse como el estudio de las fluctuaciones en individuos, recursos y elementos en el ambiente (Margalef, 1995). También puede ser entendida como la ciencia que estudia el hábitat de plantas, microorganismos, animales y humanos que cohabitan como componentes interdependientes (Odum, 1975). Y en esta definición se enmarca la presente investigación.

La *ecología de poblaciones*, por su parte, se refiere a dos aspectos fundamentalmente, de una parte, la actividad del ecosistema expresada en una sucesión de muertes y nacimientos en cada una de las especies que le constituyen y a su vez, cómo las variaciones en estas tasas corresponden a cambios sustanciales en la totalidad del sistema (Margalef, 1995).

En términos de Margalef (1995) una *población* es definida como el conjunto de individuos discretos que nacen y mueren como unidades, pertenecientes a la misma especie, en un determinado espacio y tiempo.

Las poblaciones, al no ser entendidas estáticamente sino cambiantes, a lo cual se le denomina *dinámica de poblaciones*, y se refiere específicamente a que en una población se pueden estudiar aspectos como su estructura social, clases de edad y distribución por sexos a lo largo del tiempo (Ramírez, 2005). Entender la *dinámica poblacional* es fundamental para comprender la *estructura poblacional*, que es la lectura de una población a través de la densidad, el movimiento de individuos y su distribución (Ricklefs & Miller, 1999).

Con esta comprensión general de lo que son las poblaciones, sus dinámicas y estructura, es posible entrar en un aspecto de particular interés para su estudio, el concepto de *tasa de muertes o de mortalidad* que es definido como la tasa a la que una población pierde individuos por fallecimientos (Odum, 1975). En contraste, la *tasa de nacimientos o de natalidad*, se refiere a la proporción de individuos que son añadidos a una población por eventos reproductivos

(Odum, 1975). Homóloga a esta, está la *tasa de fecundidad* que se refiere a la cantidad de individuos promedio agregados a la población por individuo reproductor (Margalef, 1995) Aunque estas dos tasas describen una amplia parte de la dinámica de una población, es importante comprender también el concepto de *tasa de migración*. Ésta es entendida como la proporción de individuos que inmigran y emigran de y hacia una población en particular (Odum, 1975). Así pues, el conjunto de estos tres conceptos, *tasa de mortalidad*, *tasa de natalidad* y *tasa de migración*, permiten analizar una propiedad fundamental de las poblaciones que es la *tasa de crecimiento poblacional* definida como, el resultado neto de la mortalidad, la natalidad y la migración (Odum, 1975).

Otro concepto de notable importancia en la comprensión y el desarrollo matemático relacionado con la *ecología de poblaciones* es el de *capacidad de carga*, comúnmente referido en la literatura como K , es entendido como el número de individuos que el ambiente puede soportar (Ricklefs & Miller, 1999), o gráficamente, como el nivel superior de la asíntota en una gráfica del tamaño poblacional en el tiempo (Odum, 1975). Este concepto que permea profundamente la teoría poblacional ha recibido poca discusión y es aceptado como un axioma. No obstante, tiene varias implicaciones importantes a revisar como su variabilidad en el tiempo. Para ilustrarlo, vale la pena tomar en consideración el siguiente ejemplo, si el recurso limitante es el agua, los regímenes de lluvias claramente revelarán que el ambiente puede soportar diferentes números poblacionales en diferentes épocas del año, convirtiéndole así en un valor oscilante de *naturaleza estocástica*, que se refiere a una naturaleza caótica o aleatoria, alrededor de una cantidad promedio de individuos. Más aún, la situación de K en las poblaciones humanas donde los recursos, especialmente el alimenticio, pueden ser transportados entre regiones, países y continentes, ponen en duda el concepto de K , por lo menos desde una relación con la oferta de este recurso en un área particular, máxime si se toman en consideración otras variables que inciden tales como, trabajo/salario, oferta/demanda de recursos, etc.

Así bien, en la población humana se entiende una *transición demográfica* como cambios significativos en las tasas asociadas al crecimiento debido a cambios importantes en la humanidad. La actual *transición demográfica* que se está viviendo es una de *envejecimiento poblacional*, entendido como el aumento de la edad promedio de la población (Ministerio de Salud y Protección Social, 2013). Además, en las poblaciones humanas los procesos de migración interna, han sido, en general, dirigidos hacia la *urbanización*, que es un proceso mediante el cual la gente de la ruralidad migra hacia las ciudades (Departamento Administrativo Nacional de Estadística, 2009). Una forma, desde la Ecología, para abordar el estudio de las poblaciones son los ejercicios de *modelación*, particularmente *modelación matemática* y *modelación de agentes*. La *modelación* busca precisar y definir un objeto de estudio del cual se identifica la información disponible y relevante para posteriormente, construir las relaciones entre los factores seleccionados (Ramírez, 2017). Así bien, la *modelación matemática* se entiende como la selección e interrelación de variables y parámetros involucrados con la explicación del fenómeno en cuestión (Ramírez, 2017). Más aún, es importante también conocer la realidad a estudiar puesto que es indispensable la depuración de variables y parámetros ya que, la información puede ser ampliamente explicada utilizando un número reducido de la información disponible. Finalmente, un *modelo de agentes* es, un conjunto de identidades, que contienen información, pueden tener diferentes atributos e interactúan entre ellos en una zona delimitada (Maidin et al., 2018).

Así bien, el desarrollo conceptual del modelo es desde el agente y las relaciones que tiene más que, el entendimiento del conjunto que opera en la realidad. Si bien, la *modelación matemática* busca reunir, entender y relacionar las variables que actúan sobre un objeto de interés, la *modelación de agentes* se encarga de revelar las variables desde la interacción de las partes en un sistema complejo.

3.2 Marco Teórico

3.2.1 Teoría Lineal

Ya que las poblaciones no son estáticas en el tiempo, es necesario tener aproximaciones teóricas en las que se puedan representar las fluctuaciones en individuos. Para ello, una primera representación es la siguiente:

$$N_t = N_{t-1} + B - D + I - E \quad (1)$$

En la *ecuación lineal* anterior se puede ver el número de individuos representado como N en dos tiempos (t y $t - 1$). Así, lo primero a destacar es que la cantidad de individuos en el tiempo t depende en gran medida de la cantidad de individuos que había en el tiempo $t - 1$. Más aún, la ecuación previa brinda información de cuatro parámetros que están incidiendo en la cantidad de individuos que son B , D , I y E ; que representan *nacimientos*, *muertes*, *inmigración* y *emigración*, respectivamente. Dado esto, se puede entender que una población fluctúa en el tiempo dependiendo de la cantidad de individuos que reclute la población, bien sea por inmigración o nacimientos, menos aquellos que pierda, ya sea por emigración o fallecimiento. Si los parámetros de reclutamiento son superiores a los de pérdida de individuos, la población irá en aumento; de lo contrario disminuirá y en el caso dado de que los parámetros estén en balance, la población permanecerá estable.

El nivel de detalle que alcanza esta ecuación es significativo ya que su planteamiento teórico es claro y conciso. Sin embargo, en general, obtener datos de migración, reproducción y fallecimientos resulta dispendioso sino imposible en muchos casos, para muchas poblaciones biológicas, no sólo para poblaciones humanas.

3.2.2 Modelo Lineal

En la figura 1, se pueden revisar tres poblaciones diferentes en las que las tasas de nacimientos, muertes, inmigración y emigración son constantes para cada una de ellas, produciendo una clara tendencia lineal en el tiempo. La ecuación que describe el modelo es:

$$\frac{dN}{dt} = b; N_t = N_0 + bt \quad (2)$$

En donde, b , es la tasa de crecimiento de la población. Esto quiere decir que la población futura es definida mediante la población pasada y la tasa de crecimiento multiplicada por los años, significando un crecimiento o decrecimiento constante.

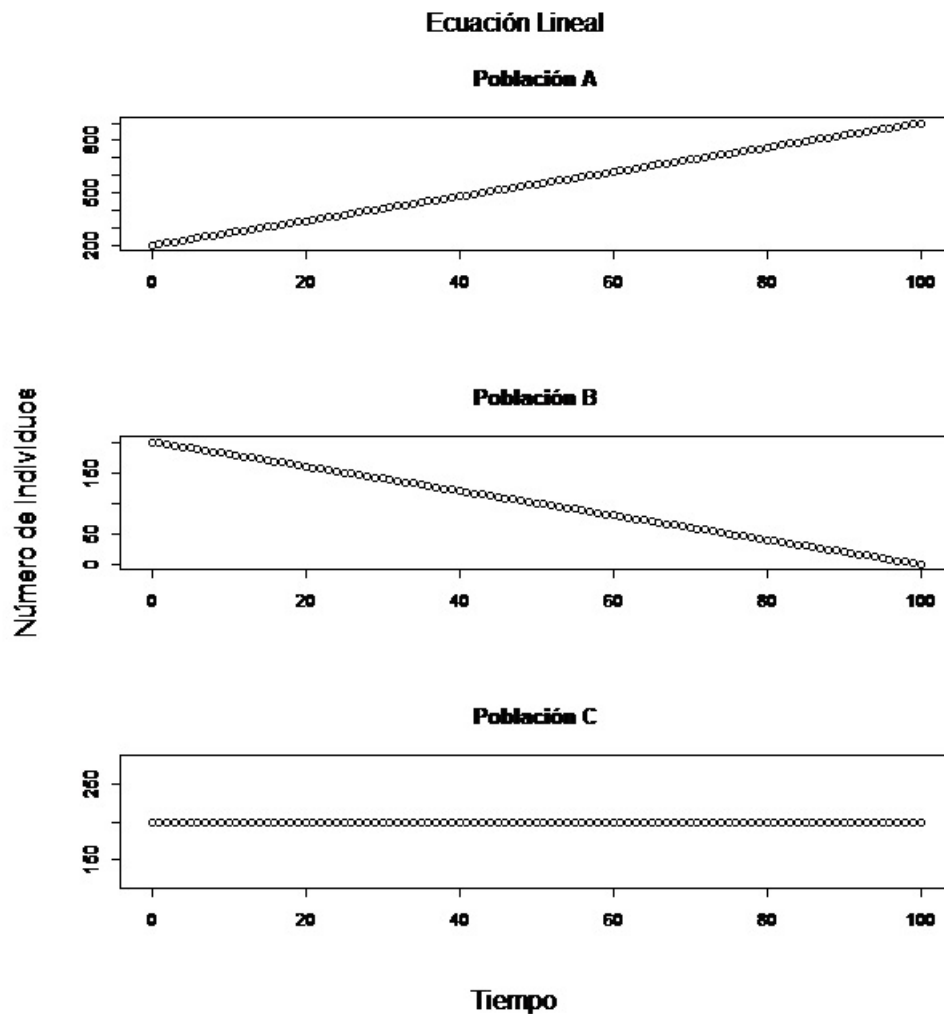


Figura 1: Se observan tres diferentes modelos de crecimiento poblacional. La población A muestra crecimiento, la B decrecimiento y la C estabilidad.

3.2.3 Modelo exponencial

Así como la *ecuación lineal* representa una población (N) en el tiempo, la *ecuación exponencial*, hace lo propio, pero supone, que las poblaciones crecen aceleradamente ante la disponibilidad de recursos (Odum, 1975) y más aún, que los recursos son ilimitados o lo que es igual, que no hay competencia entre los individuos de la población (Ramírez, 2005). La *ecuación exponencial* denota que los cambios en una población son proporcionales al tamaño de la población y las ecuaciones diferencial y analítica que la describen son las siguientes:

$$\frac{dN}{dt} = rN; N_t = N_0 e^{rt} \quad (3)$$

En esta ecuación, N_t representa un número de individuos en el tiempo t . N_0 , es el número de individuos originales o en el tiempo 0 (definido por el investigador); el término t , representa el tiempo transcurrido entre 0 y t ; y r representa la tasa intrínseca de crecimiento de la población que si bien regularmente es entendida como la diferencia entre la *tasa instantánea de nacimientos* y la *tasa instantánea de muertes*, también conjuga el efecto neto de la *tasa de migraciones* (Ramírez, 2005), expresadas como proporciones de individuos por unidad de tiempo (Margalef, 1995). En la figura 2, se ilustran 2 poblaciones que siguen un modelo exponencial.

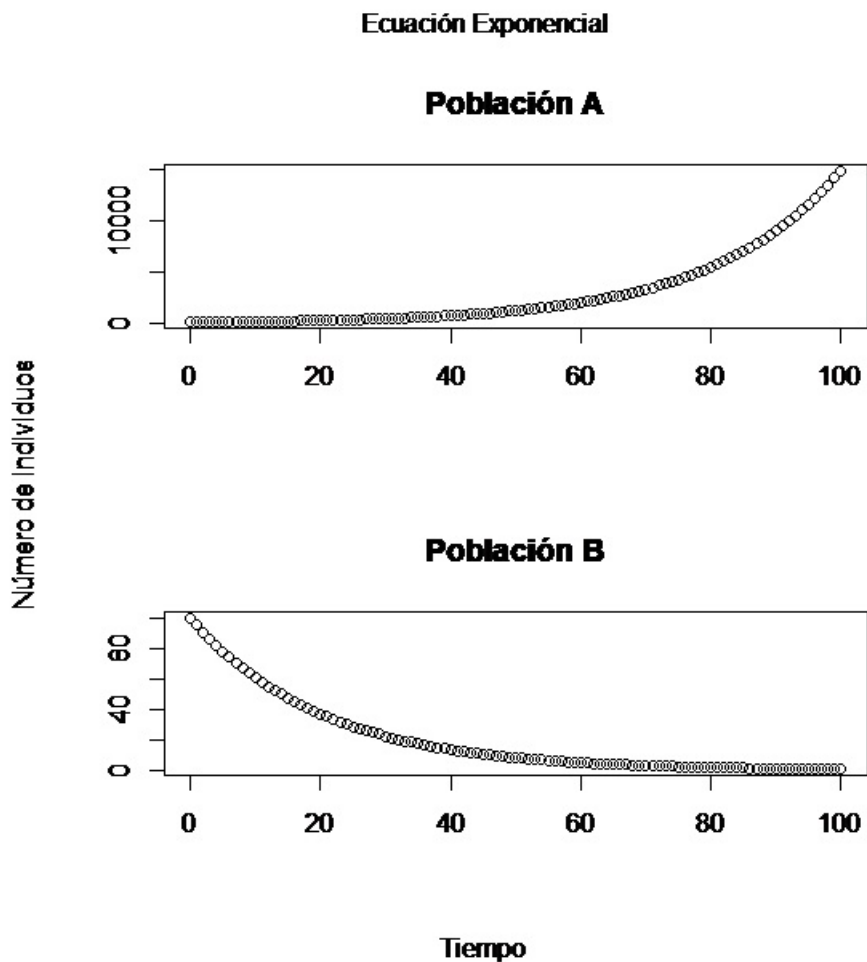


Figura 2: Se pueden observar tres diferentes poblaciones donde, la población A tiene un valor de r superior a 0 y en la población B pasa lo contrario, r es inferior a 0.

3.2.4 Modelo Logístico

En contraste con la teoría exponencial, la teoría logística presume que la misma densidad de la población, después de un rápido crecimiento, va a reducir o agotar el recurso lo que conlleva a una disminución en la tasa reproductiva de la población (Ramírez, 2005). Esto produce una asíntota gráficamente entendida como la *capacidad de carga* o K (Odum, 1975). Así bien, la *ecuación logística* se representa matemáticamente de las siguientes formas:

$$\frac{dN}{dt} = rN - rN\left(\frac{N}{K}\right) \quad (4)$$

$$N_t = \frac{K}{1 + \left(\frac{K-N_0}{N_0}\right) * e^{-rt}} \quad (5)$$

Esta ecuación se diferencia de las anteriores por K , o *capacidad de carga*. Puesto así, se puede ver cómo la población N_t va a aumentar hasta K ; o, en otras palabras, hasta el número máximo de individuos que el ambiente soporte (Fig 3)(Odum, 1975).

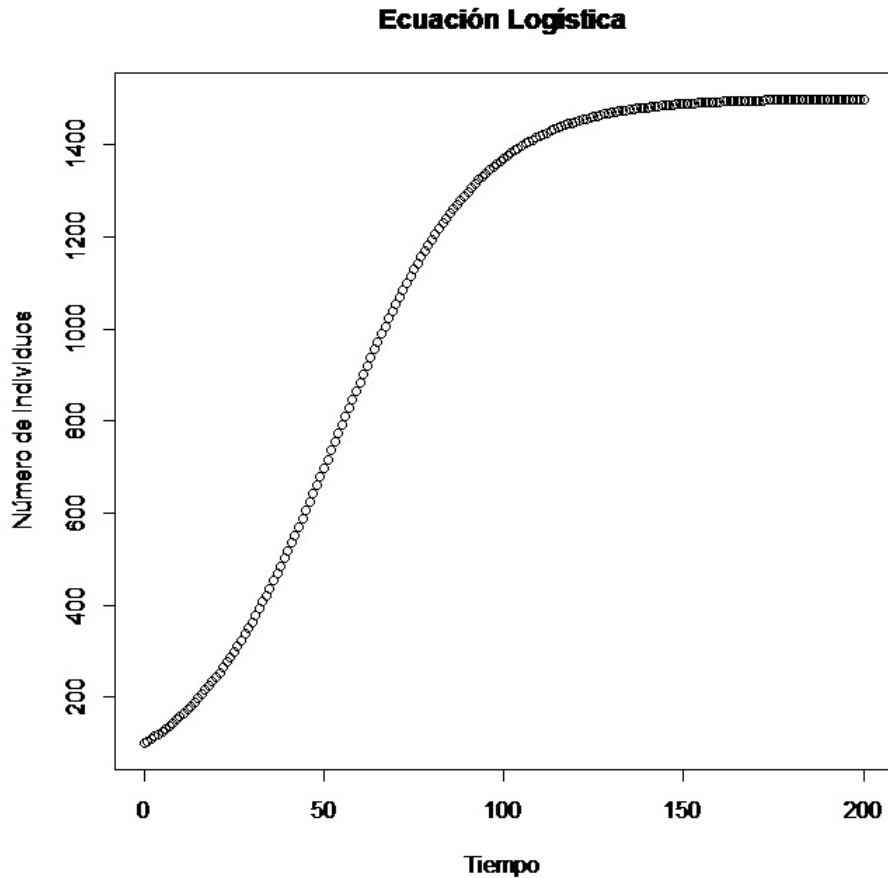


Figura 3: Comportamiento logístico, con asíntota en K

3.2.5 Modelo Logístico Tardío

Semeja al modelo logístico pero en vez de plantear una cómoda llegada al valor de K , el número de individuos sobrepasa a K , agotando o reduciendo drásticamente el recurso limitante lo que a su vez ocasiona la caída de la población para luego oscilar hacia el valor de K (Ramírez, 2005). El planteamiento matemático es el siguiente:

$$\frac{dN}{dt} = rN - rN_{t-\Delta}\left(\frac{N}{K}\right) \quad (6)$$

$$N_{t+1} = N_t \left(\frac{e^r}{1 + \left(\frac{e^r - 1}{K}\right)N_{t-\Delta}} \right) \quad (7)$$

3.3 Marco de Antecedentes

La población humana data sus orígenes en África, donde unos pocos recolectores y cazadores logran empezar a colonizar territorio y expandir su nicho debido a la implementación de herramientas y el comportamiento social estructurado. Esto en gran medida, es debido a la expansión del cerebro, que conlleva al desarrollo de herramientas, que permiten mayor eficiencia en actividades diarias, y el lenguaje, que no sólo permite la comunicación entre individuos para coordinar faenas de caza o periodos de recolección sino también, para transmitir el conocimiento entre generaciones que empieza a ser la primera forma de la selección cultural (Susanne, 2005). Así bien, la población humana prosiguió a explayarse por el mundo haciéndose paso por el medio oriente hace aproximadamente 100.000 años (Diamond, 2006). Cuando la humanidad se está haciendo paso por el mundo, la última glaciación seguía en curso y el paso por el estrecho de Bering era posible así, llegó el ser humano a América hace aproximadamente 15,000 años (Diamond, 2006). Una vez los humanos descubren la agricultura, empieza la vida urbanizada hace 11,000 años, un paso importante para la humanidad ya que representa el suministro de necesidades básicas en un área relativamente reducida (Diamond, 2006).

La población humana sufre nuevamente un cambio abrupto en el periodo de la conquista del nuevo mundo, ya que las poblaciones europeas que llegan a América sufren varias de las pestes y plagas de la época y el contacto con las poblaciones indígenas genera una pandemia sin precedentes en el nuevo continente. Así bien, se genera uno de los cambios demográficos más abruptos de los tiempos modernos (Diamond, 2006), en los que hay un cambio de régimen y la producción de alimentos y bienes que ocurre en América puede ser transportada a Europa para saciar las necesidades de crecientes poblaciones y así, aumentar la capacidad de soportar a los individuos de las ciudades. Si bien, el suministro alimenticio no es el único determinante del crecimiento poblacional en ciudades (Sen, 1984), si influye fuertemente en la posibilidad del crecimiento de las mismas.

Para poder entender el crecimiento poblacional adecuadamente, es necesaria un serie de datos completa y confiable y aunque en muchos lugares del mundo esto ocurre desde comienzos del siglo XIX, como tendencia mundial empieza a ocurrir a finales de siglo y comienzos del siguiente (Pearl, 1920). Así bien, los Estados Unidos de América realiza uno de los primeros análisis extensivos y revolucionarios para la época en la que busca predecir los tamaños poblacionales (Pearl, 1920). A pesar de que, el desarrollo matemático para explicar las tendencias demográficas en el momento aún era escaso Pearl (1920) busca predecir las poblaciones futuras para poder tener planes de control y manejo (Crimmins, 2008). Así bien, en Colombia es similar puesto que el primer censo moderno se lleva a cabo en 1912 (Estrada Orrego, 2017); descartando el primer censo realizado en el territorio nacional ocurre en 1778 como un esfuerzo de contabilidad sobre la colonia.

Dado esto, el siglo pasado representa para la población humana un abrupto cambio pues casi se triplica la población mundial en tan sólo 10 años (Ricklefs & Miller, 1999). La principal causa de esto es atribuida el avance en la medicina en el último siglo puesto que permitió alargar la esperanza de vida, reducir las muertes en infantes y logra reducir o eliminar varias de las enfermedades mortales de la época (McKeown, 1979). Para Colombia este cambio es importante debido que la dinámica mundial está igualmente reflejada en el país y el aumento poblacional es superior al treientos por ciento, pasando de alrededor de 9 millones en 1938 a cerca de los 50 millones estimados para el 2018 (Banguero & Castellar, 1991). A pesar de que la población humana es directamente responsable por varias catástrofes ambientales y el aumento en la abundancia poblacional puede ser comprendido como su principal motor, pocas son aún las personas y entidades dedicadas al estudio de este fenómeno que urge atención (Echols, 2018).

No obstante, profesionales en varios campos del conocimiento se han reunido y evaluado la condición de la humanidad frente a su propio crecimiento, como conclusión buscan lanzar un llamado de atención a estas dinámicas alarmantes (Echols, 2018). Más aún, el estudio de este fenómeno ya había sido abordado e incluso denominado como un crecimiento superexponencial (Meadows, Meadows, & Randers, 1992); entendido como un modelo de crecimiento exponencial en donde la tasa de crecimiento es progresivamente más alta, haciendo que la tendencia del crecimiento cada vez sea mayor. El muy destacado ejercicio de modelación realizado por Meadows et al. (1972) en el marco del Club de Roma, reveló que para poder combatir las altas tasas de crecimiento poblacional es necesario balancear las tasas de natalidad y mortalidad; debido a las implicaciones éticas, no se ha de instaurar una política que aumente la mortalidad, por lo que es entonces indispensable reducir la natalidad. El modelo planteado posteriormente por Meadows et al. (1992), sugiere que la humanidad ya excedió los límites de consumo sostenible de recursos, esto es rectificado posteriormente en una revisión futura del modelo planteado (Meadows, Randers, & Meadows, 2006).

Así pues, en Colombia, se ha venido realizando una actividad censal aproximadamente cada década desde finales del siglo XVIII como se mencionó anteriormente, hasta las más recientes que son en el 2005 y la que está por ocurrir en 2018. La naturaleza de los censos siempre ha sido de interés político y por eso, sólo hasta el siglo pasado empezó a sistematizarse la práctica y los objetivos y las preguntas se volvieron uniformes (Estrada Orrego, 2017). Esto se refleja en cómo el primer censo que revela información de edad, sexo, estado civil y profesión, es el último del siglo XIX (Estrada Orrego, 2017). Posteriormente, aparecen los anuarios estadísticos en el cambio de siglo y así se establece el comienzo de la era moderna estadística en Colombia.

Así como se estableció anteriormente, la tendencia en el territorio nacional ha sido de un rápido aumento en el siglo pasado con una ligera disminución en el crecimiento en los recientes años, aunque la tendencia sigue siendo positiva (Fig 4)(Agudelo, 1994). Es importante entender esta dinámica como el resultado de varios fenómenos que ocurren simultáneamente. Como en muchos otros países del mundo, en Colombia se puede hacer una distinción entre poblaciones rural y urbana (Pérez, 2006). Más aún, la tendencia en la población rural ha tenido una disminución en la abundancia mientras que la urbana presenta un constante aumento (Pérez, 2006). Dado esto, en la figura 5 se evidencia como la abundancia en las ciudades es relativamente proporcional al crecimiento total, aunque en los años más recientes no demuestra una disminución en la pendiente lo que implica que el aumento poblacional urbano sigue la misma tendencia.

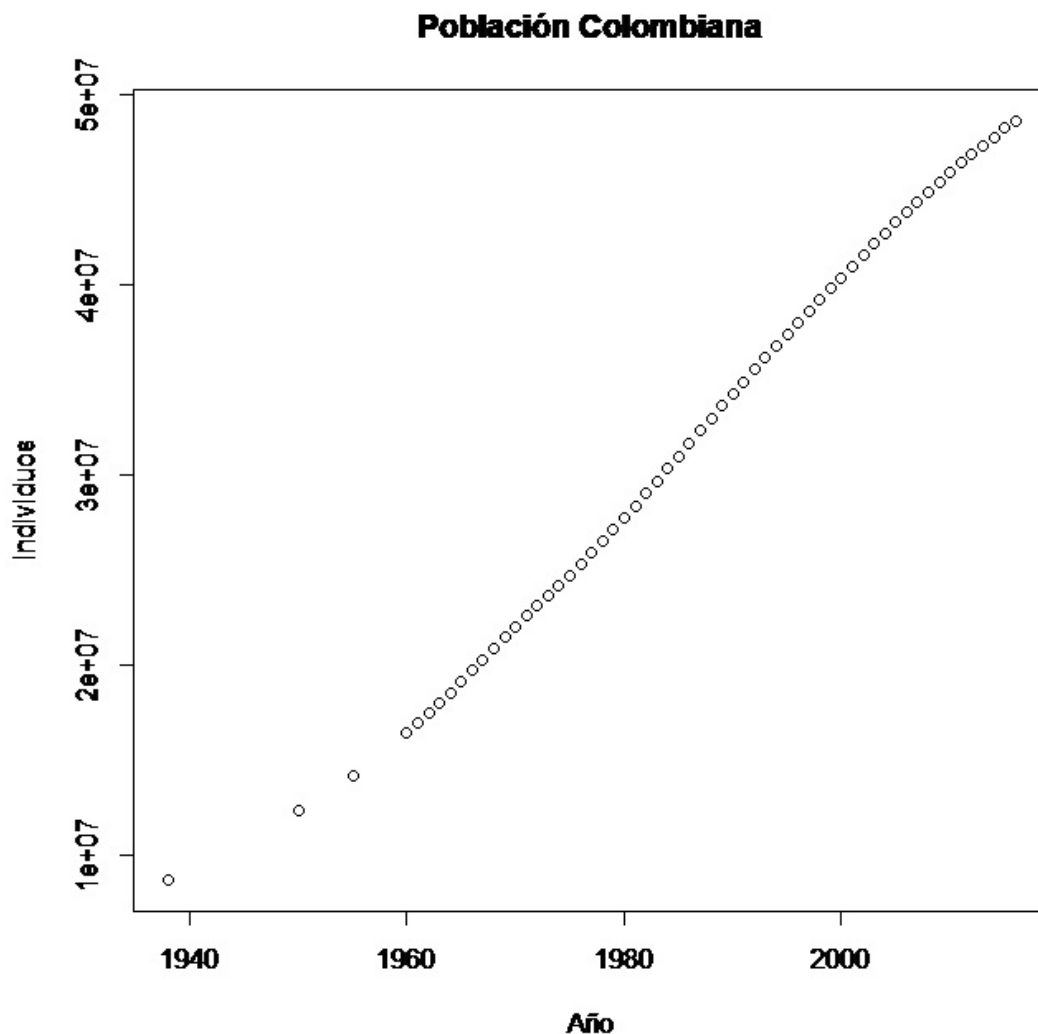


Figura 4: Crecimiento poblacional de Colombia (Datos tomados del Banco Mundial, DANE y Banguero *et al*(1991)).

Se presume que uno de los factores que tiene mayor incidencia sobre el crecimiento poblacional, sobre todo asociado a la reducción del crecimiento, es el acceso a la educación por parte de mujeres (Agudelo, 1994). Esto se puede reflejar en los departamentos que tienen mayor acceso a la educación, que son a la vez, los que han reducido en mayor medida el crecimiento poblacional (Pérez, 2006). Por ello, entender la dinámica poblacional nacional como un fenómeno en sí, puede tener limitaciones por eso, se plantea realizar una revisión de la dinámica poblacional por regiones socio-ecológicas. Esto presenta la facilidad de generar distinciones entre las relaciones que tienen los factores asociados al crecimiento por regiones y no necesariamente como un entero.

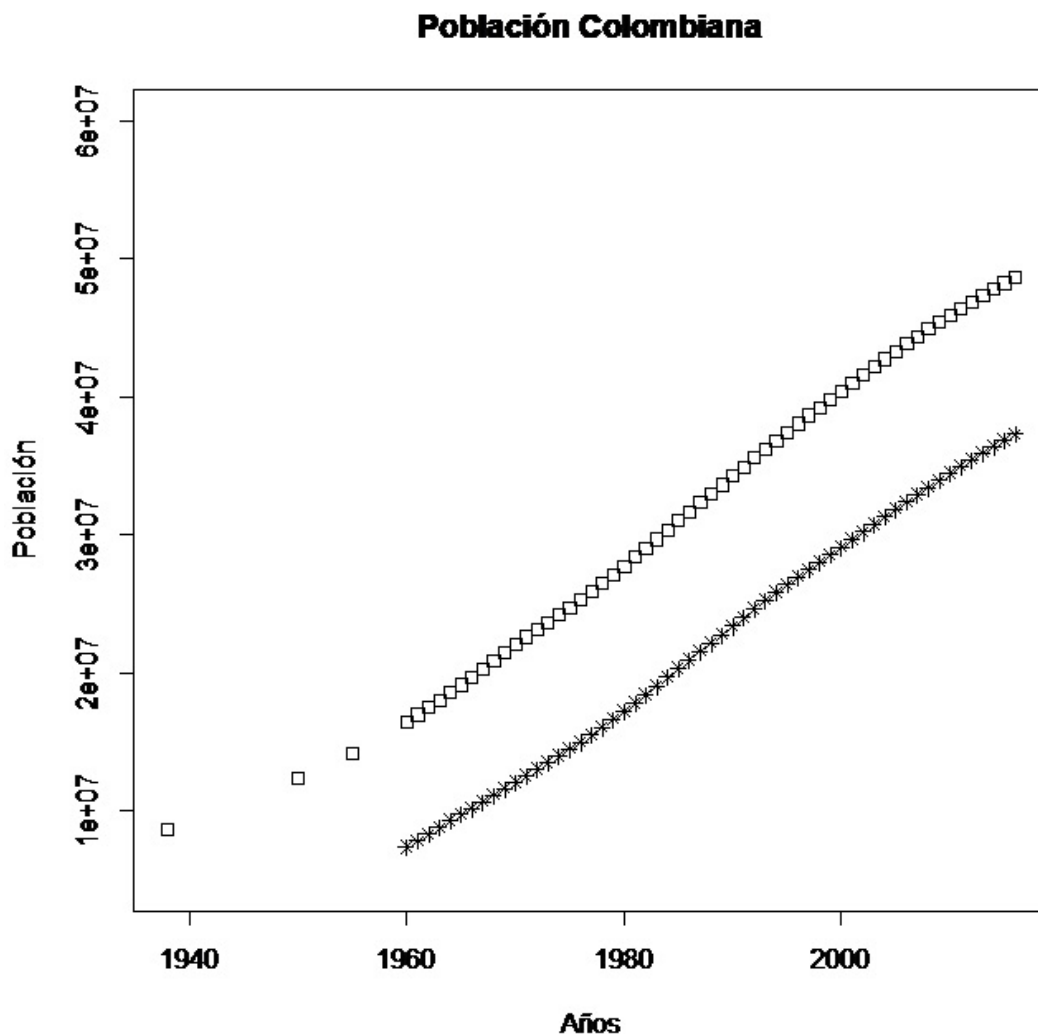


Figura 5: Crecimiento poblacional total (cuadros) y el crecimiento poblacional urbano (asteriscos)

4 Área de Estudio

Debido a que una *población* es entendida como un conjunto de individuos discretos que nacen y mueren como unidades, pertenecientes a la misma especie, en un determinado espacio y tiempo (Margalef, 1995), la delimitación del área en la cual habita una población es de vital importancia para su estudio. Así bien, debido a que la especie en cuestión es la especie humana en Colombia, la unidad de análisis más gruesa a usar será la nacional. Por lo tanto, cabe resaltar que Colombia es un país que está ubicado en el trópico, entre los océanos Pacífico y Atlántico y es la frontera norte del continente suramericano (Figura 6). Dado esto, es importante

entender también la influencia que tienen las tres cordilleras dentro del territorio nacional, que producen una amplia diversidad en ecosistemas (Etter, Andrade, Saavedra, Amaya, & Arevalo, 2017).

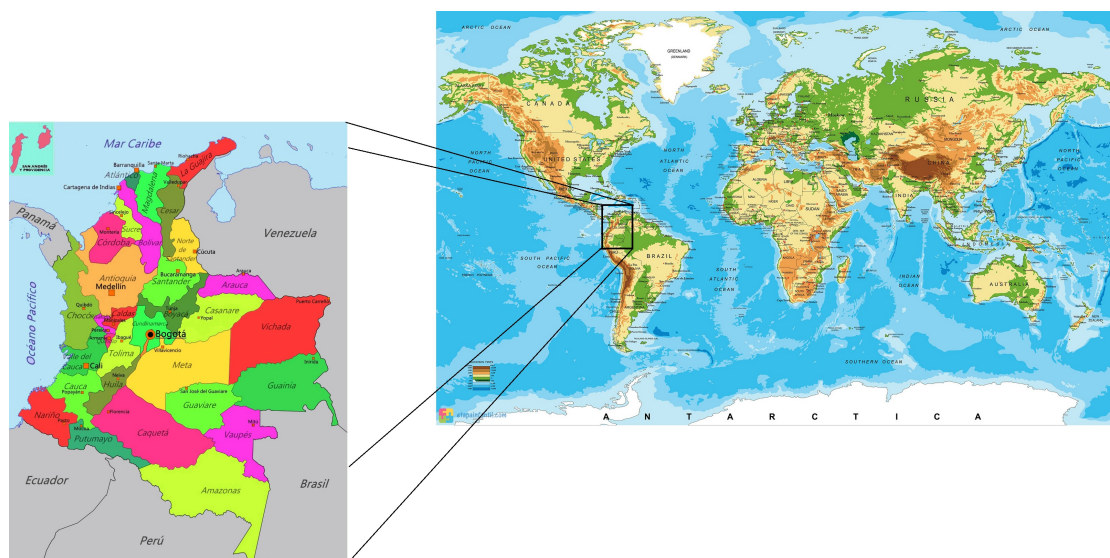


Figura 6: Mapa de Colombia en el mundo y por división política
(Mapas tomados de: <https://www.etapainfantil.com/mapamundi-para-imprimir/>;
<https://www.mundonets.com/mapa-politico-de-colombia/>)

Con respecto a la división política de Colombia, ésta cuenta con 32 departamentos constituidos legalmente más un distrito capital que es Bogotá. Colombia está ubicada entre los países con un índice de desarrollo humano alto a pesar de ser considerado un país en vía de desarrollo (UNDP, 2016). No obstante, en el 2005 pasó a ser considerada una economía emergente dentro de Latinoamérica. La población en Colombia, tuvo un abrupto crecimiento el siglo pasado similar al ocurrido en la población mundial debido, entre otros aspectos, a avances en tecnología y medicina (McKeown, 1979).

5 Metodología

Para poder desarrollar este estudio, primero, se compilaron las bases de datos consultando fuentes con datos nacionales y departamentales como el Banco Mundial y el Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas, las variables que fueron seleccionadas, fueron aquellas que sirvieran como descriptoras de la población en terminos demográficos y socioeconómicos y que a su vez, tuviesen una serie de datos completa desde 1965. Una vez seleccionadas una amplia cantidad de variables (Cuadro1) relacionadas con indicadores demográficos, se prosigió a identificar linealidades entre las variables para formar subconjuntos de variables con comportamientos similares (Dasilveira, 2002). Llegado a este punto, se realizó una matriz de correlación para cada subconjunto de variables para seleccionar una cantidad reducida de variables como principales indicadores de la dinámica poblacional, condición soportada en las redundancias de información (Baxter, Hastings, Law, & Glass, 2008).

Acto seguido, se procedió a revisar la relación que tienen las variables con el tiempo, razón por la cual, se efectuó un análisis de regresión lineal para determinar el modelo matemático que más se aproximaba (Baxter et al., 2008). Para ello se evaluaron modelos lineales, exponenciales, logarítmicos, de potencia y polinomiales.

Posteriormente, para dichas variables seleccionadas se revisó su comportamiento espacial mediante mapas en los que se puede ver el cambio de los principales indicadores a través del territorio nacional en una escala departamental y en el periodo de tiempo entre 1985-2015.

Cuadro 1: Primer conjunto de variables analizadas

Variables Demográficas

Población total	Población masculina	Población femenina
Población rural	Porcentaje de crecimiento anual	Muertes infantiles (<5 años)
Población entre 0-14 años	Población masculina entre 0-14 años	Población femenina entre 0-14 años
Esperanza de vida al nacer	Población de la ciudad más poblada	Tasa de natalidad (por 1000)
Mortalidad neonatal (por 100)	Tasa mortalidad masculina (por 1000)	Tasa mortalidad femenina (por 1000)
Supervivencia masculina hasta los 65 años (% cohorte)	Supervivencia femenina hasta los 65 años (% cohorte)	

De la misma manera, se compilaron adicionalmente variables relacionadas con el comportamiento socioeconómico de la población utilizando las mismas fuentes (Cuadro 2). Así bien, se revisaron las linealidades entre las variables previamente seleccionadas y las nuevas, con el fin de conformar subconjuntos de variables con comportamientos relativamente lineales entre sí. De igual modo, a cada subconjunto conformado se le realizó un análisis de correlación lineal (Dasilveira, 2002).

Cuadro 2: Primer conjunto de variables analizadas

Segundo conjunto de variables seleccionadas
Ingreso Nacional Bruto
Ingreso Nacional Bruto <i>per cápita</i>
Tasa de Alfabetización (%)
Tierras Cultivables (hectáreas)
Índice de GINI

Finalmente, se produjo un análisis de regresión lineal a las nuevas variables seleccionadas (agricultura como porcentaje del INB, INB per cápita y tasa de alfabetización) de las matrices de correlación, para estimar el modelo matemático que más se aproximara (Dasilveira, 2002). La figura 7 resume el proceso metodológico expuesto.

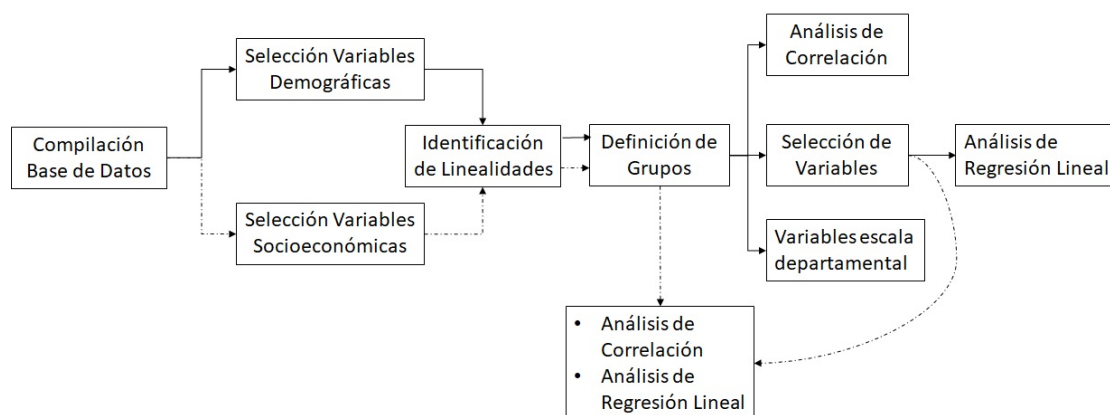


Figura 7: Diagrama de metodología del estudio

Por otro lado, se revisó el cuadro censal del 2005 producido por el DANE, que elucida sobre los procesos de migración interdepartamental. Con base en esto, se formuló un modelo experimental que permite explorar sobre las dinámicas subyacentes al proceso de migración (Epstein, 2008). Así pues, se diseñó un modelo de agentes, donde los individuos, revisaban las condiciones presentadas en el departamento en que se encuentran, si éstas no cumplen los requisitos del agente, éste se desplaza a un nuevo departamento con condiciones más favorables que aquellas en las que estaba antes. Esto quiere decir, que los agentes van a estar buscando mejores condiciones para los requerimientos que tienen. Sin embargo, se reconoce que la realidad del país en términos del conflicto armado tiene un papel determinante dentro de este proceso, pero, debido a la naturaleza de este estudio esto no puede ser abordado. Puesto así, las condiciones evaluadas están relacionadas con factores asociados al bienestar humano (INB *per cápita*, tasa de alfabetización y tasa de homicidios), esto para poder explorar el proceso de toma de decisiones individuales como motor de dinámicas poblacionales.

En el modelo desarrollado, se evaluó la posibilidad de interpretar la dinámica poblacional desde la perspectiva del individuo, contrario a lo anteriormente visto en el desarrollo del trabajo. Para esto, se puntualizó sobre la dinámica de migración interna entre departamentos y se decidió explorar un modelo en el que los individuos o agentes evaluaran su entorno y basado en variables, asignadas aleatoriamente al inicio de la simulación, decidieran migrar. Por ello, se diseñaron una serie de procesos, llevados a cabo por los agentes, que permiten explorar la modelación de una población desde la interacción de los individuos con su entorno. Debido a que el cuadro 4.10 del censo realizado en el 2005, indaga sobre la razón de migración interna, ésta se usó como un insumo inicial para entender el razonamiento detrás de la población migrante.

El software utilizado fue NetLogo®, ya que se presta para trabajar con agentes mediante la programación de procesos. Estos procesos, son una serie de instrucciones básicas que los agentes llevan a cabo. Así pues, la dinámica del sistema es expresada mediante la totalidad de las acciones que hacen los agentes. La aproximación tradicional en la programación de agente es mediante la interacción con su entorno (Maidin et al., 2018), por ello, la migración en este caso fue planteada como una lectura inicial para determinar la emigración y una lectura secundaria para establecer el lugar de inmigración.

En una primera instancia, se diseñaron unos procesos básicos asociados al comportamiento de una población que son: *Nacimientos*, *Muertes* y *Envejecimiento*. *Nacimiento*, se diseñó para que mujeres, en edad reproductiva (mayores de 15 y menores a 60 años), leyera la tasa de fecundidad del departamento en el que se ubicaban y si un número aleatorio entre 0-100

era mayor que 50, daba a luz a un número de hijos igual al de la variable del departamento. *Muertes*, fue dividido en dos procesos, el primero, eran las *muertes naturales* en donde si una persona, mayor a 50 años, obtenía un número aleatorio mayor a 50 muere, la probabilidad de dicho número es exponencial y aumenta el conjunto con la edad del agente. El segundo tipo de muerte es la *muerte accidental*, donde los agentes producen un número aleatorio-normal con un promedio de 5 y desviación estándar de 2, si el valor obtenido es mayor a 8, el agente muere. Por último, el *Envejecimiento* es un proceso en el que por cada unidad de tiempo se le suma una unidad a la variable interna de cada agente: *Edad*.

Por consiguiente, los agentes se encuentran con el proceso de *Decisión*, en el cual leen las variables del departamento y las comparan con sus variables internas, si el valor no es el deseado, migran (Figura 8). Las tres variables evaluadas son: *INB per cápita*, *Tasa de Alfabetismo* y *Tasa de Homicidios*. Así bien, el agente lo primero que hace es leer el *INB per cápita* del departamento en el que está ubicado, si éste tiene un valor inferior al valor producido en el inicio de la modelación aleatoriamente por el agente, éste toma la decisión de *Migrar por INB*. Así mismo, si la variable del *INB per cápita* cumple los requerimientos del agente, éste compara la *Tasa de Alfabetización* del departamento con la del requerimiento que tiene, si el valor está por debajo de lo esperado, el agente toma la decisión de *Migrar por Alfabetismo*. Finalmente, si ambos requerimientos previos no fueron razón para migrar, el agente evalúa la *Tasa de Homicidios* del departamento en el que está, si la condición está por encima de lo esperado, el agente toma la decisión de *Migrar por Seguridad*.

El primer proceso de migración, *Migración por INB*, lo que hace es leer la variable de *INB per cápita* en todos los departamentos y se mueve a uno de los 5 con valores más altos. También, la *Migración por Alfabetismo*, lee la oferta de alfabetización en los demás departamentos y se mueve a uno de los 5 con mejores *Tasas de Alfabetización*. Igualmente, la *Migración por Seguridad*, tiene el mismo proceso de lectura de los demás departamentos, con la diferencia de que se desplaza a uno de los 5 con valores más bajos de *Tasa de Homicidios*.

Finalmente, se destaca que cerca del 24 % de la población migrante reportó ser *miembro de pueblo nómada u otra razón*, por ello, se diseñó un proceso llamado *fluir*, que permitía a los agentes moverse entre los departamentos libremente. Esto, refleja la naturaleza aleatoria que tiene el comportamiento de un porcentaje importante de la población.

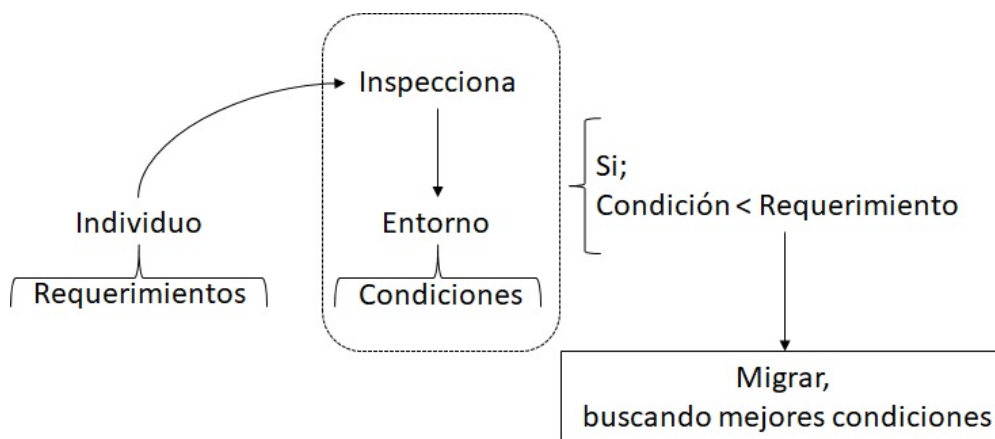


Figura 8: Diagrama conceptual del proceso de toma de decisión por parte de los agentes.

6 Resultados

6.1 Variables Demográficas

En una primera instancia se reunieron una serie de variables demográficas, cuyos comportamientos fueron comparados entre sí, mediante diagramas de dispersión (Anexo 1). Esto para, revisar las concatenaciones y linealidades o no linealidades entre las variables demográficas por vía del análisis de correlación. Así bien, los diagramas de dispersión sugieren tres grupos lineales, a los cuales se les realizaron matrices de correlaciones (Anexo 2). El primer grupo, está conformado por las variables: año, población total, población total de hombres, población rural, porcentaje de crecimiento anual, esperanza de vida al nacer, mayor ciudad poblada, tasa de natalidad y supervivencia hasta los 65 años en hombres; este siendo el grupo más amplio de variables en donde todas las correlaciones están por encima de $|0.92|$ (Figura 9). Se destaca de este grupo, el papel inverso que tienen algunas variables con la población como son la tasa de natalidad y el crecimiento poblacional. Debido a la naturaleza de las variables, este subconjunto fue denominado como *demográfico*.

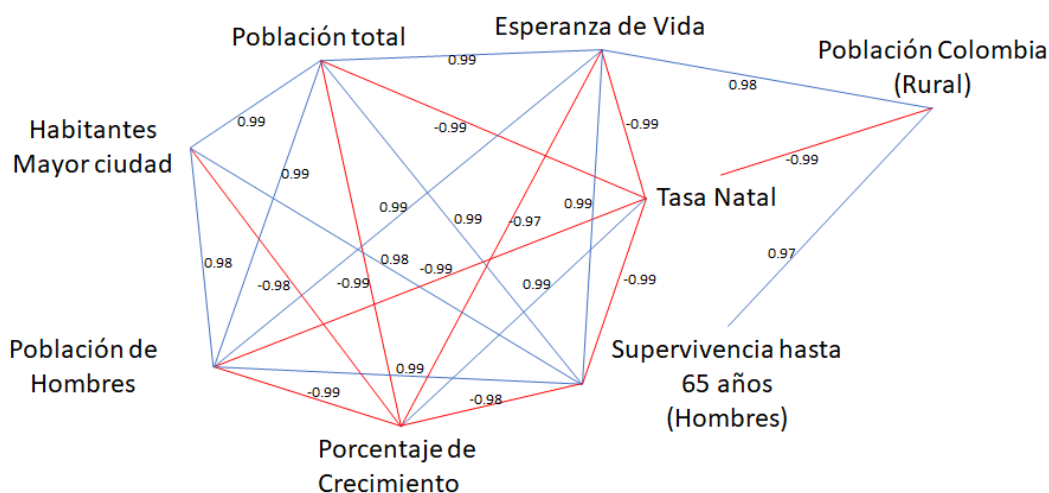


Figura 9: Diagrama de Correlaciones entre variables demográficas donde las líneas azules representan correlaciones positivas y las rojas correlaciones negativas.

El segundo grupo de variables fue conformado por: población total de mujeres, muertes infantiles, mortalidad neonatal, tasa de mortalidad para mujeres y supervivencia hasta los 65 años en mujeres. En este grupo todas las correlaciones son superiores a $|0.95|$ (Figura 10). Sobresale una relación directa entre las tasas de mortalidad, que a su vez se relaciona de manera inversa con la población femenina y su supervivencia. Dadas las variables de este subconjunto, es llamado como *materno-infantil*. Finalmente, el último grupo está conformado por: población entre los 0 y 14 años, población masculina entre los 0 y 14 años y población femenina entre los 0 y 14 años; para este reducido grupo, todas las correlaciones son superiores a $|0.99|$ (Figura 11) y expresan relación directa. Y dado que solamente reúne individuos de la clase de edad correspondiente a 0-14 años, este subconjunto es denominado: *niñez*.

En las correlaciones realizadas se evidencia que el comportamiento de las variables en su conjunto está altamente relacionado y sugiere que existe redundancia en la totalidad de las

variables referidas, hecho que potencia la selección de solo unas pocas variables para abordar el contexto demográfico nacional. El primer subconjunto de variables está compuesto ampliamente por características generales de la población. El segundo subconjunto, por variables más exclusivas del género femenino y los neonatos. Y, por último, el subconjunto conformado por la población de 0 a 14 años prueba tener altísima correlación entre sexos de las cohortes más jóvenes a través de los años, pero, a su vez, expone una baja correlación con las demás variables.

Con base en tales grupos, se eligió un número selecto de variables que representase los tres grupos. Así bien, las variables seleccionadas fueron población colombiana, tasa de natalidad (por mil), muertes infantiles (<5años) y población entre 0-14 años. Cabe destacar que la única variable que no mostró relación con los grupos previos fue la tasa de mortalidad de varones, quizá como reflejo de las diversas situaciones de violencia ocurridas en el país durante el periodo estudiado (1985-2015).

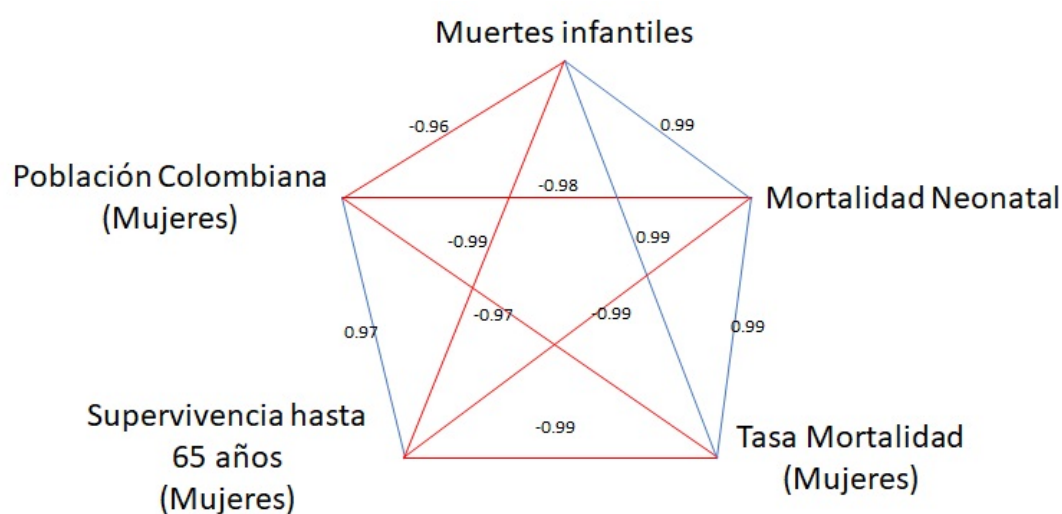


Figura 10: Diagrama de correlaciones entre variables relacionadas con mujeres e infantes donde las líneas azules representan correlaciones positivas y las rojas correlaciones negativas.

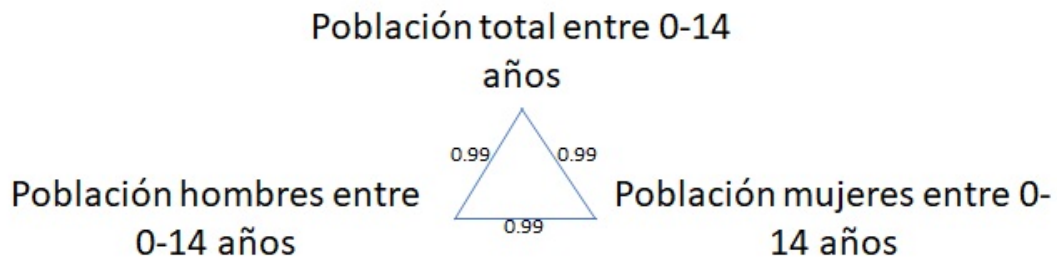


Figura 11: Diagrama de correlaciones entre la población de 0-14 años y su distinción por sexos donde las líneas azules representan correlaciones positivas y las rojas correlaciones negativas.

Para las variables elegidas, se determinó el comportamiento demográfico por departamentos. Por un lado, se destaca la zona Andina como la de mayor poblamiento (Figura 12) y, por otro, la población demostró tener un aumento importante en gran parte del país, particularmente en el Valle del Cauca, Antioquia y Bogotá (aumentan dos categorías en un lapso de 30 años).

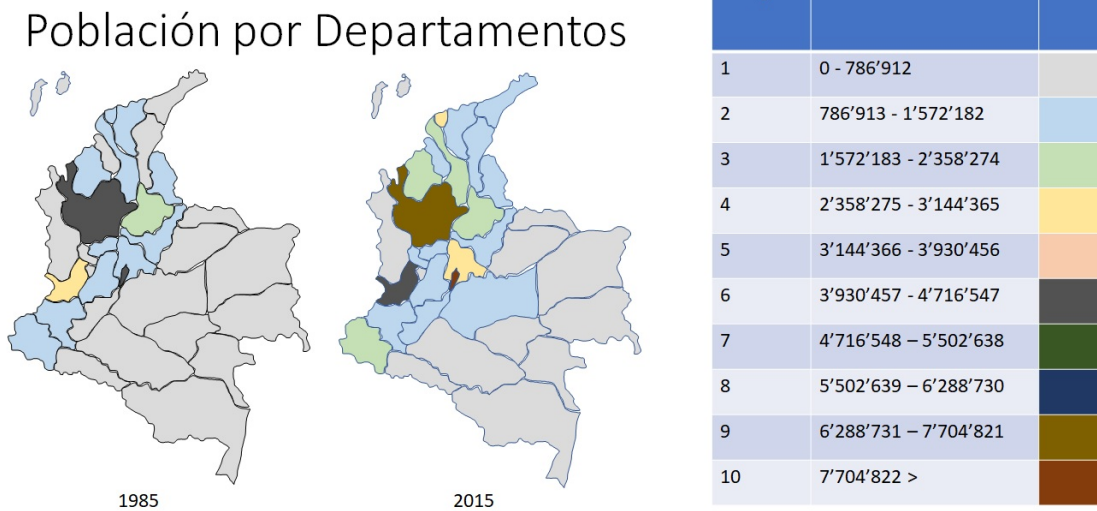


Figura 12: Cambio en la abundancia de individuos por departamentos en Colombia entre los años 1985 y 2015

Tasa de Fecundidad General por Departamentos

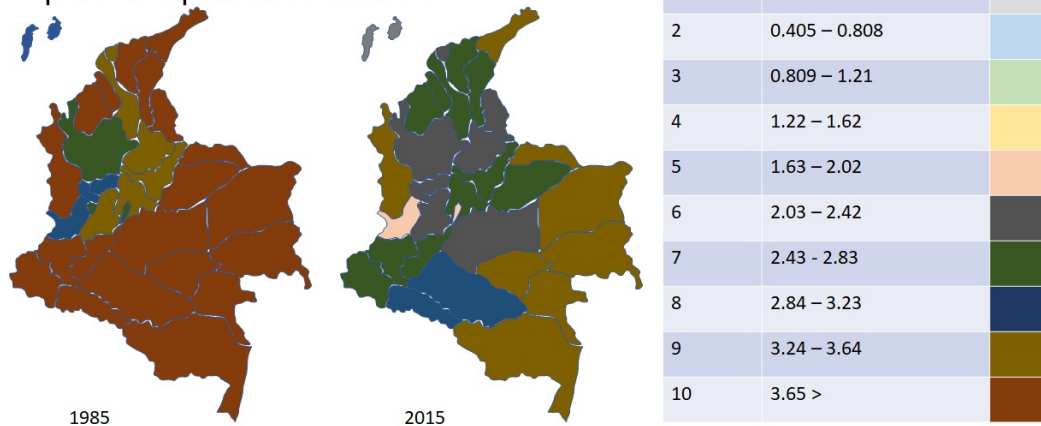


Figura 13: Cambio en la fecundidad por departamentos en Colombia entre los años 1985 y 2015

Ahora bien, la tasa de fecundidad, que tiene una relación inversa -negativa- exponencial con el tiempo experimenta una reducción drástica en la mayoría de los departamentos sobre todo en la región Andina (Figura 13). También, la mortalidad infantil al tener una relación inversa -negativa- exponencial con el tiempo reduce sus valores en todos los departamentos (Figura 14). Por último, la población entre los 0 y 14 años aumentó en Bogotá y Antioquia; a pesar de esto, la mayoría de departamentos se mantiene en la misma categoría entre 1985-2015 y debido a que la población ha aumentado en todo el territorio nacional esto refleja un importante envejecimiento de la población que está empezando a vivir Colombia (Figura 15).

Tasa de Muertes Infantiles por Departamento

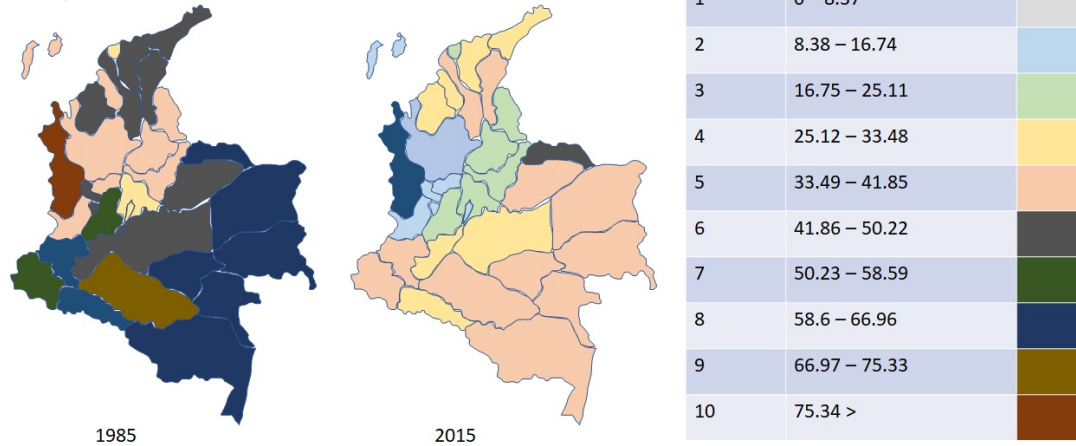


Figura 14: Cambio en las muertes infantiles por departamentos en Colombia entre los años 1985 y 2015

Población entre 0-14 años por Departamentos

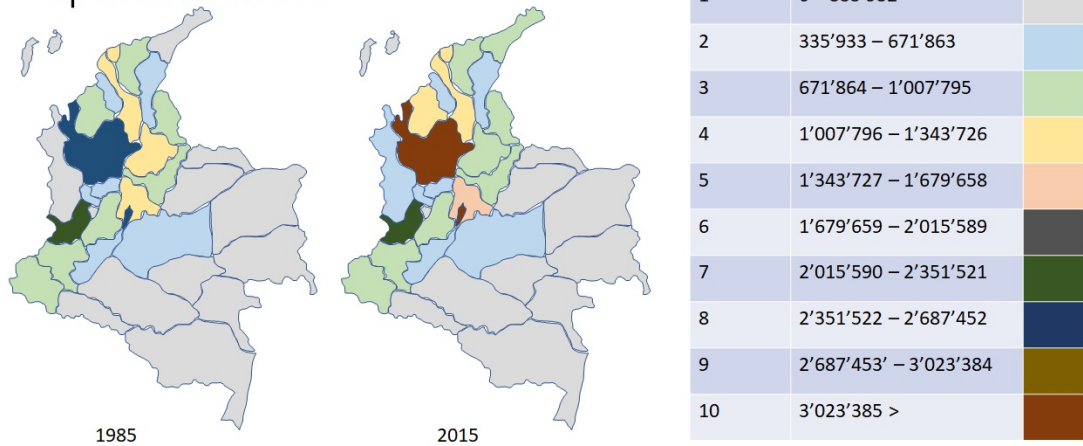


Figura 15: Cambio en la abundancia de individuos de la clase de edad 0-14 años por departamentos en Colombia entre los años 1985 y 2015

6.2 Variables Socioeconómicas

Adicionalmente, se revisaron las concatenaciones entre las variables demográficas seleccionadas previamente y un pequeño grupo de variables socioeconómicas y ambientales (Cuadro

3), con el propósito de identificar asociaciones demográficas con socioeconómicas bajo una perspectiva libre y no necesariamente causal. Dentro de las últimas variables seleccionadas, se tuvieron en cuenta tanto factores económicos, como ambientales y aquellos asociados al bienestar. Ellas son el índice GINI, el Índice de Desarrollo Humano -IDH- que conjuga como esperanza de vida, tasa de alfabetización el Ingreso Nacional Bruto (INB) per cápita (UNDP, 2015); participación de la agricultura como porcentaje del INB y extensión de tierras cultivables. Nuevamente, se realizaron diagramas de dispersión para luego, formar subconjuntos de variables con comportamientos lineales entre sí y utilizar el análisis de correlación.

De tales análisis, surgieron dos subconjuntos de variables. El primer grupo está conformado por la población total, la tasa de natalidad, la mortalidad infantil (<5años), la esperanza de vida al nacer y el valor agregado de la agricultura en el Ingreso Nacional Bruto (INB); donde todas las correlaciones obtenidas fueron superiores a $|0.95|$ (Figura 16). Cabe destacar que la caída de la participación de la agricultura en el INB ha estado acompañada de forma directa con la mortalidad infantil y la tasa de natalidad, pero a su vez, con el incremento de la población y la esperanza de vida, hechos manifiestos a través de los años.

Cuadro 3: Variables socioeconómicas y ambientales

Variables
Ingreso Nacional Bruto
Ingreso Nacional Bruto <i>per cápita</i>
Tasa de Alfabetización (%)
Tierras Cultivables (hectáreas)
Índice de GINI

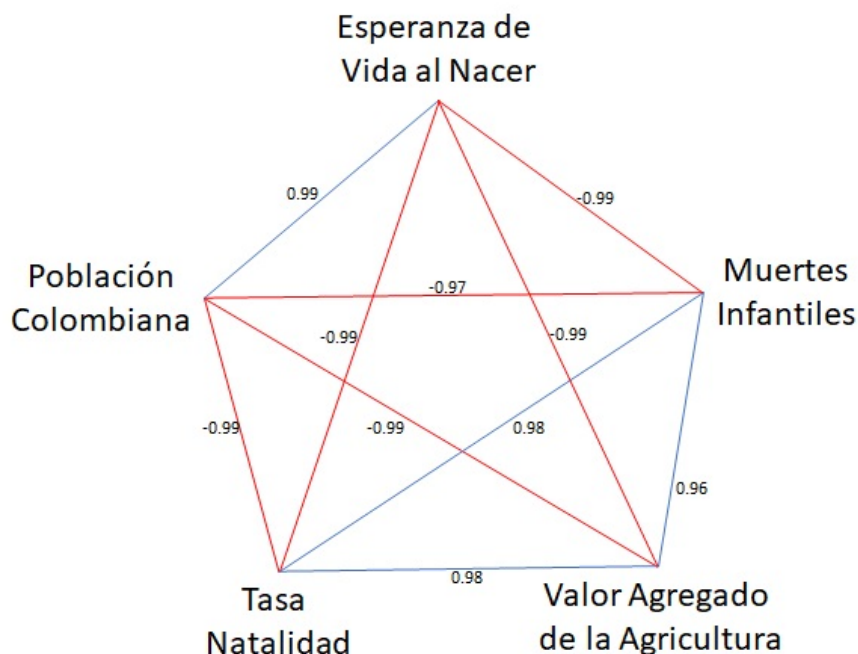


Figura 16: Diagrama de correlaciones entre variables demográficas y agricultura donde las líneas azules representan correlaciones positivas y las rojas correlaciones negativas.

El segundo grupo está compuesto por relaciones directas entre el INB, INB per cápita y la tasa de alfabetización (%), a su vez con relación inversa con el área de tierras cultivables y el índice GINI; donde todas las correlaciones obtenidas fueron superiores a $|0.85|$ (salvo el GINI) (Figura 17).

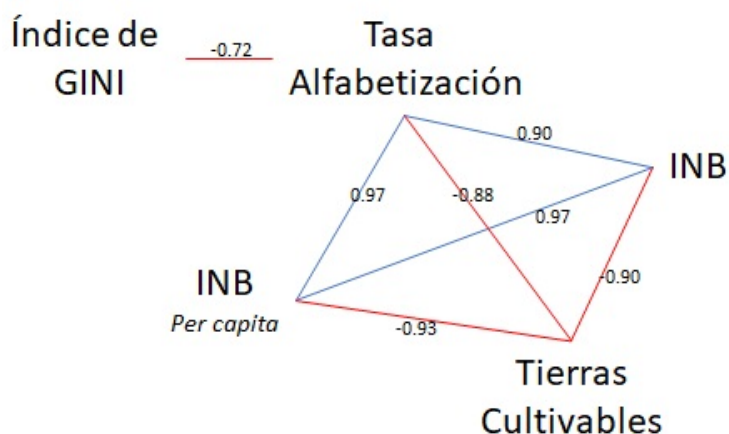


Figura 17: Diagrama de correlaciones entre variables asociadas al INB donde las líneas azules representan correlaciones positivas y las rojas correlaciones negativas.

Las correlaciones expuestas demuestran asociaciones entre el comportamiento de las variables socioeconómicas y demográficas, que, tal y como se señaló previamente no sugieren relaciones causales entre sí, pero que sí podrían responder a terceras variables similares.

6.3 Tendencias

Para las variables elegidas se realizaron análisis de regresión contra el tiempo (años), y se seleccionó el modelo matemático que más se aproximó a cada relación (Figura 18). La población colombiana bajo este análisis expone una relación lineal directa que sugiere un incremento aproximadamente constante a través del paso del tiempo. Por otro lado, las muertes infantiles como la tasa de natalidad exhiben una relación exponencial inversa, lo que indica una respuesta densodependiente o dependiente del tamaño de la población. Finalmente, la población entre los 0 y 14 años muestra un comportamiento polinomial, lo que se traduce en que alcanzó un máximo, que se sitúa hacia la década de los 90. Para todos los casos el porcentaje de explicación de los cambios de las variables es mayor al 94 % respecto al tiempo.

Del mismo modo, se llevaron a cabo regresiones entre las variables socioeconómicas y el tiempo (Figura 19).

Se encontró que el INB manifiesta un comportamiento exponencial directo, al igual que el INB per cápita. Por el contrario, la agricultura tiene una relación lineal inversa. La tasa de alfabetización tiene una relación logarítmica con el tiempo (Figura 19).

Regresiones

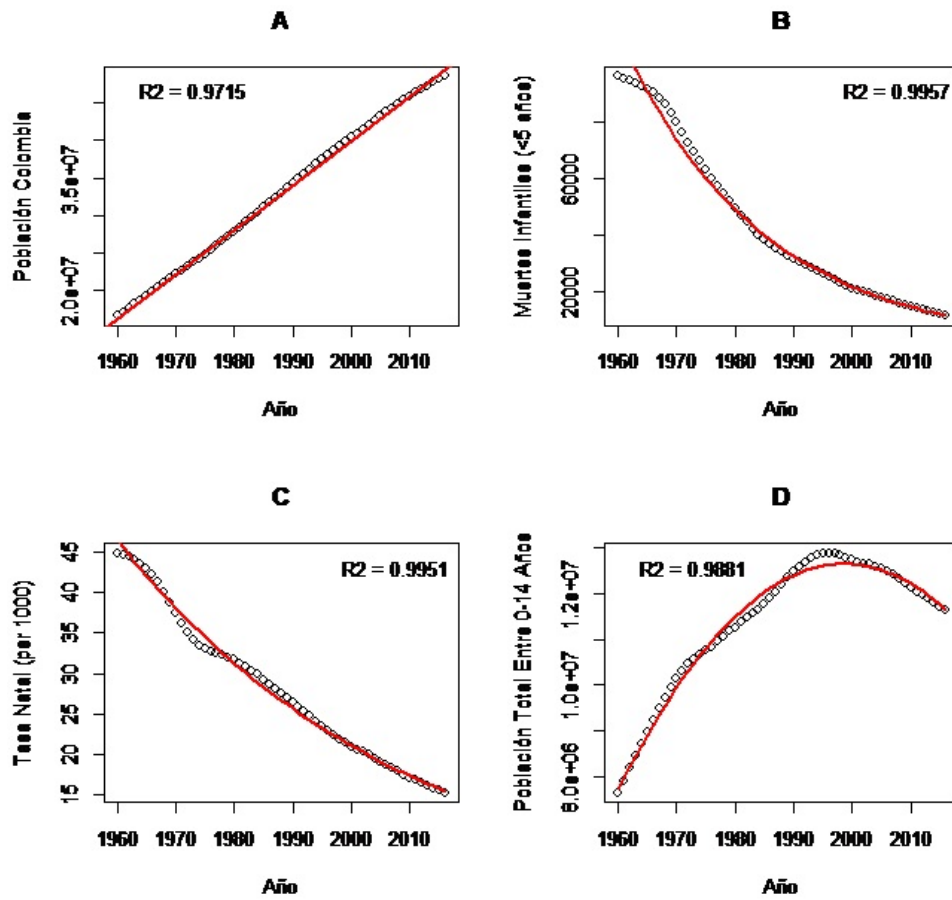


Figura 18: Regresiones y sus respectivos valores de R^2 . A, la población colombiana, que tiene una relación lineal directa -positiva- con el tiempo. B, muertes infantiles (<5 años), que tienen una relación exponencial -negativa- con el tiempo. C, la tasa de natalidad, que tiene una relación exponencial -negativa- con el tiempo. Y D, la población entre 0-14 años, que tiene una relación de polinomio con el tiempo.

Regresiones

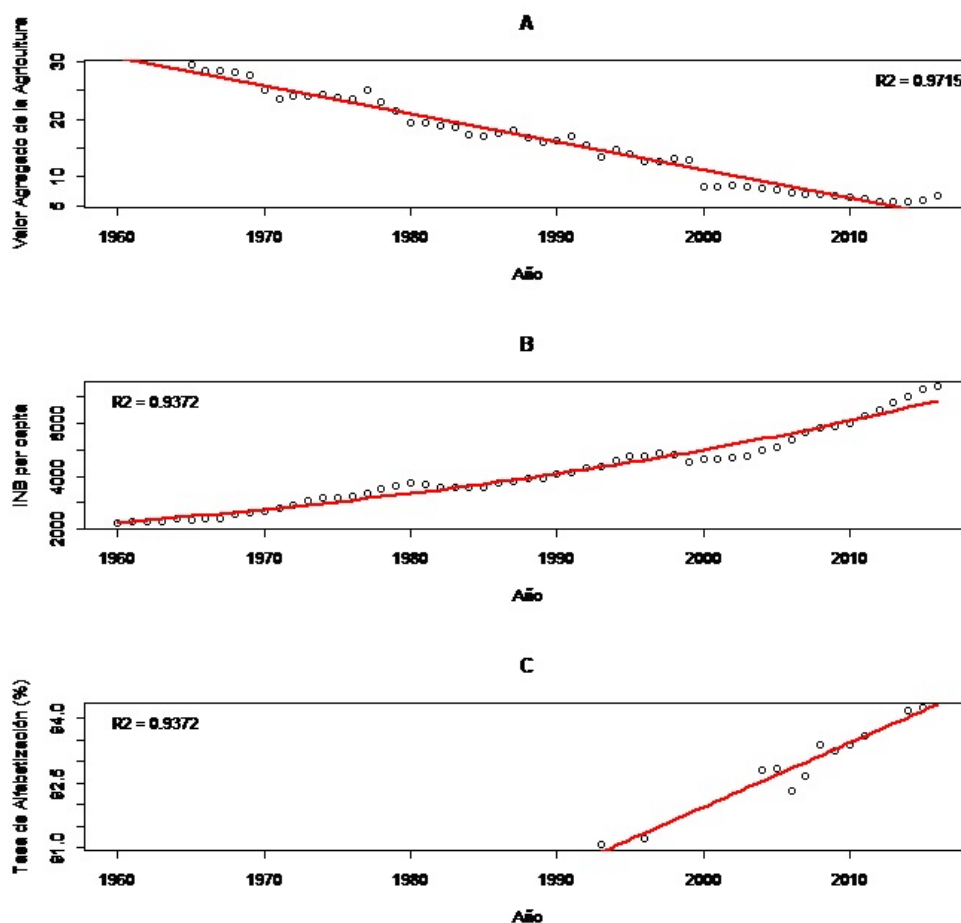


Figura 19: Regresiones y sus respectivos valores de R^2 . A, el valor agregado de la agricultura, que tiene una relación lineal directa -negativa- con el tiempo. B, el INB *per cápita*, que tienen una relación exponencial -positiva- con el tiempo. Y C, la tasa de alfabetización (%), que tiene una relación logarítmica con el tiempo.

6.4 Modelo de Agentes

Hasta el momento se revisó la dinámica poblacional de Colombia, mediante análisis estadísticos que proveen una amplia visión de las variables que están impulsando los cambios principales en la población humana. No obstante, la aproximación teórica tradicional desde la ecología de poblaciones siempre se realiza entendiendo a la población como un conjunto o *súper organismo* que se representa mediante sucesiones de nacimientos y muertes discretas de individuos (Margalef, 1995). Sin embargo, dentro de la dinámica poblacional, la migración juega un rol esencial, más en una población humana cuando se habla de migración interdepartamental, puesto que esto se debería ver reflejado en las políticas de administración territorial, de salud y educación, entre otras esferas importantes del bienestar familiar (Murad Rivera & CEPAL, 2003). Pese a que, la migración interdepartamental no es un fenómeno de tan amplia magnitud

como la migración intermunicipal, especialmente del campo a la ciudad, cada vez es mayor el número de individuos que se desplazan de un departamento a otro especialmente desde la década de los 70' (Murad Rivera & CEPAL, 2003).

En este orden de ideas, la aproximación teórica de la ecología de poblaciones es un esquema *top-down*, que permite pensar a la población como un súper organismo en donde las respuestas de los individuos son consecuencias de fuerzas que operan sobre ellos (Odum, 1975). Por el otro lado, este tipo de modelación permite pensar la población desde una visión *bottom-up*, ya que el individuo se convierte en la unidad principal de análisis y el conjunto de acciones llevadas a cabo, por múltiples individuos, producen un efecto visible en una escala poblacional.

Ahora bien, el modelo generado por este estudio no busca mediante ninguna apreciación teórica ser predictivo, puesto que la construcción de este no fue orientada hacia ninguna calibración o validación de la información usada ni producida. Más bien, buscaba generar una reflexión acerca de la dinámica de migración interdepartamental (Epstein, 2008), a través de los procesos que llevan a cabo los individuos. Entonces, este tipo de modelación no es ni correcta ni incorrecta sino más bien, provee una utilidad reflexiva (Epstein, 2008) en tanto que permite pensar, desde una perspectiva *bottom-up* los diversos mecanismos que ocurren para llevar a una persona a cambiar su residencia de departamento.

Dentro del censo realizado en el 2005, se incluyeron una serie de preguntas que ayudaban a dar un primer esclarecimiento sobre los procesos de migración interna, entre éstas, el cuadro 4.10 ahondaba sobre la razón de migración de la persona. En esta pregunta una amplia mayoría indicó que la razón principal de migración interdepartamental era debido a *razones familiares*, esto puede ser debido a que la migración ocurre principalmente por grupos familiares, en donde una persona tiene una razón de migración diferente y por consiguiente, el núcleo familiar se desplaza indicando que la razón es razones familiares (Bustamante, 2012). Por ejemplo, si en una familia de 5 integrantes, alguien se encuentra en una situación de vulnerabilidad, reportaría por *amenaza para su vida*, mientras que las otras 4 personas reportarían *razones familiares*. Aún así, dada la historia nacional del conflicto armado (Murad Rivera & CEPAL, 2003), cabe cuestionar cómo es posible que una amplia porción de la población migrante sean desplazados por violencia y no reconocidos como tales dentro de las estadísticas.

No obstante, no es necesariamente evidente la relación que hay entre personas reportando *razones familiares* y las demás posibles razones para establecer una proporción entre estas, motivo por el cual se elige dejar esta razón por fuera del análisis del modelo. Puesto que, excluyendo dicha razón, la siguiente categoría más abundante es *miembro de pueblo nómada u otra razón*, que lleva a pensar que también se pueden desplazar por unidades familiares, pero no necesariamente establecer el número de familiares. Más aún, hay razones presentes que dejan en tela de juicio la relación que puede haber entre núcleos familiares y razones de migración como *necesidad de educación*, que excluyendo razones familiares, es la tercera categoría más abundante, que puede ser debido principalmente a adultos jóvenes en búsqueda de educación superior (Bustamante, 2012).

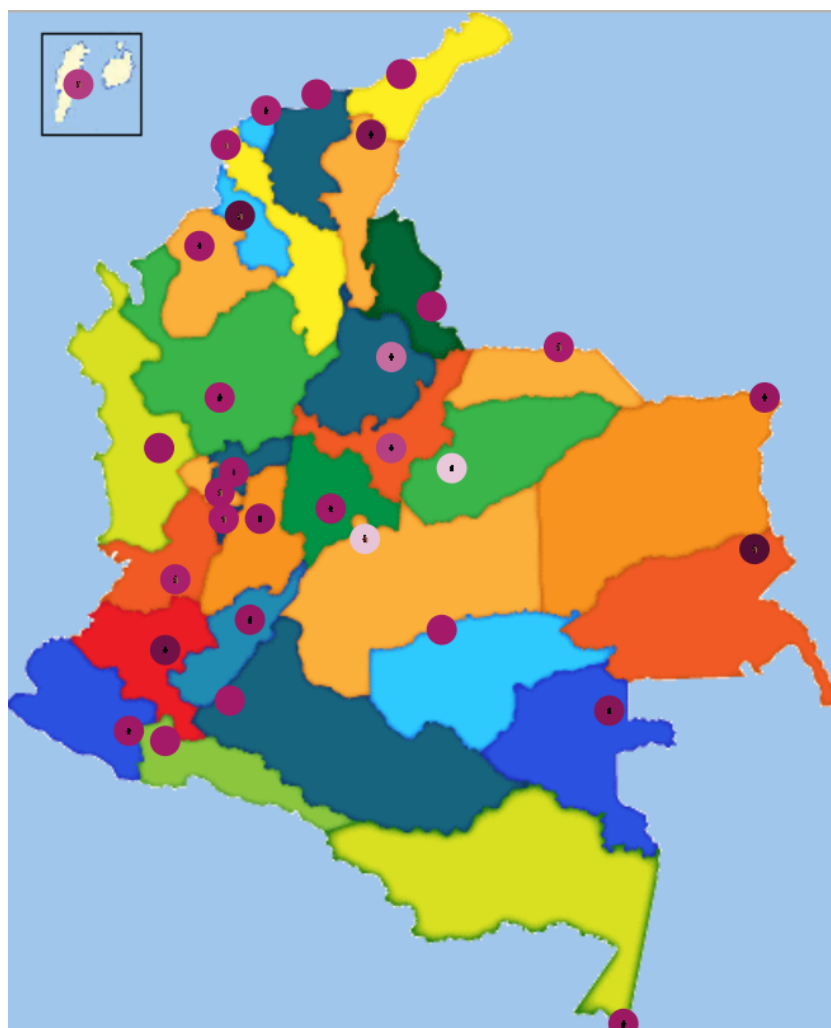


Figura 20: Mapa de la migración interdepartamental producida por el modelo de agentes. Donde el color de la capital refleja la migración. Colores más claros son una inmigración neta total y colores más oscuros reflejan una emigración neta total.

Dentro de los parámetros bajo los que fue construido el modelo se destacan Casanare, Meta, Bogotá (Cundinamarca) y Santander como los principales receptores de población migrante como se puede ver en la figura 20; la visualización completa de la consola puede ser vista en el anexo 3. Esto, es fuertemente influenciado debido a que el primer criterio de evaluación para la migración es el salario, que en este caso al ser representado como el INB per cápita, destaca a los departamentos con el mayor valor de este a nivel nacional. El segundo criterio para evaluar es el acceso a la educación, que en este caso es representado como la tasa de alfabetización y, debido a que los valores a nivel nacional son relativamente homogéneos, no tiene mucha influencia sobre la toma de decisión de los agentes. Finalmente, las tasas de homicidios, que representan amenazas a la vida para las personas, producen una cierta presión para que Boyacá, sin ser de los principales atractores de población, sea aun así un receptor neto.

Por otro lado, hubo muchos departamentos donde el resultado neto fue de emigración, sin embargo, se destacan Putumayo, Cauca y Chocó, ya que, al tener tanto un INB per cápita muy bajo como tasas de homicidios altas, son expulsores de población. Antioquia, se destaca por ser un expulsor de población en este escenario ya que tiene unas tasas de homicidio relativamente altas y su INB per cápita no era necesariamente alto en comparación con otros departamentos.

7 Discusión

Dentro de esta investigación, se buscó profundizar sobre la dinámica de crecimiento poblacional en Colombia, puesto que entender la trayectoria de la población permite reflexionar sobre el proceso que se está viviendo a nivel nacional. También, el impacto del ser humano sobre su ambiente natural ya alcanza medidas alarmantes (Ripple et al., 2017) y el desenfrenado crecimiento poblacional es solamente un agravante de la situación (Echols, 2018). Por ello, este estudio indaga sobre los principales factores asociados al crecimiento poblacional y la dinámica de migración interdepartamental.

Como primera medida, se destaca que el comportamiento entre variables denota tanto relaciones lineales como no lineales y directas como inversas. En tanto algunas variables exhiben tasas constantes a través del tiempo, otras crecen, otras decrecen y algunas más cambian de tendencia. Unas y otras denotan entonces crecimiento monótonico, comportamientos asintóticos y de saturación. Esto señala que los procesos de cambio de dichas variables experimentan respuestas físicas de naturaleza muy disímil.

El análisis de correlación buscó identificar subconjuntos de variables que pudiesen explicar la dinámica poblacional de Colombia en un número reducido de variables. Al realizar dicho análisis, surgieron tres subconjuntos de variables que tienen un comportamiento relativamente lineal entre sí, que son clasificados como un conjunto *demográfico*, uno *materno-infantil* y uno de *niñez*. En una primera instancia, dentro del grupo *demográfico* (conformado por las variables: *población total*, *esperanza de vida*, *población masculina*, *población rural*, *tasa de natalidad*, *supervivencia masculina hasta los 65 años*, *porcentaje de crecimiento* y el *número de habitantes de la ciudad más poblada*), la variable *tasa de natalidad* es seleccionada debido a sus altos niveles de correlación ($>|0.96|$) con las demás variables y se puede ver como esta tasa decrece desde la década de los 60 hasta el presente. Además, esta variable causa un fuerte impacto sobre la tendencia general de la población, y con ello, la planeación e intervención estatal en programas sociales como por ejemplo el fortalecimiento de la educación y la salud, (Banguero & Castellar, 1991). Del primer grupo fue seleccionada también, la variable *población colombiana* que permite ver un contraste con la *tasa de natalidad* ya que las correlaciones, que también son muy altas dentro del grupo ($>|0.96|$), en su mayoría son positivas. Así bien, en relación con la *esperanza de vida al nacer* y la *supervivencia de masculina hasta los 65 años*, indica que la población está tanto aumentando su abundancia como la vida promedio de los individuos, fenómeno que bien puede ser atribuido al rol que ha jugado la medicina en la sociedad, sobre todo desde comienzos del siglo XX (McKeown, 1979).

De otro lado, el subconjunto de variables denominado *materno-infantil* (conformado por las variables: *muertes infantiles*, *población femenina*, la *supervivencia femenina hasta los 65 años*, *tasa mortalidad de mujeres* y *moralidad neonatal*) es evidencia de la estrecha relación que hay entre los indicadores demográficos relacionados al género femenino y los neonatos (Agudelo, 1994). Debido a la presencia de programas gubernamentales dirigidos hacia las mujeres en términos de educación y salubridad, se puede ver como la *mortalidad infantil (<5 años)*, variable seleccionada de este grupo, tiene una alta correlación negativa (-0.96) con la *población colombiana femenina*, indicando que mientras la población femenina en el país ha crecido, la

cantidad de recién nacidos y niños pequeños que mueren, ha disminuido (Banguero & Castellar, 1991). Adicionalmente, en este grupo se puede ver cómo se conforman dos subconjuntos que se relacionan de forma inversa entre sí, en donde uno es caracterizado por: la *población colombiana femenina* y la *supervivencia de femenina hasta los 65 años* y la *mortalidad infantil (<5 años)*, *mortalidad neonatal* y *tasa de mortalidad*, indicando, que en la medida que la población aumenta se incrementa también la vida promedio de los individuos y se reduce la mortalidad (Ministerio de Salud y Protección Social, 2013).

En una tercera instancia, el subconjunto de la *niñez* tiene un alto nivel de correlaciones entre sí ($|0.99|$), pero, al contrastarse mediante concatenaciones con otras variables fuera de este grupo fue muy baja la linealidad que se presentaba; esto es debido al comportamiento único de las variables asociadas a la clase de edad 0-14 años, que alcanza un máximo en la década de los 90. Este resultado refleja el fenómeno de *envejecimiento poblacional* que está experimentando la población colombiana (Ministerio de Salud y Protección Social, 2013). Si bien, las proporciones por clases de edad en Colombia, donde siguen siendo relativamente más abundantes las clases de edad más bajas, la disminución en las tasas de fertilidad advierte un cambio importante en las proporciones de edades en los años próximos, por lo que, la planeación nacional y regional debe acompañar este proceso de transición demográfica cuidadosamente (Pérez, 2006).

De todas las concatenaciones realizadas, solamente la tasa de *mortalidad masculina* no fue ubicada dentro de ningún grupo, debido a un comportamiento anómalo en la década de los 80 e inicios de los 90. Este incremento, anómalo frente a la tendencia general de disminución, puede estar asociado a una serie de factores; principalmente un aumento en la actividad del narcotráfico que justamente en estos años vivió uno de sus momentos de mayor apogeo (El Tiempo, 1999). Adicionalmente, el conflicto armado en Colombia ha históricamente cobrado muchas víctimas y este periodo no es la excepción (RUV, 2018). También, en este periodo de tiempo se vivieron tragedias nacionales como la catástrofe de Armero que dejó más de 20 mil muertos (El Tiempo, 1999).

Llegado a este punto, se procede a revisar cómo las variables seleccionadas han cambiado en el tiempo en los diferentes departamentos del país. Para ilustrar esto, se generaron mapas (véase figura 12, 13, 14 y 15), que permiten ilustrar que los mayores cambios demográficos se dan principalmente en Bogotá, Antioquia y Valle del Cauca, que son aquellos con el cambio poblacional positivo más alto, esto puede ser debido principalmente a que el crecimiento poblacional es *densodependiente* (se incrementa más cuando la población es mayor) y al proceso de urbanización que se advierte no sólo en el mundo sino también, en Colombia (Departamento Administrativo Nacional de Estadística, 2009). Más aún, el desplazamiento forzado, es un fenómeno que dentro del país también es responsable de un importante movimiento de personas desde la ruralidad hacia lo urbano (RUV, 2018). A la vez, se aprecia que la *mortalidad infantil (<5 años)* y la *tasa de fecundidad*, han disminuido en todos los departamentos, especialmente en la región amazónica, de manera que el impacto de las políticas estatales dirigidas a asuntos de salubridad y cuidado relacionado con la reproducción, que fueron altamente reforzadas desde la década de los 80 pueden haber sido responsables de un resultado visible en el territorio nacional (Banguero & Castellar, 1991). Finalmente, la población entre los 0-14 años no ha cambiado de forma relevante a lo largo del territorio nacional como del tiempo y si se tiene en cuenta que la población total ha aumentado, esto quiere decir que su contribución porcentual a la población total viene disminuyendo desde 1985 reforzando la idea de que Colombia está viviendo una transición demográfica y estamos empezando un *envejecimiento poblacional* (Ministerio de Salud y Protección Social, 2013).

Así como las variables fueron revisadas en su comportamiento espacial, por departamentos, análogamente, se busca entender el comportamiento de éstas en un gradiente temporal. Por

ello, las regresiones, que fueron realizadas todas en relación con el tiempo, ayudan a entender las tendencias y mecánicas principales de la población. Pese a que, las regresiones se realizaron con todas las variables, se destacan principalmente las cuatro variables seleccionadas, *población colombiana*, *tasa de natalidad*, *mortalidad infantil (<5 años)* y *población entre los 0-14 años*, puesto que, dado el análisis de correlación, son suficiente insumo de información para entender la dinámica de la poblacional. Inicialmente, se revisa la *población colombiana*, que aunque tiene una relación aproximadamente lineal y directa con el tiempo, los más recientes estimativos de la población parecen tener un crecimiento menos acelerado que la tendencia, sugiriendo que la tasa de crecimiento se está estabilizando (Banguero & Castellar, 1991) hecho manifiesto, por demás, en el modelo lineal.

Al contrastar lo anterior, con la *tasa de natalidad* que va decreciendo en una relación exponencial -negativa- con el tiempo, se ha llegado a sugerir que puede llegar a alcanzar valores tan bajos que denoten incluso decrecimiento poblacional a partir del 2050 (UN, 2017). En concordancia con lo previamente señalado, la esperanza de vida se ha incrementado más de 15 años para el periodo estudiado por lo que la edad promedio de la población colombiana cada vez es mayor (Ministerio de Salud y Protección Social, 2013). Cabe destacar la importancia socio-económica de este hecho demográfico y de manera particular, lo atinente a las políticas cada vez más necesarias para salvaguardar a adultos mayores y para hacer sostenible los fondos de pensión.

En los mapas realizados, la *población entre 0-14 años*, fue la variable que menos cambió en el territorio nacional durante el periodo revisado entre 1985 y 2015. Si se tiene en cuenta que esta variable alcanza un máximo a mediados de la década de los 90, tiene sentido que la abundancia de la clase de edad 0-14 años haya mostrado las menores variaciones (crecimiento, estabilidad, decrecimiento). Así bien, comparando con otras regiones del mundo, la proporción de dicha cohorte en Latinoamérica (25%), sigue siendo alta, superado únicamente por la región de África (41%) (UN, 2017). Sin embargo, la proporción en Colombia (23%) es inferior al promedio de la región, por lo que, el porcentaje de la población entre 0-14 años dentro del territorio nacional se acerca más al promedio de las regiones Oceanía (23%) o Asia (24%) (UN, 2017). Ello significa, por demás, que nos estamos alejando progresivamente de las altas tasas de crecimiento exponencial experimentadas durante las décadas de los 50' y los 60' (*baby boom*) situación en parte relacionada con los costos de la fertilidad (Lanz, Dietz, & Swanson, 2014) y la mayor incorporación de las mujeres al estudio y a la fuerza laboral.

Si bien, se pueden relacionar factores demográficos para la comprensión de la dinámica poblacional colombiana, este trabajo buscó ahondar en diferentes procesos socioeconómicos (los cuales también pueden ser vistos como ecológico, ya que, permiten entender la relación de los individuos con su entorno) que pudiesen ser utilizados para elaborar una comprensión más holística de otras dinámicas subyacentes que puedan estar asociadas de forma no necesariamente causal con los procesos de crecimiento poblacional. Para esto, se revisó el *Índice GINI*, que sirve como una aproximación a la equidad en la distribución de la riqueza en un país (Bellù & Liberati, 2003). Adicionalmente, se tomó en cuenta el Índice de Desarrollo Humano (IDH), medida sintética, que puede ser entendida como una vida digna, evaluando tres categorías importantes que son: (1) una vida larga y saludable, (2) acceso al aprendizaje y conocimiento y el (3) Ingreso Nacional Bruto (INB) *per cápita* (UNDP, 2015). Finalmente, se revisan la participación de la agricultura en el INB y las hectáreas de tierra cultivable como indicador de la producción agrícola dentro del país.

Una vez se conformó la base de datos y se realizaron nuevamente las concatenaciones, se conformaron dos subconjuntos de variables, uno predominantemente *demográfico* y otro *económico*. Dentro del nuevo subconjunto *demográfico* se destacan las fuertes correlaciones que tiene el *valor agregado de la agricultura* con las demás variables ($|0.96|$), resaltando principal-

mente las relaciones positivas con la *tasa de natalidad* y *muertes infantiles (<5 años)*, todas ellas en decrecimiento a través de los años. Este fenómeno, se puede atribuir a la transición económica del país en donde nuestro aporte principal ya no es del sector agrícola sino del industrial, minero energético y de servicios. Por otra parte, el subconjunto conformado principalmente por variables económicas, indica tanto unas altas correlaciones positivas entre el INB *per cápita*, la *tasa de alfabetización* y el INB ($>|0.90|$), indicando por un lado, que el crecimiento en el INB ha sido relativamente proporcional al crecimiento de la población (UNDP, 2015), y por el otro, la alta correlación positiva que tiene con la *tasa de alfabetización* (0.97) lo que lleva a pensar que el acceso al aprendizaje y el conocimiento tiene una estrecha relación con el capital generado dentro del país (UN, 2017). Esto ha tenido un claro efecto sobre la calidad de vida de los colombianos, mejorando abruptamente el IDH desde la década de los 50 (Zamora, 2017). Además de lo anterior, surge a luz que el *Índice GINI* no se correlaciona con ninguna variable salvo con la *tasa de alfabetización*, que tiene una relación relativamente alta y negativa (-0.72), sugiriendo que el acceso a la educación puede ser un fuerte componente para reducir la brecha de desigualdad dentro del país (Bellù & Liberati, 2003).

Una vez realizadas las regresiones lineales en relación con el tiempo, se destaca en primera medida que, el comportamiento del *valor agregado de la agricultura* es lineal y negativo indicando una reducción constante en el porcentaje de contribución de este sector en el INB, reflejo, una vez más, de la transición económica que está viviendo el país, pasando de una economía primaria a una secundaria e incluso terciaria (García & al, 2015). A su vez, la *tasa de alfabetización* está experimentando una relación logarítmica con el tiempo, lo que indica que está creciendo en torno a una asíntota cercana al 100 % (OECD, 2016). Por último, el INB *per cápita*, que exhibe una relación exponencial -positiva- con el tiempo, se refleja también en, el IDH (tal y como lo hace la alfabetización y la esperanza de vida), al ser uno de los tres componentes evaluados por este índice (UNDP, 2015) destacando que Colombia, en el actual informe de las Naciones Unidas está ubicado en la categoría de países con un IDH alto (UNDP, 2016).

En lo concerniente con el modelo *bottom-up* probado en este estudio para analizar sus posibilidades de operación en el marco de migraciones del orden nacional, vale notar que debido a que este modelo se basó en la toma de decisiones individuales, la plataforma usada fue NetLogo®, ya que permite la modelación de agentes en donde cada agente lleva a cabo unos procesos en relación con su entorno. Por esta razón, los procesos diseñados dentro del modelo responden esencialmente a dos apreciaciones teóricas de la población. Por un lado, nacimientos y muertes, evaluadas como procesos aleatorios, distinguiendo entre muertes naturales y muertes accidentales (Margalef, 1995). Además, se incluyó un proceso de envejecimiento mediante el cual, los agentes ganaban edad con el transcurso del tiempo en el modelo. El número de nacimientos estaba dictado por la tasa de fecundidad del departamento evaluada previamente en este estudio. Si bien, estas tres variables pueden ser consideradas pocas dentro del análisis de la dinámica de una población, excluyendo la migración que se ve reflejada en los siguientes procesos, son suficientes para entender el cambio de una población en el tiempo acorde a la *teoría lineal* (Odum, 1975).

Por otro lado, se diseñaron cuatro procesos relacionados a la migración, donde tres responden a la selección de un nuevo departamento y el desplazamiento a éste, el cuarto es quizás el núcleo del poder reflexivo del modelo puesto que es la toma de decisión para migrar. Ya que los agentes no forman familias, se revisó cuáles eran las siguientes razones principales de migración y se develó que son: *dificultad de conseguir trabajo*, *necesidad de educación* y *amenaza para su vida* (Bustamante, 2012). Por ello, se utilizaron como proxy el INB *per cápita*, la tasa de alfabetización y la tasa de homicidios. Así bien, cada individuo tiene prestablecidos unos valores deseados de las tres variables, esto se define al comienzo del modelo aleatoriamente, suponiendo una población con individuos con deseos distribuidos aleatoriamente puesto que

no se calculó la distribución de valores reales para las variables utilizadas. Por consiguiente, el individuo evalúa el departamento en el que se encuentra y si la oferta de dichas variables no alcanza sus requerimientos decide migrar a un departamento que ofrezca *mejor calidad de vida* (UNDP, 2016).

Aunque, este proceso de toma de decisión es realista en el sentido de que, por un lado, prioriza entre los tres parámetros utilizados, así como en la realidad una persona ha de tomar decisiones basándose en sus prioridades. La *calidad de vida*, es un concepto importante, ya que se presume es una de las razones principales asociadas a la migración (Bustamante, 2012). Por otro lado, cabe cuestionar algunos de los más grandes desplazamientos de individuos producidos en el país como son las obras de gran magnitud (carreteras, proyectos minero energéticos, entre otros) y dada la creciente industrialización del país cabe reflexionar sobre la incidencia de este fenómeno sobre los eventos migratorios en el país (García & al, 2015). También, el conflicto armado deja una huella sobre las migraciones internas del país (Murad Rivera & CEPAL, 2003), problemática no abordada por esta investigación.

Si bien, el IDH como tal evalúa tres aspectos relacionados con la calidad de vida, este modelo realiza algo similar puesto que, la única variable diferente a la que utiliza el IDH es *tasa de homicidios*, en vez de *esperanza de vida* (UNDP, 2015). Por lo tanto, se asume que la migración interna está impulsada predominantemente por factores asociados al bienestar, entonces, la heterogeneidad espacial de estos factores promueve una dinámica migratoria importante dentro del país (Micolta León, 2005).

Ya que, este modelo no es un modelo predictivo sino uno que busca esclarecer las dinámicas del sistema (Epstein, 2008), se presta fácilmente para la interacción multidisciplinaria y el enriquecimiento por parte de diversas fuentes de información. Voinov y Bousquet (2010) profundizan sobre esto, destacando la importancia de la participación de diferentes agentes o entes interesados en el modelo como conocedores y proveedores de información. Puesto que, el conocimiento para desarrollar herramientas de modelación no es necesariamente común, se plantean estrategias mediante las cuales se puede favorecer la participación de cualquier persona que tenga información pertinente sin la necesidad de que dicha persona aprenda a desarrollar modelos como tal (Voinov & Bousquet, 2010).

El modelo, siendo una herramienta exploratoria y de reflexión, sugiere, bajo los parámetros utilizados, una serie de departamentos que experimentan predominantemente inmigración, estos son: Casanare, Bogotá, Meta y Santander. Esto en una primera instancia genera una reflexión importante ya que el DANE (2012), realizando el debido análisis del censo del 2005 llega a los mismos departamentos como receptores de población. Esto, sin ser validado ni sujeto a ninguna calibración. Por ello, se puede pensar que el modelo tiene una cierta orientación adecuada en cuanto a la identificación de la dinámica individual de toma de decisión al momento de migrar. En una segunda instancia, pensar en las tres variables utilizadas como *proxy* del bienestar, es una herramienta poderosa ya que, es ampliamente sugerido que las migraciones, especialmente las humanas están relacionadas con una búsqueda de mejora en las condiciones de vida (Micolta León, 2005).

En este orden de ideas, los departamentos que presentan mayor emigración son aquellos que tienen los parámetros más bajos. Debido a que los datos fueron tomados de fuentes reales y actuales, esto lleva a pensar que la expulsión de personas puede estar sujeta fuertemente a unas condiciones precarias. Si se revisa además, los lugares que han sido más abatidos por el conflicto armado se encuentra que en muchos casos también son departamentos donde hay mayor emigración neta (Murad Rivera & CEPAL, 2003). Así bien, esto sugiere que hay un peso histórico añadido sobre la dinámica de migración interdepartamental que este modelo no tiene en cuenta. A pesar de que, se encuentra un reflejo relativamente cercano a la realidad, puede haber dinámicas subyacentes que este modelo no abarca.

Si bien, se utilizaron valores aleatorios para producir los requerimientos de los agentes en el modelo, la intención de esto era producir una serie de valores que representaran una amplia gama de diferentes requisitos por partes de las personas como ocurre en la realidad. Esto, facilita el proceso de toma de *decisión*, ya que consta de comparar simplemente dos tasas para evaluar el procedimiento a seguir. No obstante, si se quisiese encontrar una mayor veracidad, se podrían representar dinámicas variadas y más complejas como el trabajo, la formación de familias y la interacción entre agentes. No obstante, la escala en la que se evaluó el modelo, no se presta para incluir dicho nivel de detalle.

8 Conclusiones y Recomendaciones

En una primera instancia, fueron seleccionadas un número amplio de variables que estuviesen relacionadas con la demografía colombiana. Esto, con el fin de aproximarse inicialmente a entender el comportamiento de la población a través del tiempo. Puesto así, al conformar subconjuntos de variables por comportamientos lineales, surgieron tres subconjuntos de variables, que por las variables que quedaron en cada grupo fueron denominados: *demográfico*, *materno-infantil* y *niñez*. Por consiguiente, se generaron matrices de correlación con el fin de destacar las relaciones, no necesariamente causales, para establecer las principales variables descriptoras de cada subconjunto.

Dado esto, las variables seleccionadas en la información fueron: *población total*, *muerres infantiles*, *tasa de natalidad* y *población entre los 0-14 años*. Este conjunto de 4 variables resultó ser esencial al momento de explicar uno de los fenómenos más recientes de la población que es el envejecimiento poblacional. Entendido como, una población que está teniendo una transición de una abundante clase de edad baja (0-14 años) a una población que tiene una menor representatividad de las clases de edades inferiores, en tanto la edad promedio de la población aumenta.

Éste fenómeno, tiene importantes repercusiones en materia de planeación nacional ya que la exitosa asignación de recursos depende fuertemente del entendimiento de las necesidades futuras como, por ejemplo, salud, educación.

No solamente, entendiendo el comportamiento de las variables a través del tiempo, se indagó sobre el comportamiento espacial de las mismas. De esto cabe resaltar que, la zona Andina fue aquella que tuvo un mayor crecimiento poblacional, a pesar de que todo el país presenta un aumento importante. La tasa de natalidad disminuyó nacionalmente al igual que las muertes infantiles, lo que refleja un esfuerzo en mejorar las condiciones de salubridad y educación sexual en el país. Por último, la población entre 0-14 años resultó ser más o menos igual entre los años revisados, debido a que alcanza un máximo en la década de los 90' y vuelve a decrecer.

Más aún, se revisaron unas variables adicionales, asociadas a factores socioeconómicos donde se buscó ahondar en diferentes procesos que pueden entrar en juego dentro de la dinámica poblacional. Dichas variables, también, fueron revisadas con las variables previamente seleccionadas para conformar nuevos subconjuntos de variables que presenten linealidades. En consecuencia, surgen dos nuevos subconjuntos denominados: *demográfico* y *económico*. Puesto que la mayoría de las variables demográficas del primer análisis de correlación quedan todas en el mismo subconjunto, aparece nuevamente el nombre *demográfico*.

Incluso, el *valor agregado de la agricultura* tiene una relación lineal -negativa- con el tiempo, lo que sugiere que Colombia está atravesando una transición económica y cada vez más el sector agrícola es de menor importancia en la producción nacional. Por otro lado, el índice GINI, que solamente se correlacionó con una variable, fue con la *tasa de alfabetización* (-0.72), indicando que el acceso a la educación puede ser una herramienta para disminuir la

desigualdad. Esto en vista, de que la *tasa de alfabetización* tuvo correlaciones positivas tanto con el *Ingreso Nacional Bruto* (INB) como con el *INB per cápita*, puede ser debido a que la educación juega un rol fundamental también, en la producción nacional total a través del tiempo.

Finalmente, para explorar la dinámica de migraciones interdepartamentales, se exploró un modelo de agentes, donde los individuos toman decisiones individuales buscando una mejor calidad de vida, y esto produce que las personas se desplacen por el territorio. Aunque, este modelo no se formuló con fines predictivos, permite reflexionar sobre los procesos que una persona lleva a cabo para decidir cambiar su departamento de residencia. Dicho así, el modelo permite en una primera instancia esclarecer las dinámicas del sistema desde una perspectiva *bottom-up*, inusual dentro del estudio de ecología de poblaciones, pero a su vez da luces esperanzadoras para su empleo en estudios futuros.

Por otro lado, dentro de este estudio hubo unas limitaciones que por razones de la magnitud de la investigación no pudieron ser abordadas. Inicialmente, la escala de municipio es completamente obviada; aún cuando es fuertemente sugerido que las dinámicas de migración tienen un mayor peso entre municipios que entre departamentos. No obstante, la escala departamental provee una cantidad de información útil para aproximarse a la población colombiana.

También, se podrían incluir más variables, puesto que aquellas seleccionadas estaban estrictamente ligadas con temas demográficos y socioeconómicos. Por ello, se recomendaría evaluar variables asociadas a servicios ecosistémicos y otros campos no tan estrechamente relacionados con la demografía ya que pueden aportar nueva información sobre el proceso de crecimiento poblacional. En este orden de ideas, es muy relevante tener una disponibilidad más amplia de variables con las que trabajar, limitante común, sin embargo, por falta de bases de datos con registros anuales en el orden nacional o departamental.

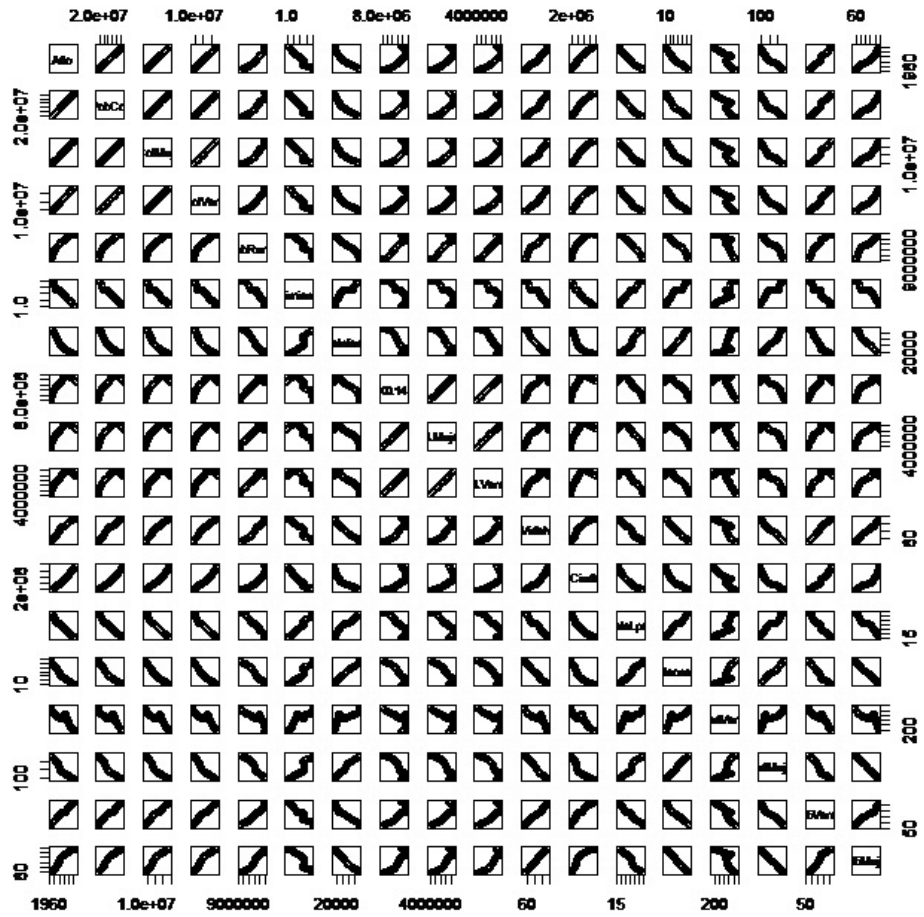
Para cerrar, se reconoce que dentro de la modelación es muy deseable predecir, y aunque este no es el único propósito de la modelación, sí tiene una clara utilidad. Para futuros estudios, se recomienda buscar la posibilidad de someter el modelo *bottom-up* presentado a calibración y un análisis de sensibilidad, acompañado de una participación multidisciplinaria, para poder ser utilizado como herramienta de planeación nacional. Así, este modelo pasaría de ser solamente una reflexión sobre la dinámica de un sistema a ser un puente entre disciplinas que permita dar a conocer los procesos principales que llevan a una persona a migrar.

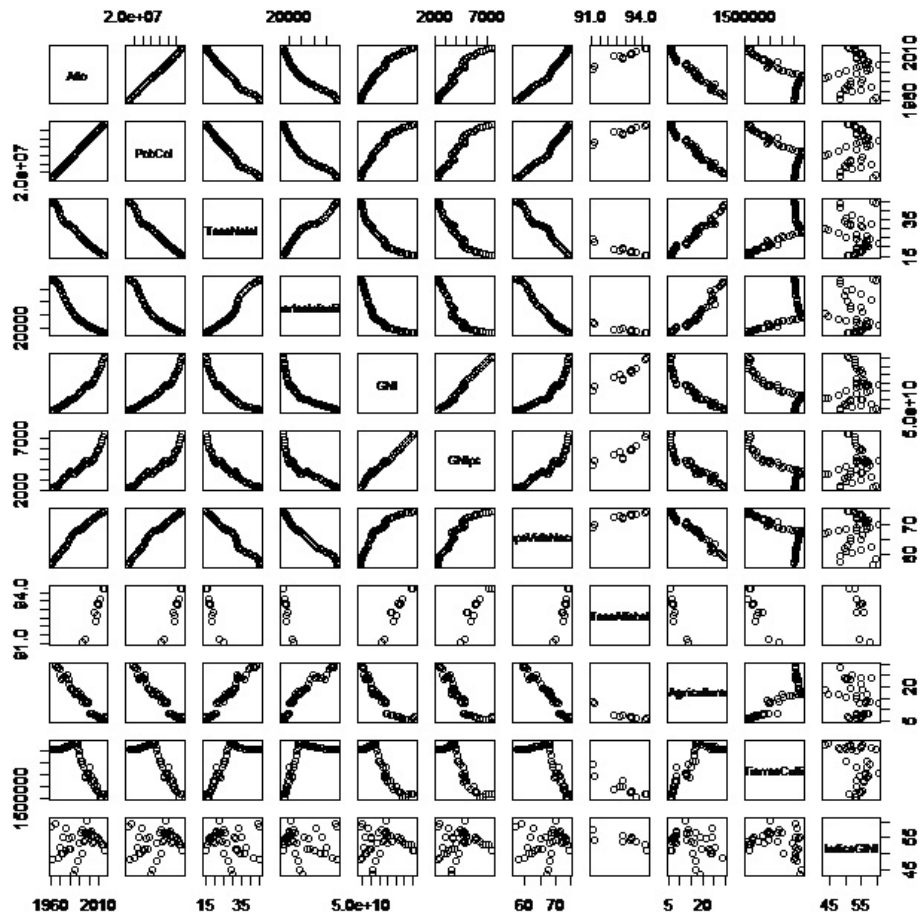
Referencias

- Agudelo, C. (1994). Colombia: tendencias de la población. *Biomédica*, 160–171.
- Banguero, H., & Castellar, C. (1991). La población colombiana: dinámica y estructura. , 123–139.
- Baxter, R., Hastings, N., Law, A., & Glass, E. J. (2008). *Estadística Básica Aplicada* (Vol. 39) (No. 5).
- Bellù, L. G., & Liberati, P. (2003). *Inequality Analysis: The Gini Index*. doi: 10.1016/0306-4573(92)90089-I
- Bustamante, J. (2012). *Atlas Estadístico de Colombia*. Bogotá D.C.: DANE.
- Crimmins, E. M. (2008). Demography : The Past 30 Years , the Present , and the Future Author (s): Eileen M . Crimmins Published by : Population Association of America Stable URL : <http://www.jstor.org/stable/2061807>. *Population (English Edition)*, 30(4), 579–591.
- Dasilveira, R. (2002). Estadística Básica Para Estudiantes de Ciencias. *Mycological Research*, 106(11), 1323–1330.
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística. (2009). *Metodología Proyecciones de Población y Estudios Demográficos* (Vol. 1) (No. ISSN 0120-7423).
- Diamond, J. (2006). *Armas, Germen y Acero*. Barcelona: W.W.Norton & Company.
- Echols, J. R. (2018). Population vs . the Environment : A Crisis of Too Many People.
- El Tiempo, P. (1999). *El Tiempo en el Siglo XX*. Bogotá D.C..
- Epstein, J. M. (2008). Why Model? *Journal of Artificial Societies and Social Simulations*, 11(4 12), 1–232.
- Estrada Orrego, V. (2017). ¿Cuántos somos? Una historia de los censos civiles y de la organización estadística en Colombia en la primera mitad del siglo XX. *Historia Crítica*, 64, 141–160.
- Etter, A., Andrade, A., Saavedra, K., Amaya, P., & Arevalo, P. A. (2017). Risk Assesment of Colombian Ecosystems: an Application of the Red List of Ecosystems Methodology (Vers. 2.0). , 101.
- García, J. B., & al, E. (2015). Mercados laborales: la evolución del empleo. *Economía Colombiana*(1), 21–22.
- Lanz, B., Dietz, S., & Swanson, T. M. (2014). Global Population Growth, Technology, and Land Conversion: A Quantitative Growth Theoretic Perspective. , 58(283), 37p.
- Maidin, S., Mohamed, A. S., Akmal, S., Mohamed, S. B., Wong, J. H. U., Teknikal, U., . . . Abidin, Z. (2018). The Potential and Limitations of Agent-Based Simulations. , 55(4), 433–462.
- Margalef, R. (1995). *Ecología*. Barcelona: Omega S.A.
- McKeown, T. (1979). *The Role of Medicine*. Oxford: Basil Blackwell.
- Meadows, D., Meadows, D., & Randers, J. (1992). *Más allá de los Límites del Crecimiento*. Madrid: El País S.A.
- Meadows, D., Meadows, D., Randers, J., & Behrens, W. (1972). *Los Límites del Crecimiento*. México D.F.: Fondo de Cultura Económica.
- Meadows, D., Randers, J., & Meadows, D. (2006). *Los Límites del Crecimiento. 30 años Después*. Barcelona: Círculo de Lectores.
- Micolta León, A. (2005). Teorías y conceptos asociados al estudio de las migraciones internacionales. *Trabajo social*, 7(7), 59–76.
- Ministerio de Salud y Protección Social. (2013). Envejecimiento Demográfico. Colombia 1951-2020 Dinámica Demográfica Y Estructuras Poblacionales. , 48.
- Murad Rivera, R., & CEPAL. (2003). Estudio sobre la distribución espacial de la población en Colombia. *Centro Latinoamericano y Caribeño de Demografía*, 67.

- Odum, E. P. (1975). *Ecology: The Link Between the Natural and Social Sciences*. New York: Holt, Rinehart and Winston.
- OECD. (2016). *Educación en Colombia*. doi: <http://dx.doi.org/10.1787/9789264250604-en>
- Pearl, R. (1920). On the rate of Growth of the Population of the United States of America since 1790 and it's Mathematical Representation. *National Academy of Sciences*, 6.
- Pérez, G. J. (2006). Dinamica demografica y desarrollo regional en Colombia. *Documentos De Trabajo Sobre Economía Regional*(78), 1–66.
- Ramírez, A. (2005). *Ecología Aplicada*. Bogotá D.C.: Fundación Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano.
- Ramírez, A. (2017). *Ecología y Ciencias Ambientales: Introducción a la Modelación Dinámica*. Publicia.
- Ricklefs, R. E., & Miller, G. L. (1999). *Ecology* (4th ed.). New York: W.H. Freeman and Company.
- Ripple, W. J., Wolf, C., Galetti, M., Newsome, T. M., Alamgir, M., Crist, E., . . . Laurance, W. F. (2017). World Scientists' Warning to Humanity: A Second Notice. (figure 1), 1–9.
- RUV. (2018). *Registro Único de Víctimas*.
- Sen, A. (1984). *Poverty and Famines: An Essay on Entitlement and Deprivation* (Vol. 32) (No. 4).
- Susanne, C. (2005). Biología de las poblaciones humanas. In *La antropología biológica. evolución y biología humana* (pp. 303–326). Verbo Divino.
- UN. (2017). *World Population Prospects*. New York: United Nations, Department of Economic and Social Affairs; Population Division.
- UNDP. (2015). *Informe sobre Desarrollo Humano 2015* (Tech. Rep.).
- UNDP. (2016). *Desarrollo Humano para Todos*. United Nations Development Programme.
- Voinov, A., & Bousquet, F. (2010). Modelling with stakeholders. *Environmental Modelling and Software*, 25(11), 1268–1281.
- Zamora, H. F. (2017, nov). *Así ha crecido el nivel de vida de los colombianos en más de 100 años*. Bogotá D.C..

A Anexo 1





B Anexo 2

	<i>PobCol</i>	<i>PobColVarones</i>	<i>PobRural</i>	<i>% CrecimientoAnual</i>	<i>EspeVida Nacer</i>	<i>MayorCiudadPob</i>	<i>TasaNatal(per1000)</i>	<i>Supervivencia65Varones(%Cohorte)</i>
PobCol	1							
PobColVarones	0.999969	1						
PobRural	0.960792	0.962714	1					
% Crecimiento	-0.98804	-0.98802	-0.9607	1				
EspeVida	0.988711	0.989767	0.983531	-0.97473	1			
MayorCiudad	0.985578	0.984437	0.918729	-0.97832	0.957372	1		
TasaNatal	-0.98946	-0.99028	-0.9862	0.992099	-0.99197	-0.9634	1	
Supervivencia65	0.992278	0.99269	0.973739	-0.98304	0.994105	0.975655	-0.99091	1

	<i>PobColMujeres</i>	<i>MuertesInfantiles(<5)</i>	<i>MortalidadNeonatal(per1000)</i>	<i>TasaMortalidadMujeres(per1000)</i>	<i>Supervivencia65Mujeres(%Cohorte)</i>
PobColMujeres	1				
MuertesInfantiles(<5)	-0.96349	1			
MortalidadNeonatal(per1000)	-0.97964	0.995897	1		
TasaMortalidadMujeres(per1000)	-0.97342	0.995406	0.997596	1	
Supervivencia65Mujeres(%Cohorte)	0.974029	-0.99616	-0.9978	-0.9998	1

	<i>0-14</i>	<i>0-14(Mujeres)</i>	<i>0-14(Varones)</i>
0-14	1		
0-14(Mujeres)	0.999948	1	
0-14(Varones)	0.999955	0.999806723	1

	PobCol	Tasa Natal (per1000)	Muertes infantiles (<5)	EspeVida Nacer	Agricultura, valor agregado
PobCol	1				
Tasa Natal	-0.98946	1			
Muerteslr	-0.96542	0.98272	1		
EspeVida	0.988711	-0.99197	-0.98996	1	
Agricultur	-0.98787	0.983925	0.959709	-0.98626	1

	INB (\$ 2010)	INB per capita (\$ 2010)	Tasa de alfabetización (%)	Tierras cultivables (hectáreas)	Índice de Gini
GNI (\$ 2010)	1				
GNI per capita (\$ 2010)	0.99544314	1			
Tasa de alfabetización, total de adultos (% de personas de 15 años o más)	0.94054281	0.91074328	1		
Tierras cultivables (hectáreas)	-0.92780567	-0.8986869	-0.883541007	1	
Índice de Gini	0.11122727	0.10220067	-0.722094494	-0.34630157	1

C Anexo 3

