



## Revisión de modelos migratorios

### Review of Migration Models

Lizeth Paola Martínez Ochoa<sup>1</sup> Helbert Eduardo Espitia Cuchango<sup>2</sup> Efrain Enrique Jácome Lobo<sup>3</sup>

**Para citar este artículo:** L. P. Martínez, H. E. Espitia y E. E. Jácome, "Revisión de modelos migratorios". *Revista Vínculos*, vol 14, no 2, julio-diciembre 2017, 149-160. DOI: <https://doi.org/10.14483/2322939X.13034>.

**Recibido:** 12-07-2017 / **Aprobado:** 03-08-2017

#### Resumen

En el presente documento se realiza una revisión sobre diferentes trabajos publicados en la literatura académica relacionados con el estudio de la migración de individuos.

Sobre los trabajos revisados se pueden observar diferentes enfoques, por lo cual, se propone una clasificación de estos encontrando principalmente modelos realizados para la migración humana, migración de especies animales, propagación de enfermedades y migración de otros organismos. Se observa que un buen número de trabajos se desarrollan para modelar el problema de migración humana donde se puede establecer una clasificación teniendo modelos de migración con fines económicos, migración por aspectos sociales, migración empleando redes de información, migración familiar y finalmente la influencia de la migración en la inversión directa extranjera.

**Palabras clave:** económico, migración, modelos, revisión, social.

#### Abstract

In this paper a review of different studies published in the academic literature related to the study of the migration of individuals is performed.

About the studies reviewed different approaches can be observed; therefore, a classification of these is proposed, mainly finding models for human migration, migration of animals, spread of diseases and migration of other organisms. It is observed that a good number of works are developed to model the problem of human migration where they can be graded as models of migration for economic purposes, social migration; migration using information networks, family migration and finally the influence of migration in the foreign direct investment.

**Keywords:** economic, migration, models, review, social.

1. Ingeniera de Sistemas, Especialista en Desarrollo de Bases de datos. Egresada de Ingeniería de Sistemas de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Correo electrónico: paolizm@hotmail.com
2. Ingeniero Electrónico, Ingeniero Mecatrónico, Especialista en Telecomunicaciones Móviles, Magister en Ingeniería Industrial, Magister en Ingeniería Mecánica, Doctor en Ingeniería de sistemas y Computación. Docente de planta de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Correo electrónico: heespitiac@udistrital.edu.co
3. Ingeniero Electricista, Magister en Ingeniería Eléctrica, Docente de la Escuela Colombiana de Carreras Industriales (ECCI, Correo electrónico: enrique.jacome@gmail.com

## 1. Introducción

Usualmente un modelo de flujo migracional consiste en determinar el crecimiento o descenso poblacional que se encuentra en los diferentes espacios físicos estudiados. Según el tipo de agentes o individuos migrantes se puede obtener la siguiente calificación:

- Migración humana.
- Migración de especies animales.
- Propagación de enfermedades.
- Migración de otros organismos.

## 2. Migración humana

A continuación se presenta un recuento de diferentes modelos matemáticos definidos en estudios realizados acerca de migración humana. La estimación de los flujos migratorios poblacionales se puede hacer desde tres ámbitos diferentes, el económico, el demográfico y el matemático [1]. Sobre los diferentes escenarios de investigación de la migración humana los más destacados son:

- Migración con fines económicos.
- Migración por aspectos sociales.
- Migración empleando redes de información.
- Migración familiar.
- Influencia de la migración en la inversión directa extranjera.

### 2.1 Migración con fines económicos

Sobre estudios de migración humana entre zonas geográficas, en [2-4] se pretende medir la población total de diferentes clases de personas migrantes como obreros, estudiantes, etc. tanto en la zona geográfica de origen como en la de destino después de presentarse el evento migratorio; se tiene en cuenta la utilidad del lugar de destino y el costo de migrar, los cuales se expresan como funciones continuamente diferenciables que dependen de la población y del flujo migratorio de cada clase de personas en cada localidad.

Por otro lado, en [5] se presenta un modelo matemático operativo que simula los flujos migratorios internos de México y genera escenarios de migración hipotéticos de acuerdo al comportamiento de variables independientes como costo de migración, flujos migratorios de origen y capacidad de atracción. En este modelo se plantea un sistema interconectado, es decir, los cambios que se dan en cualquiera de los elementos espaciales (regiones, ciudades, etc.), afecta al resto. El modelo examina factores conductistas (subjetivos), económicos (objetivos) e institucionales, ya que la combinación de estos factores determina de forma más exacta el comportamiento migratorio de la población. Se trabaja con un tipo de interacción espacial denominada producción condicionada, este método permite simular el volumen de población final en cada uno de los espacios físicos a partir del volumen inicial de los mismos. Un trabajo adicional se observa en [6], donde se presenta un modelo escalonado de migración entre tres tipos de regiones (pueblos pequeños, ciudades no capitales y capitales); se tienen en cuenta factores como los costos del transporte, la cantidad poblacional en cada región, el mercado interno comparado con el externo, los niveles de proteccionismo del mercado regional y los beneficios de migrar, los cuales son medidos usando la relación entre el salario de la región de origen y destino.

En [7-10] se realiza un estudio donde a partir de un modelo espacial se evalúa el efecto que tiene el valor de las casas o viviendas de cierta localidad en el cambio migratorio de la población (específicamente población de trabajadores de oficina); se encuentra como resultado que un alza en el valor de las casas disminuye el flujo de inmigrantes en esta localidad, pero aumenta considerablemente en las localidades vecinas.

Un modelo espacial, similar al anterior, se presenta en [11], donde se mide la atracción migratoria de cierta zona, teniendo en cuenta la cantidad de trabajadores en el lugar de destino, el nivel salarial de los mismos, los precios de las casas, la inversión extranjera y la distancia entre la zona de origen y destino.

Sobre otros trabajos relacionados con migración humana en [12] se propone modificar el modelo de economía dualista simple planteado en [13] y en [14], con el fin de incluir la existencia de migrantes permanentes (personas que trabajan en sectores diferentes a su lugar de origen pero que retornan a él frecuentemente) quienes surgen a partir de las oportunidades de empleo y salarios ofrecidos en zonas aledañas.

Un modelo urbano estándar se puede apreciar en [15] donde se analizan las posibles variables que afectan las migraciones laborales temporales y obligadas (es decir aquellas personas cuyo lugar de trabajo está ubicado en otra zona geográfica y deben viajar a él y volver a su lugar de residencia diariamente), específicamente la estructura económica local y la calidad de vida en las comarcas de Cataluña, durante el período de 1991 a 1996. En este trabajo se utilizan datos de los flujos migratorios presentados por el censo de la población española. Se encuentran como variables influyentes, el precio del metro cuadrado, el tamaño de las casas, la densidad de trabajadores, los salarios y la tasa de desempleo, entre otras.

Por otro lado, en [16] se estudia si las migraciones interregionales en Chile ayudan a la reducción de brechas salariales y desempleo entre las diferentes regiones de este país; para analizar esta hipótesis se utilizan los datos provistos por el Censo de Población y Vivienda de Chile durante los años 1992 a 2002 y se utiliza un modelo de tipo probit para estimar la probabilidad de migrar de una región a otra según el bienestar que brindan las diferentes regiones de destino. Como resultado, se obtiene que la migración pudiera ser un mecanismo de ajuste siempre y cuando la utilidad obtenida en la región de destino sea superior a la utilidad de la región de origen, más los costos de traslado.

Finalmente, en [17] se investigan los factores determinantes en el crecimiento de los ingresos promedio y la tasa de migración neta en 271 municipios de Suecia durante el período de 1981 y 1999. Se plantea como objetivo principal probar que el crecimiento de un municipio es afectado por el rango

de crecimiento de los municipios vecinos, de forma que si un municipio tiene una alta atracción para los migrantes los precios de vida aumentan; por lo tanto, los municipios vecinos experimentan un aumento en los inmigrantes que deseaban vivir en el primer municipio pero que por los altos costos prefieren ubicarse en municipios vecinos. Para estimar los resultados se utiliza un modelo de retardo espacial, un modelo de error espacial y técnicas econométricas con efectos espaciales que permiten obtener resultados no sesgados y consistentes con los datos reales; del mismo modo se plantean dos ecuaciones una para el crecimiento de los ingresos promedio en los municipios y otra para la tasa neta de migración de los mismos. En estos modelos se tienen en cuenta tres variables principales: el ingreso promedio, el capital humano (incluyendo el proveniente de la migración) y el desempleo en cada municipio. Para la estimación de las variables anteriores se utilizan los datos estadísticos de Suecia durante el período indicado.

## 2.2 Migración por aspectos sociales

Con respecto a la migración de personas por aspectos sociales, en [18] se proponen tres modelos estocásticos para estimar proyecciones poblacionales a nivel de mortalidad, fertilidad y migración neta internacional. Para estimar los rangos de mortalidad y fertilidad por edad se utilizan modelos con datos funcionales y series de tiempo. La migración neta por edad y sexo es estimada como la diferencia entre los datos históricos anuales. Este modelo se aplica a la población de humanos en Australia y tiene como objetivo la predicción de los tres aspectos tratados a 20 años.

Sobre el caso colombiano, en [19] se mide la fuerza de expulsión o flujo de emigrantes de ciertas zonas de Colombia durante tres períodos determinantes (2000-2002, 2003-2005 y 2006-2008, en los cuales hubo transformaciones importantes en la actividad de los grupos armados), a partir de un modelo espacial que tiene en cuenta el número de combates entre las fuerzas de seguridad del estado y los actores

del conflicto y las hectáreas sembradas con cultivo de coca. Se plantea también una fórmula que estima la intensidad de llegada (flujo de inmigrantes) a las diferentes zonas del país, determinando los municipios que reciben mayor cantidad de personas durante los períodos estudiados, según los incentivos económicos, la cantidad de población y la distancia que presenta cada una de estas zonas. Se propone además un modelo gravitacional donde los flujos migratorios están determinados por la población de origen y destino que actúan como fuerzas de expulsión y atracción, a partir de variables tales como: la distancia (que tiene un efecto de fricción en la movilidad de los flujos, es decir, a menor distancia mayor movilidad), el bienestar económico, las oportunidades y la disponibilidad de servicios sociales.

Por otro lado, en [20] se propone un modelo de control óptimo basado en el principio del máximo discreto de Pontryagin con restricciones de espacio de las variables de estado (estas restricciones se trabajan con términos de penalización cuadrática), el cual permite determinar políticas de migración y controlar la entrada de personas a zonas metropolitanas, se utilizan técnicas del gradiente conjugado y de búsqueda para el problema matemático con valores en la frontera. El modelo presentado permite conocer el comportamiento futuro de la población según las políticas de migración planteadas por el mismo.

En [21] se simula el movimiento de personas entre diferentes zonas; se emplea la teoría de partículas encontrando como resultado que esta técnica simula acertadamente el movimiento y comportamiento de los individuos y grupos migrantes según las condiciones topográficas. Este estudio proporciona un conjunto de patrones de movimiento que son utilizados para estimular un modelo en red. El modelo se prueba para dos grupos de migrantes, el primero posee una población mayor a 100 y el otro, un grupo pequeño, cuya población es menor a 20.

Adicionalmente, en [22] se analiza el efecto de las anomalías del clima en los flujos de migración rural y urbana del África Sub-Sahariana, para esto se

plantea un modelo empírico, con el cual se realizan estimaciones sobre el número de migrantes en África entre los años 1960 y 2000, así como proyecciones sobre las futuras migraciones en zonas donde la agricultura es la actividad predominante. Este estudio se basa en las proyecciones realizadas por las Naciones Unidas sobre migración y los escenarios climáticos futuros provistos por el IPCC para el final del siglo XX. Este trabajo también se podría incluir en la categoría de migración por aspectos económicos.

En [23] se propone una expansión de “La ecuación maestra” (ecuación que describe la migración humana en un dominio acotado), tomando el operador no lineal contenido en esta ecuación y ampliándolo en una serie infinita cuyos términos no lineales son los operadores de las derivadas parciales (esta serie se denomina Kramers - Moyal).

Otro estudio de este tipo se puede encontrar en [24] donde se realiza un modelo dinámico conformado por un conjunto de ecuaciones diferenciales para explicar la distribución espacial y temporal de dos grupos de residentes en un área urbana, asumiendo que el comportamiento de cada grupo está determinado por factores económicos y sociales (cada grupo influye en el comportamiento de los demás). Se encuentran tres tipos de relaciones entre los dos grupos, relaciones amables, de repulsión o neutrales y de estas relaciones depende la separación o coexistencia de los grupos.

Sobre modelos clásicos exponenciales y logísticos se puede apreciar el trabajo realizado en [25] donde se realiza la propuesta de un modelo exponencial y logístico de la población en el Suroeste de Puerto Rico.

Un modelo logístico se puede apreciar en [26], el cual representa un refinamiento del modelo exponencial; incluso para valores pequeños de tiempo ambos modelos arrojan resultados similares. Sin embargo, a partir de un momento del tiempo la función se acerca asintóticamente a un valor máximo. Por otro lado en [27] se presenta un modelo para el crecimiento poblacional, donde se supone un sistema cerrado, es decir sin flujo de migración. Se

consideran las tasas de nacimiento y muertes para un espacio físico constante en el tiempo, ya que supone que estas tasas son determinadas de alguna manera por los mecanismos de crecimiento y muerte de la población, los cuales se mantienen constantes en el tiempo. Este modelo no es válido en periodos de tiempo extensos; para ilustrar esto se supone un virus cuya propagación se realiza en una población cerrada, al comenzar su propagación el virus infecta a muchas personas rápidamente, pero al pasar el tiempo menos personas van a estar sanas, es decir, habrán menos posibilidades de contagiar el virus porque no habrán personas sanas.

Finalmente un modelo de crecimiento geométrico se puede apreciar en [28] donde se asume un porcentaje constante de cambio por unidad de tiempo.

### 2.3 Migración empleando redes de información

Como primer trabajo a considerar en [29] se utilizan los datos de mexicanos que migraron hacia Estados Unidos de América durante el período de 1978 - 1998 para analizar empíricamente el papel que desempeñan las redes de información en la elección de una zona de destino para migrar. Se utiliza un modelo lógico condicional y un modelo de coeficientes aleatorios que se complementan entre sí, teniendo en cuenta el atractivo de las zonas y el nivel de acceso a las mismas. Se muestra como uno de los resultados, que las redes de información adquieren mayor importancia cuando los migrantes son ilegales y no calificados, ya que los inmigrantes calificados y legales pueden obtener y analizar la información publicada en los mercados de trabajo locales y espaciales y por lo tanto, no dependen de la información proporcionada por las redes.

Sobre trabajos que emplean la econometría espacial, en [30] se aprecia una propuesta que establece una red basada en un modelo espacio-temporal para la geografía de los emigrantes en Filipinas en los períodos de 1990, 1995 y 2000. Se analiza también el efecto que tiene la red en próximas emigraciones (que de hecho presentan una distribución espacial y no aleatoria como se pensaba);

los datos fueron obtenidos de la Oficina Nacional de Estadísticas de Filipinas.

En [31] se muestra la importancia de la información proporcionada por las redes familiares y comunales sobre los rendimientos esperados y los costos de migrar en la decisión de realizar futuras migraciones de México a Estados Unidos. Se construye un modelo estático, cuyas variables están asociadas al hogar y la red. Con este se analiza individualmente la influencia de cada uno de los parámetros. Se utilizan los datos proporcionados por la Encuesta Nacional de Hogares Rurales Mexicanos realizada por la secretaria de la reforma agraria del gobierno de México en 1994.

Por otro lado en [32] se estudia el efecto de las redes sociales en la disminución de los costos de migrar y la relación empírica y teórica entre las emigraciones y la desigualdad rural en México; esto se realiza a través de un modelo teórico de migración rural y un análisis empírico donde se utilizan dos conjuntos de datos: los provistos por la Encuesta Mexicana del Proyecto de Migración (con datos de 57 comunidades rurales ubicadas en zonas de alta migración) y los proporcionados por la Encuesta Nacional de Dinámica Demográfica (muestra representativa de 214 comunidades rurales de México) en los años 1992 y 1997. Como variables principales se tienen el nivel estatal, las tasas de migración y las condiciones del mercado laboral de Estados Unidos.

### 2.4 Migración familiar

Un modelo dinámico sobre la decisión de migrar de parejas casadas se puede apreciar en [33], donde se utilizan los datos proporcionados por el Panel de Estudios de Dinámicas de Ingreso con el fin de obtener estimaciones sobre la relación entre el mercado laboral de los matrimonios y la migración. Se utiliza el método de *momentos* el cual minimiza el error entre los datos reales y los simulados. Este trabajo muestra como resultados que la decisión de migrar en una pareja, ocurre frecuentemente por oportunidades de trabajo para el hombre, en parte porque las ofertas para mujeres son de menor paga y

variedad, y que el divorcio aumenta la probabilidad de migrar a otra localidad geográfica.

Otro trabajo relacionado se aprecia en [34] en el cual se analiza la decisión de migrar en un contexto familiar, su influencia en próximas migraciones y por ende en los cambios de empleo y salario de los miembros de la familia. Se encuentra que la migración familiar (sobre todo en las familias con hijos) tiende a ser menor que la migración de personas solteras, así como la inestabilidad marital (divorcios) estimula el flujo migratorio; para alcanzar esta conclusión se realiza un modelo analítico, donde se tiene en cuenta los costos monetarios y no monetarios de migrar y posteriormente se realiza un análisis empírico sobre la influencia de la presencia de niños en los hogares. Al igual que en [33] se encuentra que generalmente las mujeres migran por las oportunidades que se les presentan a sus esposos más no a ellas mismas; por lo tanto, una conclusión interesante en este estudio es que la migración tiende a disminuir el desempleo en los hombres y aumentarlo en las mujeres.

Adicionalmente, en [35] se analiza empíricamente el papel que juega la familia en las inmigraciones a Estados Unidos, teniendo en cuenta la comparación de las ganancias de cada miembro de la familia y el costo de migrar. Se encuentra que entre más familiares hayan migrado mayor es la probabilidad de que miembros aún no migrantes tomen la determinación de hacerlo, del mismo modo es más factible obtener la visa para migrar legalmente cuando existen miembros de la familia que ya viven en Estados Unidos. Se utilizan los datos obtenidos de las muestras de uso público del Censo de Estados Unidos, durante los años 1970 a 1980.

## **2.5 Influencia de la migración en la inversión extranjera**

Sobre trabajos enfocados en la influencia que tiene la migración en la economía, en [36] se realiza un estudio para determinar la distribución regional de la inversión extranjera directa y la inmigración de 10 países hacia Estados Unidos observando la

correlación positiva que existe entre estos dos aspectos durante los años 1990 y 2004. A través de un modelo econométrico se visualiza que la inmigración tiene una influencia positiva en la inversión extranjera, la cual se puede tener en cuenta en el análisis del costo y beneficio de la movilidad. La información sobre la distribución de la inversión extranjera directa fue tomada de la base de datos de la Oficina de Análisis Económico de Inversión de los Estados Unidos.

Otro trabajo a considerar se puede observar en [37], donde se visualiza que la existencia de redes de trabajadores de inmigrantes con estudios de bachillerato en Estados Unidos afecta positivamente la inversión extranjera directa; para esto se emplean variables como la cantidad de migrantes, los costos de obtener un pasaporte y la densidad de población en el país de origen de los migrantes. Se obtiene como resultado que la red de migrantes provee información relevante acerca de las condiciones de vida, de negocios y de oportunidades que están presentes en la zona de destino, influyendo así de forma positiva en la decisión de migrar. Se utilizan datos de migración hacia Estados Unidos y de inversión extranjera directa de Estados Unidos durante los años 1990 y 2000 provistos por el Censo de Estados Unidos en cada uno de estos años.

En [38] se investiga si los flujos migratorios de trabajadores y la inversión extranjera directa son complementarios o existe una relación de sustitución entre ellos, esto se realiza por medio de un modelo estilizado con el cual se capturan los diferentes mecanismos para relacionar el mercado laboral y el movimiento del capital. Se utilizan datos de la población de inmigrantes en 1990 y 2000 proveídos por el Censo de Estados Unidos y datos de la inversión internacional directa de la Oficina de Análisis Económico de Estados Unidos.

## **3. Migración de especies animales**

En relación a la migración de especies animales resaltan los estudios realizados sobre la migración de peces, al respecto como un primer trabajo a

considerar en [39] se presenta un modelo matricial que estima el comportamiento de la flota de un tipo de peces, conocida como *Jurriel*, en ocho zonas. Se tiene en cuenta la cantidad inicial de peces en cada zona, el crecimiento natural, la dispersión de la flota entre las diferentes zonas (se considera como restricción que la migración se presenta solo entre zonas aledañas) y la cantidad de capturas realizadas por mes en cada zona. Para determinar el crecimiento natural, se establece un modelo logístico y para el número de capturas se emplea un modelo del tipo Cobb-Douglas. Biológicamente los cambios migratorios dados por el modelo planteado se explican por el cambio climático asociado a las diferentes funciones vitales de la población en estudio.

Adicionalmente en [40] se plantea un modelo estocástico que pretende medir el tamaño efectivo que debería tener una población de peces para lograr adaptarse a los cambios de su entorno y de este modo preservarse en el tiempo. Se consideran poblaciones subdivididas, cada una con diferentes tamaños poblacionales e interconectadas por medio de la migración (factor que permite volver heterogéneas las poblaciones y de este modo tener una variación en la densidad de la población).

Por otro lado, en [41] se propone un modelo continuo en espacio y tiempo, que establece la relación y efecto de distintos conceptos biológicos como el ambiente, la migración y la densidad de población local, en la fluctuación poblacional de peces en un sistema de islas (zonas geográficas divididas por límites establecidos para el estudio en cuestión).

En [42] se propone un modelo espacial continuo para describir el comportamiento de poblaciones de peces, usando nociones del método de movimiento geométrico browniano. En particular se analizan poblaciones cuyo crecimiento poblacional es negativo, es decir que la población se acerca a la extinción. Otro trabajo relacionado se presenta en [43], donde se destacan dos tipos de estudios: la migración entre zonas geográficas y la dinámica poblacional dentro de dichas zonas, esto con el fin de mostrar que el crecimiento poblacional se ve ampliamente afectado por el movimiento migratorio, ya que en la medida

que las diferentes especies de peces emigren a otra zona dependerá su extinción o preservación. Para esto se propone un modelo de agregación donde se mide el efecto que tiene la migración individual en la dinámica general de una población a largo plazo, en dos zonas determinadas y con dos especies competidoras entre sí. Finalmente el modelo propuesto es analizado con tres tipos de migraciones diferentes (migración constante, lineal y cuadrática). En [44] se estudia el efecto de la migración en la dinámica poblacional y coexistencia de múltiples especies de peces entre distintas comunidades; encontrando, a partir de un análisis, que la migración tiene gran influencia en la competencia entre comunidades, si las tasas de migración de las distintas comunidades son similares se fomenta la coexistencia de las diferentes especies, mejorando de esta forma la biodiversidad.

#### 4. Propagación de enfermedades

Sobre la propagación de enfermedades en [45] se estudia la propagación de la malaria y la peste durante los años 1347 y 1352, integrando parámetros dinámicos espaciales y geográficos al modelo propuesto por Ross y McKendrick llamado susceptibles - infectados - recuperados inmunes (SIR). Se tienen, en cuenta diferentes factores como el factor de contagio, el de propagación y el futuro de las personas infectadas (muerte o inmunización) y se plantea una ecuación por cada posible estado en el cual se puede encontrar una persona (SIR).

Un trabajo similar al anterior se puede apreciar en [46] donde se ajustan los parámetros de los modelos matemáticos S.I.R (S: sanos, I: infectados, R: recuperados) y S.E.I.R (S: sanos, E: expuestos I: infectados, R: recuperados) por medio de la optimización de la dinámica poblacional para la enfermedad transmisible A(H1N1) y su epidemiología. Para evaluar, comparar y contrastar los resultados arrojados por el proceso de simulación planteado, se cuenta con datos reales de la gripe A(H1N1) en México durante el período del 15 de abril al 8 de junio del 2009.

Adicionalmente en [47] se propone un modelo que describe la dinámica de propagación de la malaria en un entorno heterogéneo, teniendo en cuenta la migración de la persona infectada de tal forma que sea posible verificar la propagación de la epidemia en las diferentes zonas estudiadas.

Otro trabajo sobre propagación de enfermedades se presenta en [48], en el cual se pretende entender la dinámica de las enfermedades transmitidas vectorialmente por el cambio en los entornos urbanos (específicamente se estudia el caso de la malaria) por medio del desarrollo de un modelo espacial, que permite saber cómo influye el movimiento de los humanos en un ambiente heterogéneo en la transmisión de enfermedades. Se desarrollan dos tipos de modelos, el primero de Lagrange que imita el comportamiento de los desplazamientos humanos y el segundo un modelo Euleriano para representar la migración de la enfermedad. El modelo se prueba en dos zonas, donde se visualiza que la enfermedad se extingue si no hay interacción entre dichas zonas y por el contrario cuando los humanos se movilizan entre ellas la enfermedad se transforma en endemia. En este modelo se considera que tanto las personas como la enfermedad pueden migrar a diferencia de lo expuesto en [43] donde se propone que solamente existe migración de personas.

Un análisis de la transmisión de la malaria a partir de un modelo matemático de compartimientos que tiene en cuenta el calentamiento global y las condiciones socioeconómicas se puede apreciar en [49]. Se proponen siete compartimientos para los humanos con sus respectivas ecuaciones diferenciales: susceptibles, infectados pero no infecciosos, infecciosos, inmune, parcialmente inmune, no inmune pero con memoria inmunológica y en incubación después de una reinfección. Para describir la población de mosquitos se plantean del mismo modo tres compartimientos con sus respectivas ecuaciones: susceptibles, en incubación e infecciosos. Se observa como resultado que el escenario más eficiente en el control de la transmisión es para la población humana (tratamiento y

vacunación de individuos); sin embargo, un aumento en la tasa de mortalidad de los mosquitos sería eficaz en áreas donde haya un riesgo alto de contraer la malaria. Del mismo modo se encuentra que los factores socioeconómicos son mucho más influyentes que el aumento en la temperatura lo que permite un mejor control en la trasmisión de esta enfermedad, ya que es más realista realizar mejoras en el sistema de salud que controlar la contaminación ambiental para evitar aumentos en la temperatura.

Un trabajo similar al anterior se presenta en [50] donde se plantea un modelo de compartimientos para predecir la dinámica y la transmisión de la malaria (los compartimientos utilizados tanto en la población humana como en la del mosquito son: susceptible, incubación infeccioso e inmune, la población del mosquito no tiene clase inmune), se incluyen variables tanto de la población humana como la del mosquito; el modelo asume que los nuevos nacimientos en ambas poblaciones se clasifican como susceptibles siempre. Las tasas de contagio están definidas como el número de contactos por día de una entidad sana con un ente contagioso, esto depende también del tipo de picadura de los mosquitos, las probabilidades de transmisión entre especies y el número de individuos en ambas poblaciones.

Sobre el estudio de la malaria en [51] se revisan modelos propuestos anteriormente para la predicción del número de personas infectadas con el virus de la malaria encontrando inconsistencias, lo que lleva a la reformulación de un modelo dinámico simple que incluye variables nuevas como la supervivencia del mosquito, el índice de la sangre humana, la proporción de mosquitos infectados y la proporción de los mosquitos que transmiten la infección. La atención de esta investigación se centra en el papel del mosquito en la transmisión de la malaria a humanos, encontrando como resultado que eliminar a los mosquitos proveería un beneficio notoriamente alto; por lo tanto, medidas de control como insecticidas y radicación de larvas pueden ser muy beneficiosas.

## 5. Otros estudios de migración

En [52] se presenta el análisis de un sistema lineal de tiempo constante de inmigración y emigración de organismos entre dos áreas geográficas utilizando un algoritmo de biogeografía basado en optimización. La idea principal del modelo lineal de tiempo constante es medir la variación del número de organismos en un área dada, causada por la emigración e inmigración de especies entre las áreas vecinas. Otro trabajo de migración se puede observar en [53], donde se desarrolla un modelo numérico físico-biológico, para estudiar la dinámica poblacional del zooplancton *Calanus Finmarchicus* en el Golfo de St. Lawrence, durante el año 1999. Se tienen en cuenta propiedades del zooplancton tales como la producción de huevos, el crecimiento, el comportamiento migratorio y el nivel de mortalidad; y a su vez, aspectos del entorno como por ejemplo la dinámica de la marea y los cambios de temperatura de la misma, los cuales son elementos esenciales en el ciclo de vida de esta población.

Sobre trabajos relacionados, en [54] se pretende predecir la migración de agentes contaminantes de hidrocarburos de petróleo en un sistema de aguas subterráneas de una refinería de petróleo, durante el período de diciembre del 2002 y diciembre del 2003. Se tienen en cuenta aspectos hidro-geográficos del lugar de estudio, tales como el flujo de aguas, la velocidad, etc.; para esto se consideran dos categorías de agentes contaminantes migrantes: aquellos que flotan sobre la superficie del agua en forma de manchas de petróleo y los que se mezclan y se disuelven en el agua subterránea.

## 6. Conclusiones

Como resultado de este trabajo se obtiene una completa revisión del estado del arte sobre diferentes modelos migratorios. Particularmente se profundiza en modelos de migración humana y se propone una clasificación de los diferentes trabajos reportados en la literatura, apreciando que este es un tema importante y fuente de futuras investigaciones.

Un aporte realizado en este trabajo consiste en la clasificación de los diferentes trabajos relacionados con el fenómeno de migración, al respecto, se observa que es posible agrupar los trabajos según el tipo de individuos migrantes (migración humana, de especies animales, propagación de enfermedades y de otros organismos); en el caso de la migración humana los estudios también se pueden agrupar según la orientación de la investigación en cuestión (migración con fines económicos y/o sociales, migración familiar, análisis migratorio haciendo uso de redes de información e influencia de la migración en la inversión directa extranjera).

Para la solución de problemas asociados con el fenómeno de migración es necesario en una primera instancia tener un modelo adecuado. En el caso de migración humana el correcto modelado de este fenómeno permite generar estrategias para la gestión de recursos y políticas migratorias de tal forma que se pueda garantizar el bienestar de las personas.

Luego de revisar los diferentes enfoques que se tiene para el modelado de flujos migratorios, especialmente de la migración humana se aprecia que los factores influyentes son económicos, sociales, familiares y algunos geográficos.

Con la revisión realizada se aprecia que el modelado del fenómeno de migración es un campo activo en la academia, por lo cual, se espera que esta revisión documental puede servir como referente para futuras investigaciones.

## Referencias

- [1] B. Erviti, T. Segura, Estudios de población, La Habana: Centro de Estudios Demográficos, Universidad de la Habana, 2000.
- [2] L. Chavez, V. Kalashnikov, N. Kalashnycova, "A human migration model with consistent conjectures", 2009 Fourth International Conference on Innovative Computing, Information and Control, 2009.
- [3] V. Kalashnikov, N. Kalashnycova, "Simulation of a conjectural variation equilibrium in a human migration model", International Journal

- of Simulation Systems, Science & Technology, vol. 7, no. 9, 2000. <https://doi.org/10.24201/edu.v22i3.1278>
- [4] V. Kalashnikov, N. Kalashnykova, A. Luévanos, R. Luévanos, M. Mendéz, C. Uranga, "Un modelo de migración humana: experimentos numéricos basados sobre los datos de las tres ciudades laguneras", *Estudios demográficos y urbanos*, vol. 22, no. 3, 2007.
- [5] C. Garrocho, "Un modelo de simulación de los flujos de migración interna de México: aplicación empírica de un modelo de interacción espacial", *Estudios demográficos y urbanos*, vol. 11, no. 3, pp. 433-476, 1996. <https://doi.org/10.24201/edu.v11i3.977>
- [6] M. Guan, "Migration among multicities", *International Journal of Human and Social Sciences*, vol. 6, no. 3, 2011.
- [7] P. Allen, "Modeling the evolution of the U.S. spatial structure", Report No. DOT-CSSM-83-8, 1983.
- [8] W. Fang, L. Houqiang, "Nonlinear population guideline", Sichuan University Publisher, 1995.
- [9] E. Irwin, W. Jeanty, M. Patridge, "Estimation of a spatial simultaneous equation model of population migration and housing price dynamics", *Regional Science and Urban Economics*, vol. 40, no. 5, pp. 343-352, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.regsciurbeco.2010.01.002>
- [10] J. Lu, D. Zengru, "Self-organization model of population space distribution in PRC's towns", *Academic paper of Beijing Normal University (science)*, vol. 101-104, 1990.
- [11] W. Chensheng, L. Honggang, L. Ronghai, W. Xue, "Analysis of the attraction model of the PRC white-collar workers migration", *International Conference on Management and Service Science (MASS)*, 2010.
- [12] A. Martins, "Bilateral mobility in dualistic models", *Economic Modelling*, vol. 25, no. 3 pp. 391-410, 2008. <https://doi.org/10.1016/j.econmod.2007.07.002>
- [13] M. Todaro, "A model of labor migration and urban unemployment in less developed countries", *American Economic Review*, vol. 59, no. 1, pp. 138-148, 1969.
- [14] J. Harris, M. Todaro, "Migration, unemployment and development: a two-sector analysis", *American Economic Review*, vol. 60, no. 1, pp. 126-42. 1970.
- [15] M. Artís, J. Romani, J. Suriñach, "A territorial model of commuting in Catalonia 1986 - 1996", *Universitat de Barcelona, Facultat d'Economia i Empresa*, 2001.
- [16] P. Aroca, F. Rowe, "Eficiencia de la migración interregional en Chile para ajustar el mercado laboral", *Revista A-MÉRICA*, vol. 1, no. 2, 2008.
- [17] J. Lundberg, "Using spatial econometrics to analyse local growth in Sweden", *Regional Studies*, vol. 40, no. 3, 2006. <https://doi.org/10.1080/00343400600631566>
- [18] R. Hyndman, H. Booth, "Stochastic population forecast using functional data models for mortality, fertility and migration", *International Journal of Forecasting*, vol. 24, no. 3, pp. 323-342, 2008. <https://doi.org/10.1016/j.ijforecast.2008.02.009>
- [19] J. Sagayo, *Desplazamiento forzoso en Colombia: expulsión y movilidad, dos dinámicas que interactúan*, Colombia: Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias Económicas, 2011.
- [20] A. Romero, "Un modelo de control óptimo para determinar de migración", *Estudios demográficos y urbanos*, vol. 14, no. 3, 1999.
- [21] C. Christou, "Simulation of human migration based on swarm theory", *13th Conference on Information Fusion (FUSION)*, 2010. <https://doi.org/10.1109/ICIF.2010.5711906>
- [22] L. Marchiori, J. Maystadt, I. Shumacher, "The impact of weather anomalies on migration in Sub-Saharan África", *Journal of Environmental Economics and Management*, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.jeem.2012.02.001>
- [23] N. Eshima, M. Tabata, "The Kramers - Moyal expansion of the master equation that describes human migration in a bounded domain", *Nonlinear Analysis: Real World Application*,

- vol. 10, no. 2, pp. 639-664, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.nonrwa.2007.10.020>
- [24] W. Zhang, "Coexistence and separation of two residential groups - An interactional spatial dynamic approach", *Geographical Analysis*, vol. 21, no. 2, pp. 91-102, 1989. <https://doi.org/10.1111/j.1538-4632.1989.tb00881.x>
- [25] A. Lecompte, J. Quiñones, "Modelos exponencial y logístico de la población en el Suroeste de Puerto Rico", *Revista de investigación 360 grados en ciencias y matemáticas*, vol. 3, no. 1, 2007.
- [26] DANE Departamento Administrativo Nacional de Estadística, *Metodología Proyecciones de Población y Estudios Demográficos PPED*, Colombia: Dirección de Censos y Demografía, 2009.
- [27] J. García, J. Gómez, E. Muñoz, J. Solana, "Modelos migratorios: Teoría del capital humano", *X Jornadas de la Asociación de Economía de la Educación*, 2001.
- [28] D. Ospina, "Modelos matemáticos elementales en proyecciones de población", *Revista Colombiana de Estadística*, vol. 2, no. 3, 1981.
- [29] L. Baghdadi, "Mexico - U.S. Migration: Do spatial networks matter?", *XX Annual Conference of European Society for Population Economics (ESPE)*, 2006
- [30] M. Abrigo, D. Desierto, "Contagious migration: Evidence from the Philippines", *PIDS Discussion Paper Series*, no. 18, pp. 1-15, 2011.
- [31] P. Winters, A. Janvry, E. Sadoulet, "Family and community networks in México - U.S. migration", *The Journal of Human Resources*, vol. 36, no. 1, pp. 159-184, 2001. <https://doi.org/10.2307/3069674>
- [32] D. McKenzie, H. Rapoport, "Network effects and the dynamics of migration and inequality: theory and evidence from Mexico", *Journal of Development Economics*, vol. 84, no. 1, pp. 1-24, 2007.
- [33] A. Gemici, *Family migration and labor market outcomes, USA: University of Pennsylvania*, 2011.
- [34] J. Mincer, "Family migration decision", *Journal of Political Economy*, vol. 86, no. 5, pp. 749-773, 1978. <https://doi.org/10.1086/260710>
- [35] G. Borjas, S. Bronars, "Immigration and the family", *Journal of Labor Economics*, vol. 9, no. 2, pp. 123-148, 1991. <https://doi.org/10.1086/298262>
- [36] H. Foad, "FDI and immigration: a regional analysis", *Social Science Research Network*, 2009.
- [37] B. Javorcik, C. Neagu, C. Ozden, M. Spatareanu, "Emigrant Networks and foreign direct investment", *Journal of development economics*, vol. 94, no. 2, 2010.
- [38] M. Kugler, H. Rapoport, "Skilled emigration, business networks and foreign direct investment", *Conference on Global Economy*, paper no. 1455, 2005.
- [39] H. Salgado, A. Soto, "Estimación de la migración del jurel en la zona centro sur de Chile analizando el comportamiento espacial en la flota de pesca", *Serie de Documentos de trabajo EconUdeC*, 2010.
- [40] K. Hundar, J. Tufto, "Effective size in management and conservation of subdivided population", *Journal of Theoretical Biology*, vol. 222, no. 3, pp. 273-281, 2003. [https://doi.org/10.1016/S0022-5193\(03\)00018-3](https://doi.org/10.1016/S0022-5193(03)00018-3)
- [41] S. Engen, "A dynamic and spatial model with migration generating the log-Gaussian field of populations densities", *Mathematical Biosciences*, vol. 173, no. 2, pp. 85-102, 2001. [https://doi.org/10.1016/S0025-5564\(01\)00077-3](https://doi.org/10.1016/S0025-5564(01)00077-3)
- [42] S. Engen, "Stochastic growth and extinction in a spatial geometric Brownian population model with migration and correlated noise", *Mathematical Biosciences*, vol. 209, no. 1, pp. 240-255, 2007. <https://doi.org/10.1016/j.mbs.2006.08.011>
- [43] P. Auger, S. Charles, J. Poggiale, "Emergence of individual behavior at the population level - Effects of density-dependent migration on population dynamics", *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences - Series III - Sciences de la Vie*, vol. 323, no. 1, pp. 119-127, 2000.

- [44] X. Chen, J. Wang, L. Wang, "Evolutionary game dynamics in finite population with migration", IEEE Chinese Control Conference, 2009.
- [45] J. Demongeot, O. Doumbo, J. Gaudart, M. Ghassani, J. Mintsá, M. Rachdi, J. Waku, "Demographic and special factors as causes of an epidemic spread, the copule approach, application to the retro - prediction of the Black - Death epidemy of 1346", IEEE 24th International Conference on Advanced Information Networking and Applications Workshops, 2010.
- [46] H. Espitia, C. Galeano, J. Vargas, "Ajuste de los modelos S.I.R y S.E.I.R empleando optimización para el modelamiento de la transmisión de la gripe A(H1N1)", Ingenium: Revista de la Facultad de Ingeniería, Universidad de San Buenaventura, vol. 11, no. 21, 2010.
- [47] D. Rodriguez, L. Torres, "Models of spatio-temporal dynamics in malaria", Ecological Modeling, vol. 104, no. 2-3, pp. 231-240, 1997. [https://doi.org/10.1016/S0304-3800\(97\)00135-X](https://doi.org/10.1016/S0304-3800(97)00135-X)
- [48] J. Beier, R. Cantrell, C. Cosner, et al, "The effects of human movement on the persistence of vectors-borne diseases", Journal of theoretical Biology, vol. 258, no. 4-21, pp. 550-560, 2009.
- [49] M. Yang, "A mathematical model for malaria transmission relating global warming and local socioeconomic conditions", Rev. Saúde Pública, vol. 35, no. 3, 2001. <https://doi.org/10.1590/S0034-89102001000300002>
- [50] G. Ngwa, W. Shu, "A mathematical model for endemic malaria with variable human and mosquito population", Mathematical and Computer Modelling, vol. 32, no. 7-8, pp. 747-763, 2000. [https://doi.org/10.1016/S0895-7177\(00\)00169-2](https://doi.org/10.1016/S0895-7177(00)00169-2)
- [51] D. Smith, F. Mckenzie, "Statics and dynamics of malaria infection in Anopheles mosquitoes", Malaria Journal, 2004.
- [52] S. Das, B. Panigrahi, A. Sinha, "A linear State-space analysis of the migration model in an island biogeography system", IEEE Transactions on systems, man and cybernetics, part A: Systems and humans, vol. 41, no. 2, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.jmarsys.2011.04.004>
- [53] F. Maps, S. Plourde, F. Saucier, B. Zakardjian, "Modeling the interactions between the seasonal and diel migration behaviors of Calanus finmarchicus and the circulation in the Gulf of St. Lawrence (Canada)", Journal of Marine Systems, vol. 88, no. 2, pp. 183-202, 2011.
- [54] Z. Liang, L. Lingling, M. Zhenmin, "Study on migration prediction of petroleum hydrocarbon contaminants in groundwater system", Second International conference on environmental and computer science, 2009.

