

Influential Article Review - Based Demographic Predictions with Migration Uncertainty

Whitney Sutton

Shawn Drake

Benjamin Wagner

This paper examines migration. We present insights from a highly influential paper. Here are the highlights from this paper: We produce probabilistic projections of population for all countries based on probabilistic projections of fertility, mortality, and migration. We compare our projections to those from the United Nations' Probabilistic Population Projections, which uses similar methods for fertility and mortality but deterministic migration projections. We find that uncertainty in migration projection is a substantial contributor to uncertainty in population projections for many countries. Prediction intervals for the populations of Northern America and Europe are over 70% wider, whereas prediction intervals for the populations of Africa, Asia, and the world as a whole are nearly unchanged. Out-of-sample validation shows that the model is reasonably well calibrated. For our overseas readers, we then present the insights from this paper in Spanish, French, Portuguese, and German.

Keywords: Bayesian hierarchical model, international migration, predictive distribution, United Nations, World Population Prospects

SUMMARY

- Alternative approaches would be to attempt to model both in- and out-migration for all countries, or to model the complete bilateral flow table. We chose to model net migration because it is the only reasonably reliable form of migration data for many countries. Estimates of past and current net migration can be produced with residual methods in countries where births, deaths, and population change can be estimated. In contrast, more detailed forms of migration data are challenging to estimate accurately, even in European countries where population registers exist.
- Our predictions are conditional on the autoregressive models we use to project fertility, mortality, and migration. A key feature of our migration model is stationarity, which is a practical assumption that disallows dramatic, systematic growth of migration rates over the next century. Out-of-sample validation over short time periods suggests that we are not substantially understating uncertainty in the short run by failing to account for model uncertainty.
- By modeling migration as an autoregressive process, we have not explicitly included many factors known to influence migration. Our migration model does not specify that projected migration must respect current migration quotas or that current countries of net in-migration should remain net

receivers. As a result, our migration projections are occasionally different from current migration quotas, recent trends in migration, or both. Although it is tempting to think that the present state of affairs will persist indefinitely into the future, dramatic shifts in migration can and do happen. We do not incorporate knowledge of migration quotas, because these quotas do change over time, as is happening with European Union quotas in the wake of Syria's refugee crisis.

HIGHLY INFLUENTIAL ARTICLE

We used the following article as a basis of our evaluation:

Azose, J. J., Ševčíková, H., & Raftery, A. E. (2016). Probabilistic population projections with migration uncertainty. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 113(23), 6460–6465.

This is the link to the publisher's website:

<https://www.pnas.org/content/113/23/6460>

INTRODUCTION

In this paper we describe a method for probabilistic projection of population for all countries, with a focus on accounting for uncertainty in projections of international migration. In particular, we are motivated by the needs of the United Nations (UN) Population Division in producing population projections for all countries until 2100 based on projections of fertility, mortality, and migration.

A variety of forces contribute to the ebb and flow of international migration. Economic theories at varying levels of granularity indicate that migration flows can arise from individual attempts to maximize income (1, 2), household-level mitigation of risk (3, 4), or differences in global supply and demand for labor (5, 6). Individuals decide to migrate based on an assessment of push and pull factors (7), which may include migration policy (8), geopolitical conflict (9), and quality of the natural environment (10, 11). Networks of migrants provide a feedback mechanism such that migration flows tend to perpetuate themselves over time (12, 13). Bijak (14) gives a thorough overview of theories and models of international migration. Despite their acknowledged role in driving migration, our model does not make use of push and pull factors, economic or otherwise, as covariates. Such factors are largely too difficult to predict in the long term to be of use. Instead, we appeal to the inertia of self-perpetuating migration patterns by modeling migration as an autoregressive process.

Historically, most methods for projecting population have been deterministic. If the current population is known, broken down by age and sex, and future age- and sex-specific rates are projected for fertility, mortality, and migration, then the cohort-component method produces population projections (15). However, the UN Population Division now produces probabilistic projections of population, fertility, and mortality for all countries, but these projections still condition on deterministic migration projections (16, 17). The current methodology in the UN's World Population Prospects (WPP) differs from country to country but typically projects that net migration counts will remain constant until 2050 and drop deterministically to zero by 2150 (17). A deterministic gravity model that assumes migration is proportional to population size raised to some power (18, 19) is more flexible than the simpler WPP migration projections but still lacks quantification of uncertainty. Probabilistic population projection models that account for migration uncertainty have been developed for a small number of countries, typically only those with good data (20). Our method produces projections for all countries.

In many countries, migration is a substantial driver of population change. By failing to account for uncertainty about future migration, the current projection methodology understates the uncertainty in population projections.

We have developed a probabilistic methodology for projecting net migration for all countries (21). Based on this, we have developed a method for projecting populations for all countries by age and sex that takes account of uncertainty about migration. The method ensures that migration balances across the globe

in all sex and age groups and that the large labor migration flows to and from the countries of the Arabian Peninsula are projected appropriately so that projected migration to the Gulf States does not substantially drive down projected migration in all other countries.

CONCLUSION

Alternative approaches would be to attempt to model both in- and out-migration for all countries, or to model the complete bilateral flow table. We chose to model net migration because it is the only reasonably reliable form of migration data for many countries. Estimates of past and current net migration can be produced with residual methods in countries where births, deaths, and population change can be estimated. In contrast, more detailed forms of migration data are challenging to estimate accurately, even in European countries where population registers exist (25).

A strength of the Bayesian framework is that it allows projections to incorporate expert judgment in a principled way. Although our migration model puts diffuse prior distributions on model parameters, expert judgment takes the form of thresholds on results, which can be viewed as a prior on model output. Details of these thresholds are given in SI Appendix.

Our predictions are conditional on the autoregressive models we use to project fertility, mortality, and migration. A key feature of our migration model is stationarity, which is a practical assumption that disallows dramatic, systematic growth of migration rates over the next century. Out-of-sample validation over short time periods suggests that we are not substantially understating uncertainty in the short run by failing to account for model uncertainty.

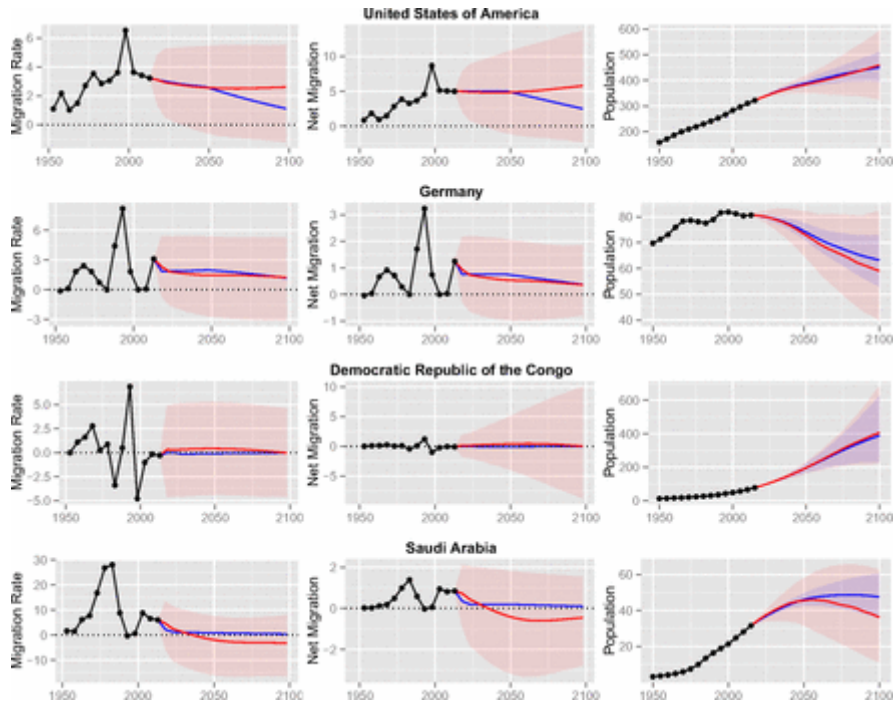
By modeling migration as an autoregressive process, we have not explicitly included many factors known to influence migration. To include these factors would require forecasting them in the long term, which is difficult. The autoregressive model forecasts future migration in terms of current and past migration, which may be viewed as implicitly incorporating the history of these factors. Also, in light of the lack of a comprehensive theory of migration (26), an empirical approach may be desirable (14).

Our migration model does not specify that projected migration must respect current migration quotas or that current countries of net in-migration should remain net receivers. As a result, our migration projections are occasionally different from current migration quotas, recent trends in migration, or both. Although it is tempting to think that the present state of affairs will persist indefinitely into the future, dramatic shifts in migration can and do happen. We do not incorporate knowledge of migration quotas, because these quotas do change over time, as is happening with European Union quotas in the wake of Syria's refugee crisis. Furthermore, our migration model gives results consistent with the historical frequency with which countries switch between being net senders and net receivers of migrants (21).

One common trend in historical migration data is that a refugee out-migration is often followed by a large return migration. An ideal migration model would be able to replicate this phenomenon. Such refugee movements are hard to model and especially hard to predict, but finding a way to include them might improve our migration model.

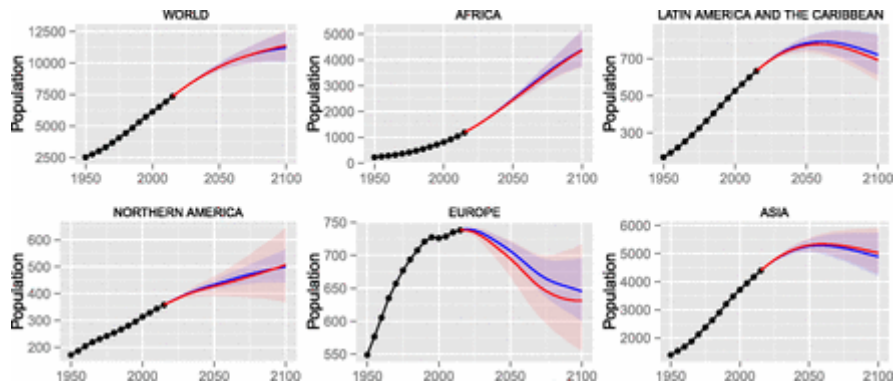
APPENDIX

FIGURE 1
PROJECTED NET MIGRATION RATE



Projected net migration rate (net annual migrants per thousand individuals), net migration count (5-year count, in millions of individuals), and population (in millions of individuals) for the United States, Germany, the Democratic Republic of the Congo, and Saudi Arabia. Probabilistic projections (in red) show the median and 80% prediction interval. Projections from WPP 2015 (in blue) are deterministic for the migration quantities (Left and Center).

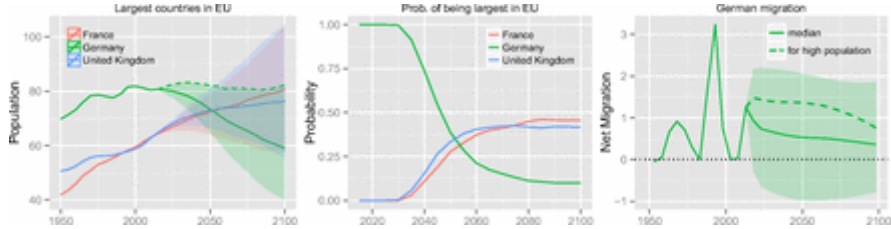
FIGURE 2
REGIONAL POPULATION PROJECTIONS



Regional population projections (in millions) with median projections and 80% prediction intervals. Projections including probabilistic migration projections shown in red, and projections with deterministic migration projections in blue.

FIGURE 3

**POPULATION OF FRANCE, GERMANY, AND THE UNITED KINGDOM, WITH MEDIAN PROJECTION AND 80% PREDICTION INTERVAL
PREDICTED PROBABILITIES OF BEING THE LARGEST OF THE CURRENT EUROPEAN UNION (EU) MEMBER STATES
NET MIGRATION (5-YEAR COUNT, MILLIONS OF MIGRANTS) FOR GERMANY**



(Left) Population (in millions) of France, Germany, and the United Kingdom, with median projection and 80% prediction interval. (Center) Predicted probabilities of being the largest of the current European Union (EU) member states. (Right) Net migration (5-year count, millions of migrants) for Germany. From 2020 to 2100, median (solid line) and 80% prediction interval (shaded area). Dashed line is the median net migration among trajectories that match the upper bound of the 80% prediction interval for Germany’s population shown as the dashed line in (Left).

**TABLE 1
PROPORTION OF VARIANCE IN POPULATION PROJECTION EXPLAINED BY
VARIANCE IN MIGRATION PROJECTIONS**

Region	Proportion of variability (%)		
	2025	2050	2100
World	0.4	1.0	2.2
Africa	48	25	11
Latin America and the Caribbean	28	30	25
Northern America	82	84	82
Europe	75	75	64
Asia	7.5	6.9	18
Oceania	90	91	90

**TABLE 2
OUT-OF-SAMPLE VALIDATION OF PROJECTIONS OF POPULATION AND MIGRATION,
2000–2015**

			Coverage, %	
Model	MARE	SAPE	80% PI	95% PI
Population				
All probabilistic	0.053	0.90	79	92
True TFR and e_{0e0}	0.048	0.83	78	92
True migration	0.017	0.98	77	92
Persistent migration	0.057	2.32	43	58
Median migration	0.059	2.45	43	53
Migration				
	MAE	SAPE	80% PI	95% PI
All probabilistic	0.024	0.66	85	94
True TFR and e_{0e0}	0.024	0.65	85	94
Persistent migration	0.025	—	—	—
Median migration	0.025	—	—	—

Coverage refers to the proportion of the 2000–2015 observations that fell within their prediction interval (PI), in percent. All evaluation occurs on the 201 countries included in WPP 2015 (17). MAE, mean absolute error; MARE, mean absolute relative error; SAPE, standardized absolute prediction error.

REFERENCES

- Abel GJ (2010) Estimation of international migration flow tables in Europe. *J R Stat Soc Ser A Stat Soc* 173(4):797–825.
- Alkema L, et al. (2011) Probabilistic projections of the total fertility rate for all countries. *Demography* 48(3):815–839.
- Arango J (2000) Explaining migration: A critical view. *Int Soc Sci J* 52(165):283–296.
- Azose JJ, Raftery AE (2015) Bayesian probabilistic projection of international migration. *Demography* 52(5):1627–1650.
- Bijak J (2010) *Forecasting International Migration in Europe: A Bayesian View* (Springer, New York).

- Bijak J, Kupiszewska D, Kupiszewski M (2008) Replacement migration revisited: Simulations of the effects of selected population and labor market strategies for the aging Europe, 2002–2052. *Popul Res Policy Rev* 27(3):321–342.
- Castles S (2003) Towards a sociology of forced migration and social transformation. *Sociology* 37(1):13–34.
- Cohen JE, Roig M, Reuman DC, GoGwilt C (2008) International migration beyond gravity: A statistical model for use in population projections. *Proc Natl Acad Sci USA* 105(40):15269–15274.
- Die Welt (2015) 965.000 Flüchtlinge bis Ende November in Deutschland. Available at www.welt.de/politik/deutschland/article149700433/965-000-Fluechtlinge-bis-Ende-November-in-Deutschland.html. Accessed April 19, 2016.
- Gans J, Replogle EM, Tichenor DJ, Brown SK, Bean FD (2012) Population growth. *Debates on U.S. Immigration*, eds Gans J, Replogle EM, Tichenor DJ (SAGE, Thousand Oaks, CA), pp 348–364.
- Harris JR, Todaro MP (1970) Migration, unemployment and development: A two-sector analysis. *Am Econ Rev* 60(1):126–142.
- Hatton TJ, Williamson JG (1998) *The Age of Mass Migration: Causes and Economic Impact* (Oxford Univ Press, Oxford).
- Kim K, Cohen JE (2010) Determinants of international migration flows to and from industrialized countries: A panel data approach beyond gravity. *Int Migr Rev* 44(4):899–932.
- Lee ES (1966) A theory of migration. *Demography* 3(1):47–57.
- Lee RD (1998) Probabilistic approaches to population forecasting. *Popul Dev Rev* 24(Suppl):156–190.
- Leslie PH (1945) On the use of matrices in certain population mathematics. *Biometrika* 33(3):183–212.
- Massey DS (1990) Social structure, household strategies, and the cumulative causation of migration. *Popul Index* 56(1):3–26.
- Massey DS, Espinosa KE (1997) What's driving Mexico-US migration? A theoretical, empirical, and policy analysis. *Am J Sociol* 102(4):939–999.
- Myers N (2002) Environmental refugees: A growing phenomenon of the 21st century. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci* 357(1420):609–613.
- Portes A, Walton J (1981) *Labor, Class, and the International System* (Academic, New York).
- Raftery AE, Chunn JL, Gerland P, Ševčíková H (2013) Bayesian probabilistic projections of life expectancy for all countries. *Demography* 50(3):777–801.
- Raftery AE, Lalic N, Gerland P (2014) Joint probabilistic projection of female and male life expectancy. *Demogr Res* 30:795–822.
- Raftery AE, Li N, Ševčíková H, Gerland P, Heilig GK (2012) Bayesian probabilistic population projections for all countries. *Proc Natl Acad Sci USA* 109(35):13915–13921.
- Reuveny R, Moore WH (2009) Does environmental degradation influence migration? Emigration to developed countries in the late 1980s and 1990s. *Soc Sci Q* 90(3):461–479.
- Schoen R, Ševčíková H, Li N, Kantorová V, Gerland P, Raftery AE (2016) Age-specific mortality and fertility rates for probabilistic population projections. *Dynamic Demographic Analysis*, ed Schoen R (Springer, New York), pp 285–310.
- Ševčíková H, Alkema L, Raftery AE (2011) bayesTFR: An R package for probabilistic projections of the total fertility rate. *J Stat Softw* 43(1):1–29.
- Ševčíková H, Raftery A (2015) bayesLife: Bayesian projection of life expectancy. R package version 3.0-0 (Univ of Washington, Seattle).
- Ševčíková H, Raftery A, Buettner T (2016) bayesPop: Probabilistic population projection. R package version 6.0-0 (Univ of Washington, Seattle)
- Ševčíková H, Raftery A, Gerland P (2013) Bayesian probabilistic population projections: Do it yourself. Available at paa2014.princeton.edu/papers/141301. Accessed April 19, 2016.
- Sjaastad LA (1962) The costs and returns of human migration. *J Polit Econ* 70(5, Part 2):80–93.
- Stark O (1991) *The Migration of Labor* (Blackwell, Oxford).
- Stark O, Bloom DE (1985) The new economics of labor migration. *Am Econ Rev* 75(2):173–178.
- United Nations (2015) *World Population Prospects: The 2015 Revision* (United Nations, New York).

Wallerstein I (1974) *The Modern World System: Capitalist Agriculture and the Origins of the European World Economy in the Sixteenth Century* (Academic, New York)
Wiśniowski A, Smith PWF, Bijak J, Raymer J, Forster JJ (2015) Bayesian population forecasting: Extending the Lee-Carter method. *Demography* 52(3):1035–1059.

TRANSLATED VERSION: SPANISH

Below is a rough translation of the insights presented above. This was done to give a general understanding of the ideas presented in the paper. Please excuse any grammatical mistakes and do not hold the original authors responsible for these mistakes.

VERSION TRADUCIDA: ESPAÑOL

A continuación se muestra una traducción aproximada de las ideas presentadas anteriormente. Esto se hizo para dar una comprensión general de las ideas presentadas en el documento. Por favor, disculpe cualquier error gramatical y no responsabilite a los autores originales de estos errores.

INTRODUCCIÓN

En este documento describimos un método para la proyección probabilística de la población para todos los países, con un enfoque en la contabilidad de la incertidumbre en las proyecciones de la migración internacional. En particular, estamos motivados por las necesidades de la División de Población de las Naciones Unidas (ONU) en la producción de proyecciones de población para todos los países hasta 2100 sobre la base de proyecciones de fertilidad, mortalidad y migración.

Una variedad de fuerzas contribuyen al flujo de migración internacional. Las teorías económicas en diferentes niveles de granularidad indican que los flujos migratorios pueden surgir de intentos individuales de maximizar los ingresos (1, 2), la mitigación del riesgo a nivel de los hogares (3, 4) o las diferencias en la oferta y la demanda mundiales de mano de obra (5, 6). Las personas deciden migrar sobre la base de una evaluación de los factores de empuje y tracción (7), que pueden incluir la política de migración (8), el conflicto geopolítico (9) y la calidad del medio natural (10, 11). Las redes de migrantes proporcionan un mecanismo de retroalimentación de tal manera que los flujos migratorios tienden a perpetuarse a lo largo del tiempo (12, 13). Bijak (14) ofrece una visión completa de las teorías y modelos de migración internacional. A pesar de su reconocido papel en la conducción de la migración, nuestro modelo no hace uso de factores de empuje y tracción, económicos o de otro tipo, como covariables. Estos factores son en gran medida demasiado difíciles de predecir a largo plazo para ser útil. En su lugar, apelamos a la inercia de los patrones de migración autopropetuos modelando la migración como un proceso autoregresivo.

Históricamente, la mayoría de los métodos para proyectar población han sido deterministas. Si se conoce a la población actual, desglosada por edad y sexo, y se proyectan tasas futuras específicas de edad y sexo para la fertilidad, la mortalidad y la migración, entonces el método de componente de cohorte produce proyecciones de población (15). Sin embargo, la División de Población de las Naciones Unidas ahora produce proyecciones probabilísticas de población, fertilidad y mortalidad para todos los países, pero estas proyecciones siguen condicionada a las proyecciones migratorias deterministas (16, 17). La metodología actual en las Perspectivas Mundiales de Población (WPP) de las Naciones Unidas difiere de un país a otro, pero normalmente proyecta que el recuento neto de migración se mantendrá constante hasta 2050 y caerá de forma determinista a cero para 2150 (17). Un modelo de gravedad determinista que asume que la migración es proporcional al tamaño de la población elevado a cierta potencia (18, 19) es más flexible que las proyecciones de migración WPP más simples, pero todavía carece de cuantificación de la incertidumbre. Se han desarrollado modelos de proyección de población probabilística que tienen en cuenta la incertidumbre migratoria para un pequeño número de países, normalmente sólo aquellos con buenos datos (20). Nuestro método produce proyecciones para todos los países.

En muchos países, la migración es un factor importante del cambio demográfico. Al no tener en cuenta la incertidumbre sobre la migración futura, la metodología de proyección actual subestima la incertidumbre en las proyecciones de población.

Hemos desarrollado una metodología probabilística para proyectar la migración neta para todos los países (21). Basándonos en esto, hemos desarrollado un método para proyectar poblaciones para todos los países por edad y sexo que tenga en cuenta la incertidumbre sobre la migración. El método garantiza que la migración se equilibre en todo el mundo en todos los grupos de sexo y edad y que los grandes flujos migratorios laborales hacia y desde los países de la Península Arábiga se proyecte adecuadamente para que la migración proyectada a los Estados del Golfo no conduzca sustancialmente a la migración proyectada en todos los demás países.

CONCLUSIÓN

Los enfoques alternativos serían intentar modelar tanto la migración de entrada como la salida para todos los países, o modelar la tabla de flujo bilateral completa. Elegimos modelar la migración neta porque es la única forma razonablemente fiable de datos de migración para muchos países. Las estimaciones de la migración neta pasada y actual se pueden producir con métodos residuales en países donde se pueden estimar los nacimientos, las muertes y el cambio de población. Por el contrario, las formas más detalladas de datos migratorios son difíciles de estimar con precisión, incluso en los países europeos donde existen registros de población (25).

Una fortaleza del marco bayesiano es que permite que las proyecciones incorporen el juicio experto de una manera de principios. Aunque nuestro modelo de migración pone distribuciones anteriores difusas en los parámetros del modelo, el juicio experto adopta la forma de umbrales en los resultados, que se pueden ver como un antes en la salida del modelo. Los detalles de estos umbrales se indican en el Apéndice SI.

Nuestras predicciones están condicionadas a los modelos autoregresivos que utilizamos para proyectar la fertilidad, la mortalidad y la migración. Una característica clave de nuestro modelo de migración es la estacionariedad, que es una suposición práctica que no permite un crecimiento dramático y sistemático de las tasas de migración durante el próximo siglo. La validación fuera de la muestra en períodos de tiempo cortos sugiere que no estamos sustancialmente por debajo de la incertidumbre en el corto plazo al no tener en cuenta la incertidumbre del modelo.

Al modelar la migración como un proceso autoregresivo, no hemos incluido explícitamente muchos factores que se sabe que influyen en la migración. Incluir estos factores requeriría pronosticarlos a largo plazo, lo cual es difícil. El modelo autoregresivo predice la migración futura en términos de migración actual y pasada, que puede considerarse como una incorporación implícita de la historia de estos factores. Además, a la luz de la falta de una teoría integral de la migración (26), puede ser deseable un enfoque empírico (14).

Nuestro modelo de migración no especifica que la migración proyectada debe respetar las cuotas migratorias actuales o que los países actuales de migración neta deben seguir siendo receptores netos. Como resultado, nuestras proyecciones de migración son ocasionalmente diferentes de las cuotas de migración actuales, las tendencias recientes en migración o ambas. Aunque es tentador pensar que la situación actual persistirá indefinidamente en el futuro, los cambios dramáticos en la migración pueden y ocurrirán. No incorporamos el conocimiento de las cuotas migratorias, porque estas cuotas cambian con el tiempo, como está sucediendo con las cuotas de la Unión Europea a raíz de la crisis de refugiados de Siria. Además, nuestro modelo de migración da resultados coherentes con la frecuencia histórica con la que los países cambian entre ser emisores netos y receptores netos de migrantes (21).

Una tendencia común en los datos históricos de migración es que una salida de refugiados es a menudo seguida por una gran migración de retorno. Un modelo de migración ideal sería capaz de replicar este fenómeno. Estos movimientos de refugiados son difíciles de modelar y especialmente difíciles de predecir, pero encontrar una manera de incluirlos podría mejorar nuestro modelo migratorio.

TRANSLATED VERSION: FRENCH

Below is a rough translation of the insights presented above. This was done to give a general understanding of the ideas presented in the paper. Please excuse any grammatical mistakes and do not hold the original authors responsible for these mistakes.

VERSION TRADUITE: FRANÇAIS

Voici une traduction approximative des idées présentées ci-dessus. Cela a été fait pour donner une compréhension générale des idées présentées dans le document. Veuillez excuser toutes les erreurs grammaticales et ne pas tenir les auteurs originaux responsables de ces erreurs.

INTRODUCCIÓN

En este documento describimos un método para la proyección probabilística de la población para todos los países, con un enfoque en la contabilidad de la incertidumbre en las proyecciones de la migración internacional. En particular, estamos motivados por las necesidades de la División de Población de las Naciones Unidas (ONU) en la producción de proyecciones de población para todos los países hasta 2100 sobre la base de proyecciones de fertilidad, mortalidad y migración.

Una variedad de fuerzas contribuye al flujo de migración internacional. Las teorías económicas en diferentes niveles de granularidad indican que los flujos migratorios pueden surgir de intentos individuales de maximizar los ingresos (1, 2), la mitigación del riesgo a nivel de los hogares (3, 4) o las diferencias en la oferta y la demanda mundiales de mano de obra (5, 6). Las personas deciden migrar sobre la base de una evaluación de los factores de empuje y tracción (7), que pueden incluir la política de migración (8), el conflicto geopolítico (9) y la calidad del medio natural (10, 11). Las redes de migrantes proporcionan un mecanismo de retroalimentación de tal manera que los flujos migratorios tienden a perpetuarse a lo largo del tiempo (12, 13). Bijak (14) ofrece una visión completa de las teorías y modelos de migración internacional. A pesar de su reconocido papel en la conducción de la migración, nuestro modelo no hace uso de factores de empuje y tracción, económicos o de otro tipo, como covariables. Estos factores son en gran medida demasiado difíciles de predecir a largo plazo para ser útil. En su lugar, apelamos a la inercia de los patrones de migración autopetuas modelando la migración como un proceso autoregresivo.

Históricamente, la mayoría de los métodos para proyectar población han sido deterministas. Si se conoce a la población actual, desglosada por edad y sexo, y se proyectan tasas futuras específicas de edad y sexo para la fertilidad, la mortalidad y la migración, entonces el método de componente de cohorte produce proyecciones de población (15). Sin embargo, la División de Población de las Naciones Unidas ahora produce proyecciones probabilísticas de población, fertilidad y mortalidad para todos los países, pero estas proyecciones siguen condicionada a las proyecciones migratorias deterministas (16, 17). La metodología actual en las Perspectivas Mundiales de Población (WPP) de las Naciones Unidas difiere de un país a otro, pero normalmente proyecta que el recuento neto de migración se mantendrá constante hasta 2050 y caerá de forma determinista a cero para 2150 (17). Un modelo de gravedad determinista que asume que la migración es proporcional al tamaño de la población elevado a cierta potencia (18, 19) es más flexible que las proyecciones de migración WPP más simples, pero todavía carece de cuantificación de la incertidumbre. Se han desarrollado modelos de proyección de población probabilística que tienen en cuenta la incertidumbre migratoria para un pequeño número de países, normalmente sólo aquellos con buenos datos (20). Nuestro método produce proyecciones para todos los países.

En muchos países, la migración es un factor importante del cambio demográfico. Al no tener en cuenta la incertidumbre sobre la migración futura, la metodología de proyección actual subestima la incertidumbre en las proyecciones de población.

Hemos desarrollado una metodología probabilística para proyectar la migración neta para todos los países (21). Basándonos en esto, hemos desarrollado un método para proyectar poblaciones para todos los países por edad y sexo que tenga en cuenta la incertidumbre sobre la migración. El método garantiza que la migración se equilibre en todo el mundo en todos los grupos de sexo y edad y que los grandes flujos

migratorios laborales hacia y desde los países de la Península Arábiga se proyecte adecuadamente para que la migración proyectada a los Estados del Golfo no conduzca sustancialmente a la migración proyectada en todos los demás países.

CONCLUSIÓN

Los enfoques alternativos serían intentar modelar tanto la migración de entrada como la salida para todos los países, o modelar la tabla de flujo bilateral completa. Elegimos modelar la migración neta porque es la única forma razonablemente fiable de datos de migración para muchos países. Las estimaciones de la migración neta pasada y actual se pueden producir con métodos residuales en países donde se pueden estimar los nacimientos, las muertes y el cambio de población. Por el contrario, las formas más detalladas de datos migratorios son difíciles de estimar con precisión, incluso en los países europeos donde existen registros de población (25).

Una fortaleza del marco bayesiano es que permite que las proyecciones incorporen el juicio experto de una manera de principios. Aunque nuestro modelo de migración pone distribuciones anteriores difusas en los parámetros del modelo, el juicio experto adopta la forma de umbrales en los resultados, que se pueden ver como un antes en la salida del modelo. Los detalles de estos umbrales se indican en el Apéndice SI.

Nuestras predicciones están condicionadas a los modelos autoregresivos que utilizamos para proyectar la fertilidad, la mortalidad y la migración. Una característica clave de nuestro modelo de migración es la estacionariedad, que es una suposición práctica que no permite un crecimiento dramático y sistemático de las tasas de migración durante el próximo siglo. La validación fuera de la muestra en períodos de tiempo cortos sugiere que no estamos sustancialmente por debajo de la incertidumbre en el corto plazo al no tener en cuenta la incertidumbre del modelo.

Al modelar la migración como un proceso autoregresivo, no hemos incluido explícitamente muchos factores que se sabe que influyen en la migración. Incluir estos factores requeriría pronosticarlos a largo plazo, lo cual es difícil. El modelo autoregresivo predice la migración futura en términos de migración actual y pasada, que puede considerarse como una incorporación implícita de la historia de estos factores. Además, a la luz de la falta de una teoría integral de la migración (26), puede ser deseable un enfoque empírico (14).

Nuestro modelo de migración no especifica que la migración proyectada debe respetar las cuotas migratorias actuales o que los países actuales de migración neta deben seguir siendo receptores netos. Como resultado, nuestras proyecciones de migración son ocasionalmente diferentes de las cuotas de migración actuales, las tendencias recientes en migración o ambas. Aunque es tentador pensar que la situación actual persistirá indefinidamente en el futuro, los cambios dramáticos en la migración pueden y ocurrirán. No incorporamos el conocimiento de las cuotas migratorias, porque estas cuotas cambian con el tiempo, como está sucediendo con las cuotas de la Unión Europea a raíz de la crisis de refugiados de Siria. Además, nuestro modelo de migración da resultados coherentes con la frecuencia histórica con la que los países cambian entre ser emisores netos y receptores netos de migrantes (21).

Una tendencia común en los datos históricos de migración es que una salida de refugiados es a menudo seguida por una gran migración de retorno. Un modelo de migración ideal sería capaz de replicar este fenómeno. Estos movimientos de refugiados son difíciles de modelar y especialmente difíciles de predecir, pero encontrar una manera de incluirlos podría mejorar nuestro modelo migratorio.

TRANSLATED VERSION: GERMAN

Below is a rough translation of the insights presented above. This was done to give a general understanding of the ideas presented in the paper. Please excuse any grammatical mistakes and do not hold the original authors responsible for these mistakes.

ÜBERSETZTE VERSION: DEUTSCH

Hier ist eine ungefähre Übersetzung der oben vorgestellten Ideen. Dies wurde getan, um ein allgemeines Verständnis der in dem Dokument vorgestellten Ideen zu vermitteln. Bitte entschuldigen Sie alle grammatikalischen Fehler und machen Sie die ursprünglichen Autoren nicht für diese Fehler verantwortlich.

EINLEITUNG

In diesem Beitrag beschreiben wir eine Methode zur probabilistischen Projektion der Bevölkerung für alle Länder, wobei der Schwerpunkt auf der Berücksichtigung von Unsicherheiten in Projektionen der internationalen Migration liegt. Insbesondere sind wir durch die Bedürfnisse der Bevölkerungsabteilung der Vereinten Nationen (UN) motiviert, Bevölkerungsprognosen für alle Länder bis zum Jahr 2100 auf der Grundlage von Prognosen über Fruchtbarkeit, Sterblichkeit und Migration zu erstellen.

Eine Vielzahl von Kräften trägt zur Ebbe und Flut der internationalen Migration bei. Wirtschaftstheorien auf unterschiedlichen Granularitätsstufen deuten darauf hin, dass Migrationsströme aus individuellen Versuchen zur Maximierung des Einkommens (1, 2), risikomindernden Risiken auf Haushaltsebene (3, 4) oder Unterschieden bei Angebot und Nachfrage nach Arbeitskräften auf globaler Ebene entstehen können (5, 6). Einzelpersonen entscheiden sich für die Migration auf der Grundlage einer Bewertung von Push- und Pull-Faktoren (7), die Migrationspolitik (8), geopolitische Konflikte (9) und die Qualität der natürlichen Umwelt umfassen können (10, 11). Netzwerke von Migranten bieten einen Rückkopplungsmechanismus, so dass sich die Migrationsströme im Laufe der Zeit verewigen (12, 13). Bijak (14) gibt einen umfassenden Überblick über Theorien und Modelle der internationalen Migration. Trotz ihrer anerkannten Rolle bei der Förderung der Migration nutzt unser Modell keine Push-and-Pull-Faktoren, ob wirtschaftlich oder nicht, als Kovariaten. Solche Faktoren sind auf lange Sicht weitgehend zu schwer vorherzusagen, um von Nutzen zu sein. Stattdessen appellieren wir an die Trägheit selbstverewigender Migrationsmuster, indem wir Migration als autoregressiven Prozess modellieren.

Historisch gesehen waren die meisten Methoden zur Projektion der Bevölkerung deterministisch. Wenn die aktuelle Bevölkerung bekannt ist, aufgeschlüsselt nach Alter und Geschlecht, und zukünftige alters- und geschlechtsspezifische Raten für Fruchtbarkeit, Sterblichkeit und Migration projiziert werden, dann erzeugt die Kohortenkomponentenmethode Bevölkerungsprojektionen (15). Die UN-Bevölkerungsabteilung erstellt jetzt jedoch probabilistische Projektionen von Bevölkerung, Fruchtbarkeit und Sterblichkeit für alle Länder, aber diese Projektionen sind immer noch auf deterministischen Migrationsprojektionen (16, 17) zurück. Die derzeitige Methodik in den Weltbevölkerungsaussichten der Vereinten Nationen (WPP) unterscheidet sich von Land zu Land, aber in der Regel gehen die Projekte davon aus, dass die Nettozuwanderungszahlen bis 2050 konstant bleiben und bis 2150 deterministisch auf Null sinken (17). Ein deterministisches Gravitationsmodell, bei dem davon ausgegangen wird, dass die Migration proportional zur Bevölkerungsgröße ist, die auf eine gewisse Leistung erhöht wird (18, 19), ist flexibler als die einfacheren WPP-Migrationsprojektionen, aber es fehlt immer noch die Quantifizierung der Unsicherheit. Probabilistische Bevölkerungsprojektionsmodelle, die die Migrationsunsicherheit berücksichtigen, wurden für eine kleine Anzahl von Ländern entwickelt, in der Regel nur für Länder mit guten Daten (20). Unsere Methode erstellt Projektionen für alle Länder.

In vielen Ländern ist die Migration ein wesentlicher Treiber des Bevölkerungswandels. Da die Unsicherheit über die künftige Migration nicht berücksichtigt wird, unterschätzt die aktuelle Projektionsmethode die Unsicherheit in den Bevölkerungsprojektionen.

Wir haben eine probabilistische Methodik entwickelt, um die Nettomigration für alle Länder zu projizieren (21). Auf dieser Grundlage haben wir eine Methode entwickelt, um die Bevölkerung für alle Länder nach Alter und Geschlecht zu projizieren, die der Unsicherheit über Migration Rechnung trägt. Die Methode stellt sicher, dass die Migrationsbilanzen weltweit in allen Geschlechter- und Altersgruppen ausgeglichen werden und dass die großen Arbeitsmigrationen in die und aus den Ländern der Arabischen Halbinsel angemessen projiziert werden, so dass die projizierte Migration in die Golfstaaten die projizierte Migration in allen anderen Ländern nicht wesentlich nach unten treibt.

SCHLUSSFOLGERUNG

Alternative Ansätze wären der Versuch, sowohl die In- als auch die Auswanderung für alle Länder zu modellieren oder die vollständige bilaterale Strömungstabelle zu modellieren. Wir haben uns für die Modellierung der Nettomigration entschieden, da sie für viele Länder die einzige einigermaßen zuverlässige Form von Migrationsdaten ist. Schätzungen der früheren und aktuellen Nettomigration können mit Restmethoden in Ländern erstellt werden, in denen Geburten, Todesfälle und Bevölkerungsveränderungen geschätzt werden können. Im Gegensatz dazu sind detailliertere Formen von Migrationsdaten selbst in europäischen Ländern, in denen Bevölkerungsregister existieren, schwierig, genau abzuschätzen (25).

Eine Stärke des bayesischen Rahmens besteht darin, dass Projektionen es ermöglichen, expertenweise in prinzipiell zu berücksichtigen. Obwohl unser Migrationsmodell diffuse Vorverteilungen auf Modellparameter setzt, erfolgt das Expertenurteil in Form von Schwellenwerten für Ergebnisse, die als vorherige Modellausgabe betrachtet werden können. Einzelheiten zu diesen Schwellenwerten sind im SI-Anhang aufgeführt.

Unsere Vorhersagen sind an die autoregressiven Modelle geknüpft, die wir verwenden, um Fruchtbarkeit, Sterblichkeit und Migration zu projizieren. Ein wesentliches Merkmal unseres Migrationsmodells ist die Stationarität, eine praktische Annahme, die ein dramatisches, systematisches Wachstum der Migrationsraten im nächsten Jahrhundert nicht zulässt. Die Validierung aneben über kurze Zeiträume deutet darauf hin, dass wir die Unsicherheit kurzfristig nicht wesentlich unterschätzen, indem wir die Modellunsicherheit nicht berücksichtigen.

Durch die Modellierung der Migration als autoregressiven Prozess haben wir nicht explizit viele Faktoren berücksichtigt, die die Migration beeinflussen. Um diese Faktoren einzubeziehen, wäre es erforderlich, sie langfristig vorherzusagen, was schwierig ist. Das autoregressive Modell prognostiziert die zukünftige Migration in Bezug auf die aktuelle und vergangene Migration, die als implizite Einbeziehung der Geschichte dieser Faktoren angesehen werden kann. Angesichts des Fehlens einer umfassenden Migrationstheorie (26) kann ein empirischer Ansatz wünschenswert sein (14).

Unser Migrationsmodell legt nicht fest, dass die projizierte Migration die aktuellen Migrationsquoten respektieren muss oder dass die derzeitigen Länder der Nettozuwanderung Nettoempfänger bleiben sollten. Infolgedessen unterscheiden sich unsere Migrationsprognosen gelegentlich von den aktuellen Migrationsquoten, den jüngsten Migrationstrends oder beidem. Obwohl es verlockend ist zu glauben, dass der gegenwärtige Stand der Dinge auch in Zukunft unbegrenzt anhalten wird, können und tun dramatische Verschiebungen in der Migration. Wir nehmen keine Kenntnisse über Migrationsquoten auf, weil sich diese Quoten im Laufe der Zeit ändern, wie es bei den Quoten der Europäischen Union im Gefolge der syrischen Flüchtlingskrise der Fall ist. Darüber hinaus liefert unser Migrationsmodell Ergebnisse, die mit der historischen Häufigkeit übereinstimmen, mit der Länder zwischen Nettosendern und Nettoempfängern von Migranten wechseln (21).

Ein häufiger Trend in historischen Migrationsdaten ist, dass auf eine Auswanderung von Flüchtlingen häufig eine große Rückführungsmigration folgt. Ein ideales Migrationsmodell wäre in der Lage, dieses Phänomen zu replizieren. Solche Flüchtlingsbewegungen sind schwer zu modellieren und besonders schwer vorherzusagen, aber einen Weg zu finden, sie einzubeziehen, könnte unser Migrationsmodell verbessern.

TRANSLATED VERSION: PORTUGUESE

Below is a rough translation of the insights presented above. This was done to give a general understanding of the ideas presented in the paper. Please excuse any grammatical mistakes and do not hold the original authors responsible for these mistakes.

VERSÃO TRADUZIDA: PORTUGUÊS

Aqui está uma tradução aproximada das ideias acima apresentadas. Isto foi feito para dar uma compreensão geral das ideias apresentadas no documento. Por favor, desculpe todos os erros gramaticais e não responsabilize os autores originais responsáveis por estes erros.

INTRODUÇÃO

Neste artigo descrevemos um método de projeção probabilística da população para todos os países, com foco na contabilização da incerteza nas projeções da migração internacional. Em particular, estamos motivados pelas necessidades da Divisão populacional das Nações Unidas (ONU) na produção de projeções populacionais para todos os países até 2100, com base em projeções de fertilidade, mortalidade e migração.

Uma variedade de forças contribuem para o fluxo da migração internacional. Teorias económicas em diferentes níveis de granularidade indicam que os fluxos migratórios podem surgir de tentativas individuais de maximizar o rendimento (1, 2), mitigação do risco ao nível das famílias (3, 4), ou diferenças na oferta e procura de mão de obra globais (5, 6). Os indivíduos decidem migrar com base numa avaliação dos fatores de impulso e de atração (7), que podem incluir a política de migração (8), o conflito geopolítico (9) e a qualidade do ambiente natural (10, 11). As redes de migrantes fornecem um mecanismo de feedback de modo a que os fluxos migratórios tendam a perpetuar-se ao longo do tempo (12, 13). Bijak (14) dá uma visão geral completa das teorias e modelos da migração internacional. Apesar do seu reconhecido papel na condução da migração, o nosso modelo não recorre a fatores de pressão e de puxar, económicos ou não, como covariates. Estes fatores são, em grande parte, demasiado difíceis de prever a longo prazo para serem utilizados. Em vez disso, apelamos à inércia dos padrões de migração auto-perpetuando-se modelando a migração como um processo autoregressivo.

Historicamente, a maioria dos métodos para projetar a população têm sido deterministas. Se a população atual for conhecida, discriminada por idade e sexo, e as futuras taxas de idade e sexo específicas são projetadas para fertilidade, mortalidade e migração, então o método coorte-componente produz projeções populacionais (15). No entanto, a Divisão populacional das Nações Unidas produz atualmente projeções probabilísticas de população, fertilidade e mortalidade para todos os países, mas estas projeções ainda condicionam as projeções de migração determinísticas (16, 17). A metodologia atual nas Perspetivas Mundiais da População (PPM) das Nações Unidas difere de país para país, mas normalmente os projetos que a contagem líquida de migração permanecerão constantes até 2050 e descem deterministicamente para zero em 2150 (17). Um modelo de gravidade determinista que pressupõe que a migração seja proporcional ao tamanho da população elevada a alguma potência (18, 19) é mais flexível do que as projeções de migração mais simples do WPP, mas ainda carece de quantificação da incerteza. Foram desenvolvidos modelos de projeção da população probabilística que representam a incerteza migratória para um pequeno número de países, tipicamente apenas aqueles com bons dados (20). O nosso método produz projeções para todos os países.

Em muitos países, a migração é um importante motor da mudança populacional. Ao não ter em conta a incerteza sobre a migração futura, a atual metodologia de projeção subestima a incerteza nas projeções da população.

Desenvolvemos uma metodologia probabilística para projetar a migração líquida para todos os países (21). Com base nisto, desenvolvemos um método para projetar populações para todos os países por idade e sexo que tenha em conta a incerteza em relação à migração. O método garante que os equilíbrios migratórios em todo o mundo em todos os sexos e faixas etárias e que os grandes fluxos de migração laboral de e para os países da Península Arábica sejam projetados de forma adequada, de modo a que a migração projetada para os Estados do Golfo não impulsione substancialmente a migração projetada em todos os outros países.

CONCLUSÃO

As abordagens alternativas seriam tentar modelar tanto a migração dentro como a out-migração para todos os países, ou modelar a tabela de fluxos bilaterais completa. Optámos por modelar a migração líquida porque é a única forma razoavelmente fiável de dados de migração para muitos países. As estimativas da

migração líquida passada e atual podem ser produzidas com métodos residuais em países onde podem ser estimados nascimentos, mortes e mudanças populacionais. Em contrapartida, formas mais pormenorizadas de dados sobre migrações são desafiantes a estimar com precisão, mesmo nos países europeus onde existem registos populacionais (25).

Uma força do quadro bayesiano é que permite que as projeções incorporem o julgamento de um perito de uma forma de princípio. Embora o nosso modelo de migração coloque distribuições anteriores difusas nos parâmetros do modelo, o julgamento dos especialistas assume a forma de limiares sobre os resultados, que podem ser vistos como um prior na saída do modelo. Os detalhes destes limiares são dados no apêndice SI.

As nossas previsões estão condicionais aos modelos autoregressivos que usamos para projetar fertilidade, mortalidade e migração. Uma característica fundamental do nosso modelo de migração é a estação, que é um pressuposto prático que não permite um crescimento dramático e sistemático das taxas de migração ao longo do próximo século. A validação fora da amostra durante curtos períodos de tempo sugere que não estamos a subestimar substancialmente a incerteza a curto prazo, não tendo em conta a incerteza do modelo.

Ao modelar a migração como um processo autoregressivo, não incluímos explicitamente muitos fatores conhecidos por influenciar a migração. Incluir estes fatores exigiria a sua previsão a longo prazo, o que é difícil. O modelo autoregressivo prevê a migração futura em termos de migração corrente e passada, que pode ser vista como incorporando implicitamente a história destes fatores. Além disso, à luz da falta de uma teoria abrangente da migração (26), uma abordagem empírica pode ser desejável (14).

O nosso modelo de migração não especifica que a migração projetada deve respeitar as atuais quotas de migração ou que os atuais países de migração líquida devem continuar a ser recetores líquidos. Como resultado, as nossas projeções de migração são ocasionalmente diferentes das atuais quotas de migração, tendências recentes na migração, ou ambas. Embora seja tentador pensar que a situação atual persistirá indefinidamente no futuro, as mudanças dramáticas na migração podem e acontecem. Não incorporamos conhecimentos das quotas de migração, porque estas quotas mudam ao longo do tempo, como acontece com as quotas da União Europeia na sequência da crise dos refugiados na Síria. Além disso, o nosso modelo de migração apresenta resultados consistentes com a frequência histórica com que os países alternam entre serem remetentes líquidos e recetores líquidos de migrantes (21).

Uma tendência comum nos dados históricos da migração é que uma migração de refugiados é frequentemente seguida por uma grande migração de retorno. Um modelo de migração ideal seria capaz de replicar este fenómeno. Estes movimentos de refugiados são difíceis de modelar e especialmente difíceis de prever, mas encontrar uma forma de os incluir pode melhorar o nosso modelo de migração.