

AGRICULTURA DE AUTOSUFICIENCIA Y AGRICULTURA COMERCIAL: COMPARACIÓN DE SISTEMAS ALIMENTARIOS INDÍGENAS FRENTE AL CAMBIO CLIMÁTICO EN GUATEMALA

Julien Jean Malard-Adam, Jan Adamowski, Hugo Melgar-Quiñonez,
Héctor Tuy*

Resumen

La agricultura de pequeña escala desempeña un papel fundamental en la seguridad alimentaria y la nutrición de un gran número de hogares urbanos y comunidades indígenas y campesinas. Esta agricultura también representa una diversidad importante de cultivos y de sistemas socioeconómicos, lo

* Julien Jean Malard-Adam es doctor en Ingeniería de biorrecursos, por la Universidad McGill, Canadá; investigador permanente en el Instituto Francés de Investigación para el Desarrollo de la Universidad de Montpellier, Francia [UMR G-Eau, IRD, Université de Montpellier, France], y profesor asociado de la Dirección de Educación de Extensión Agrícola de la Universidad Agrícola de Tamil Nadu (Coimbatore, Tamil Nadu, India). Jan Franklin Adamowski (PhD, Environmental Engineering, Warsaw Technical University) es doctor en ingeniería ambiental, por la Universidad Tecnológica de Varsovia, profesor e investigador destacado William Dawson Scholar, del Departamento de Ingeniería de Biorrecursos de la Facultad de Ciencias Agrícolas y Ambientales de la Universidad McGill (Canadá), profesor adjunto del Instituto para el Agua, el Medio Ambiente y la Salud de la Universidad de las Naciones Unidas (Canadá), profesor invitado del Departamento de Ingeniería ambiental de la Universidad de Beijing y presidente de la Sociedad Canadiense de Bioingeniería. Hugo Melgar-Quiñonez es doctor en medicina por la Universidad Friedrich Schiller (Jena, Alemania), profesor-investigador del Instituto Margaret A. Gilliam para la Seguridad Alimentaria Global, de la Universidad McGill (Canadá). Héctor Tuy es especialista en Manejo de Recursos Forestales por la Universidad de San Carlos de Guatemala y la Universidad de Virginia Occidental (Estados Unidos) y en Silvicultura en los Trópicos y Subtrópicos por la Universidad de Georg-August (Gotinga, Baja Sajonia, Alemania), coordinador técnico del Programa de Adaptación del Desarrollo Rural al Cambio Climático (Adaptate) de la Sociedad Alemana para la Cooperación Internacional (GIZ), socio de Naleb' y Asies, *co-chair* de la Red Internacional de Evaluación Indígena (EvalIndigenous-LAC).

cual hace de la comparación y del análisis de la sostenibilidad de la misma un problema particularmente complejo. En este artículo se aplica un modelo de dinámicas de sistemas conectado a un modelo de cultivos externo al problema del análisis de diferentes políticas para enfrentarse a la intersección de los cambios climáticos con eventos repentinos socioeconómicos potenciales en dos sistemas distintos de agricultura indígena a pequeña escala en Guatemala, uno enfocado en la agricultura de autosuficiencia y otro en la producción comercial. Este modelo, desarrollado de manera participativa con actores clave de ambas regiones, representa las dinámicas complejas entre componentes ambientales, económicos y sociales de los sistemas agrícolas. Los resultados del análisis sugieren que el sistema de autosuficiencia queda más vulnerable a las pérdidas de empleos, pero que tiene más resiliencia hacia las fluctuaciones de precios agrícolas. Al mismo tiempo, el establecimiento de un salario mínimo más alto mejoraría varios indicadores de bienestar en el sistema agrícola, incluso de variables ambientales. Estos resultados no se hubieran podido obtener sin la aplicación de una metodología participativa de modelización de dinámicas de sistemas conectada con un modelo externo de cultivos.

Palabras clave: dinámicas de sistemas, indicadores de bienestar, metodología participativa, producción agrícola, resiliencia.

Self-sufficient and commercial agriculture: Comparison of indigenous food systems in the face of climate change in Guatemala

Abstract

Small-scale agriculture plays a fundamental role in the food security and nutrition of a large number of urban households and indigenous and peasant communities. Indigenous self-sufficient as well as commercial farming food systems also represent a significant diversity of crops and socio-economic systems, making the comparison and sustainability analysis of these a particularly complex problem. In this article, a system dynamics model connected to an external cropping model is applied to the problem of analyzing different policies to address the intersection of climate change with potential socioeconomic shocks in two different small-scale indigenous agricultural systems in Guatemala. This model, developed in a participatory manner with key stakeholders from both study regions, represents the complex dynamics between environmental, economic, and social

components of agricultural systems. The results of the analysis suggest that the self-sufficient system is more vulnerable to job losses, but that it is more resilient towards fluctuations in agricultural prices. At the same time, the establishment of a higher minimum wage would improve several indicators of well-being in the agricultural system, including environmental variables. These results could not have been obtained without the application of a participatory methodology for modeling a coupled system dynamics and external crop model.

Key words: system dynamics, well-being indicators, participatory methodology, agricultural production, resilience.

Introducción

La situación actual de inseguridad alimentaria es particularmente severa para los productores y productoras agrícolas a pequeña escala, tanto en Guatemala¹ como en el mundo en general². En este contexto, varios proyectos de desarrollo rural han intentado mejorar las condiciones económicas, ambientales, agrícolas y sociales de las comunidades, y se hace sentir la necesidad de desarrollar metodologías participativas para evaluarlos de manera integral y sensible a la complejidad de los sistemas socioambientales.

Estos proyectos, a pesar de sus filosofías de desarrollo frecuentemente divergentes, intentan todos influenciar los sistemas socioeconómicos y ambientales locales en dirección positiva. Por esta razón, se beneficiarían del desarrollo de una metodología aplicada para la comparación de distintos métodos utilizados para lograr la meta de mejorar la resiliencia de proyectos existentes y para formular recomendaciones para informar sobre proyectos y políticas futuras.

Las metodologías de evaluación basadas en medidas técnicas, ambientales o económicas, tanto como evaluaciones de impactos finales de proyectos, siguen siendo predominantes en el tema de la evaluación de proyectos de desarrollo rural o agrícola.

1 Julien J. Malard-Adam *et al.*, «Relación entre la diversidad pecuaria y la seguridad alimentaria de pequeños productores agropecuarios en Guatemala», *Revista Eutopía* 3, núm. 6 (2018). <http://recursosbiblio.url.edu.gt/CParens/Revista/Eutopia/Numeros/6/02/6.pdf>

2 Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) *et al.*, *Building climate resilience for food security and nutrition. The state of food security and nutrition in the world 2018* (Roma: FAO, 2018).

Se pueden presentar como ejemplos de ello varios estudios que analizan el potencial económico y la factibilidad técnica de propuestas de desarrollo comunitario en varias regiones de Guatemala, tales como la hotelería³, la captura de agua de lluvia⁴, la gestión agrícola⁵ y la adopción de semillas híbridas⁶. En el tema económico, otros estudios de América han estimado el potencial económico de varios proyectos, incluso de un plan de desarrollo económico integrado para un municipio de Guatemala⁷, tanto como de la agricultura urbana en Colombia⁸. Es importante mencionar que varios de estos⁹ igualmente incluyeron un componente de impactos ambientales potenciales.

Otros estudios se enfocaron más en la evaluación de impactos siguiendo la implementación de un proyecto, tal como el reporte sobre la utilización de la metodología participativa de «fotohistorias», para la evaluación de un proyecto de fortalecimiento de capacidades comunitarias en la comunidad tzeltal mexicana¹⁰, y la evaluación de talleres comunitarios sobre la alimentación en el contexto de una intervención social, igualmente en México¹¹.

- 3 Maidelyn C. Barrera Martínez, «Estudio de la factibilidad para la implementación de un complejo hotelero ecológico, en el parque Senderos de Alux, para el desarrollo sostenible y crecimiento turístico de la comunidad de San Lucas Sacatepéquez» (tesis de licenciatura, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2012). http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_2563_IN.pdf
- 4 José A. Barillas Quezada, «Diseño de un sistema de captación de agua lluvia por medio de aljibe para el área de la aldea Xayá, municipio de Santa Lucía Cotzumalguapa, departamento de Escuintla, Guatemala» (tesis de licenciatura, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2018). http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0034_A.pdf
- 5 Oscar A. Valenzuela Pos, «Análisis de la gestión colectiva de la comunidad indígena de Palín, con énfasis en el uso y manejo de los recursos naturales en la finca comunal “El Chilar”, Palín, Escuintla, Guatemala, C.A.» (tesis de licenciatura, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2013). http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/01/01_2856.pdf
- 6 Roberto Valdivia Bernal *et al.*, «Desarrollo participativo de híbridos sintéticos de maíz y producción de semilla por agricultores». *Agricultura Técnica en México* 33, núm. 2 (2007).
- 7 Rolando Chubay Gallina *et al.*, «Diagnóstico socioeconómico, potencialidades productivas y propuestas de inversión: Municipio de Santa María Nebaj, Departamento de Quiché». Informe de práctica supervisada, Universidad de San Carlos de Guatemala. 2010. http://biblioteca.usac.edu.gt/EPS/03/03_0756_v1.pdf
- 8 Hidalgo *et al.*, «Sociodemographic, cultural, environmental and agroecological characterization in order to adopt urban agriculture in the municipality of Tuluá, Colombia». *WSEAS Transactions on Environment and Development* 16 (2020): 67-83. <https://doi.org/10.37394/232015.2020.16.8>
- 9 Barrera, «Estudio de la factibilidad»; Valenzuela, «Análisis de la gestión colectiva»; Hidalgo *et al.*, «Sociodemographic, cultural, environmental».
- 10 Ricardo Gomez *et al.*, «Lekil Cuxlejilil Ta Comonaletic Tzeltal Maya Ta Chiapas». SSRN Scholarly Paper ID 3400421. Rochester, NY: Social Science Research Network, 2017. <https://papers.ssrn.com/abstract=3400421>
- 11 Amaya-Castellanos *et al.*, «Implementación de un modelo de capacitación multimedial para brindar orientación alimentaria a los beneficiarios de un programa de ayuda social en México», *Global Health Promotion* 26, núm. 4 (2019): 118-129. <https://doi.org/10.1177/1757975917751908>

En el contexto de evaluación de proyectos de desarrollo, los sistemas agrícolas se ven frecuentemente evaluados según índices de desempeño, sean ambientales, agrónomos o económicos. En este cuadro se ubicarían el estudio de Moeller *et al.*¹², en el cual fue evaluada la sostenibilidad de varios sistemas de producción de trigo según una serie de objetivos e indicadores de sostenibilidad, y el sistema de evaluación de sostenibilidad nombrado DEXiPM¹³, el cual contiene 75 distintos indicadores que representan los componentes ambientales, sociales y económicos de la sostenibilidad de los sistemas agrícolas. Otras investigaciones emplearon modelos económicos o regresiones estadísticas¹⁴ para analizar los impactos o los factores explicativos de fenómenos tales como la seguridad alimentaria o la adopción de tecnologías por las comunidades agrícolas.

A pesar de la utilidad práctica de estas metodologías, su dependencia de conceptualizaciones lineares de los sistemas y de sus causas y efectos limitan su capacidad de analizar las retroalimentaciones potenciales entre componentes ambientales, sociales y económicos de estos sistemas. Asimismo, corren el riesgo de padecer de falta de visión integrada de las dinámicas responsables por el comportamiento de los sistemas que estas mismas intervenciones intentan cambiar. Las relaciones no lineares entre las esferas humanas y ambientales complican el comportamiento de estos sistemas frente a intervenciones y pueden llevar a resultados contraintuitivos¹⁵. Tal como

12 Moeller *et al.*, «Assessing the sustainability of wheat-based cropping systems using simulation modelling: sustainability = 42?», *Sustainability Science* 9, núm. 1 (2014): 1-16, <https://doi.org/10.1007/s11625-013-0228-2>

13 Pelzer *et al.*, «Assessing innovative cropping systems with DEXiPM, a qualitative multi-criteria assessment tool derived from DEXi», *Ecological Indicators* 18 (julio de 2012): 171-182. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2011.11.019>

14 Malard-Adam *et al.*, «Relación entre la diversidad pecuaria»; Ira Matuschke, Ritesh R. Mishra y Matin Qaim, «Adoption and impact of hybrid wheat in India». *World Development* 35, núm. 8 (2007): 1422-1435. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2007.04.005>

15 E. C. Stephens *et al.*, «Modeling the impact of natural resource-based poverty traps on food security in Kenya: The Crops, Livestock and Soils in Smallholder Economic Systems (CLASSES) model», *Food Security* 4, núm. 3 (2012): 423-439. <https://doi.org/10.1007/s12571-012-0176-1>; M. Sarwar Hossain *et al.*, «Participatory modelling for conceptualizing social-ecological system dynamics in the Bangladesh delta», *Regional Environmental Change* 20, 28 (2020). <https://doi.org/10.1007/s10113-020-01599-5>; Azhar Inam *et al.*, «Coupling of a distributed stakeholder-built system dynamics socio-economic model with SAHYSMOD for sustainable soil salinity management. Part 2: Model coupling and application», *Journal of Hydrology* 551 (agosto de 2017b): 278-299. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2017.03.040>

ha sido presentado¹⁶, todo proceso de evaluación se ve influenciado por los sesgos inconscientes de los investigadores, los cuales, además, tienen el potencial de influenciar de manera significativa los resultados y las recomendaciones del proceso. Por lo tanto, la participación de actores clave es de suma importancia para la obtención de resultados representativos de la realidad, así como para hacer recomendaciones apropiadas para la región del estudio.

En este contexto, la modelización participativa, especialmente la de dinámicas de sistemas, tiene un gran potencial para responder a los criterios mencionados aquí. Además, esta metodología está teniendo un número creciente de aplicaciones prácticas en proyectos de análisis de sistemas socioambientales¹⁷, incluso en el análisis de sistemas agrícolas. Entre otras aplicaciones, Hossain *et al.*¹⁸ evaluaron los riesgos que traen los cambios climáticos a las comunidades costeras de Bangladesh con un modelo participativo de dinámicas de sistemas, mientras que Inam *et al.* desarrollaron un modelo, igualmente participativo, de la gestión del agua en el contexto agrícola de la salinización de suelos del Punjab de Pakistán. Modelos de dinámicas de los sistemas también fueron aplicados al análisis de sistemas agro-pastorales en el Sahel¹⁹, tanto como a la seguridad alimentaria y a la

16 E. Packett *et al.*, «Mainstreaming gender into water management modelling processes», *Environmental Modelling and Software* 127 (mayo de 2020), 104683. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2020.104683>

17 Alexey Voinov y Francois Bousquet, «Modelling with stakeholders», *Environmental Modelling & Software*, Thematic Issue—Modelling with Stakeholders 25, núm. 11 (2010): 1268-1281. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2010.03.007>; Benjamin Turner *et al.*, «System dynamics modeling for agricultural and natural resource management issues: Review of some past cases and forecasting future roles», *Resources* 5, núm. 4 (2016): 40. <https://doi.org/10.3390/resources5040040>; Mohammad H. Ahmadi y Mahdi Zarghami, «Should water supply for megacities depend on outside resources? A Monte-Carlo System Dynamics Simulation for Shiraz, Iran», *Sustainable Cities and Society* 44 (enero de 2019): 163-170. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2018.10.007>; Johannes Halbe y Jan Adamowski, «Modeling sustainability visions: A case study of multi-scale food systems in Southwestern Ontario», *Journal of Environmental Management* 231 (febrero de 2019): 1028-1047. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.09.099>

18 Md Sarwar Hossain *et al.*, «Operationalizing safe operating space for regional social-ecological systems», *Science of The Total Environment* 584-585 (abril de 2017): 673-682, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.01.095>; Md Sarwar Hossain *et al.*, «Participatory modelling for conceptualizing social-ecological system dynamics in the Bangladesh delta», *Regional Environmental Change* 20 (2020). <https://doi.org/10.1007/s10113-020-01599-5>

19 Laura V. Rasmussen *et al.*, «A system dynamics approach to land use changes in agro-pastoral systems on the desert margins of Sahel», *Agricultural Systems* 107 (marzo de 2012): 56-64. <https://doi.org/10.1016/j.agisys.2011.12.002>

agricultura a pequeña escala en Kenia²⁰. En América, otras investigaciones²¹ desarrollaron un modelo de dinámicas de sistemas, conectado a un modelo externo de cultivos para representar un sistema agrícola a pequeña escala en Yucatán, México.

La importancia de una verdadera participación en el cuadro de las actividades de modelización ambiental para generar recomendaciones y políticas públicas fue recientemente destacada de manera detallada por Packett *et al.*²² y Villamor *et al.* (2019)²³, quienes ilustran el hecho de que la participación es una herramienta importante para la combinación de distintos puntos de vista que se deriven de conocimientos y experiencias de vida diferentes. Tiene igualmente potencial para disminuir el impacto de los sesgos personales de los científicos –tanto como los de los actores clave– que podrían arriesgar la veracidad de la conceptualización del modelo. En el tema de la participación en Guatemala, Noj Costop²⁴ elaboró un proyecto de cartografía participativa con la meta de favorecer un ordenamiento territorial más inclusivo en el departamento de San Marcos.

En Guatemala, la agricultura a pequeña escala juega un papel importante para la economía y la alimentación de gran parte de la población. Esta agricultura se puede dividir en dos tipologías generales: agricultura de autosuficiencia y agricultura comercial, las cuales difieren de manera importante en sus metas, cultivos y prácticas. Al mismo tiempo, esta agricultura se ve amenazada por los cambios climáticos, con una disminución en la cantidad

20 Emma C. Stephens *et al.*, «Modeling the impact of natural resource-based poverty traps on food security in Kenya: The Crops, Livestock and Soils in Smallholder Economic Systems (CLASSES) model», *Food Security* 4, núm. 3 (2012): 423-439, <https://doi.org/10.1007/s12571-012-0176-1>

21 Ver a David Parsons *et al.*, «Development and evaluation of an integrated simulation model for assessing smallholder crop-livestock production in Yucatán, Mexico», *Agricultural Systems* 104, núm. 1 (2011): 1-12, <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2010.07.006>; y David Parsons *et al.* «Application of a simulation model for assessing integration of smallholder shifting cultivation and sheep production in Yucatán, Mexico», *Agricultural Systems* 104 núm. 1 (2011): 13-19, <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2010.08.006>

22 E. Packett *et al.*, «Mainstreaming gender into water».

23 Grace B. Villamor *et al.*, «Contrasting stakeholder and scientist conceptual models of food-energy-water systems: a case study in Magic Valley, Southern Idaho», *Socio-Environmental Systems Modelling* 2 (octubre de 2019): 16312, <https://doi.org/10.18174/sesmo.2020a16312>

24 Ixchebel N. Noj Costop, «Diseño de una guía metodológica y elaboración de planes indicativos de ordenamiento territorial diagnóstico y servicios en cinco comunidades de la cuenca de los ríos Coatán y Suchiate del departamento de San Marcos, Guatemala, C.A.» (tesis de licenciatura, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2014). http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/01/01_2969.pdf

de precipitación anual al nivel nacional. La frecuencia de sequías extremas igualmente sigue aumentando, con pérdidas ya observadas del ochenta por ciento de cosechas de maíz y frijol²⁵.

Un estudio anterior²⁶ con modelización participativa y cualitativa de ciclos causales concluye que las comunidades agrícolas quedan muy vulnerables a la inseguridad alimentaria, y que las soluciones deben ser sistémicas en vez de aisladas. Al mismo tiempo reporta que la mayoría de los programas contra la inseguridad alimentaria se enfocan en los determinantes inmediatos del problema y no en las causas estructurales, y algunos programas populares tales como la repartición de fertilizantes o de bolsas de alimentos no parecen estar asociados (de manera positiva o negativa) con tasas de desnutrición infantil crónica. Otro estudio de los autores del presente artículo empleó una metodología de modelización participativa para el desarrollo de un modelo de dinámicas de sistemas, aplicado al sistema agroalimentario de Tz'olöj Ya' (Sololá)²⁷. Estos estudios facilitaron la identificación de los ciclos y de las dinámicas clave en la región y de las vulnerabilidades y oportunidades para definir políticas enfocadas en proteger contra los impactos de los cambios climáticos en la agricultura y en los sistemas socioeconómicos conectados.

Estos últimos estudios no analizaron las combinaciones de eventos repentinos climáticos y socioeconómicos, combinaciones que pueden volverse importantes en la determinación de la resiliencia del sistema y de sus respuestas al cambio climático²⁸. Aunque son los cambios climáticos los que estresan el sistema, son los componentes socioeconómicos los que determinarán la severidad del impacto de estos estreses y las oportunidades para la adaptación.

25 Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente [Iarna], Universidad Rafael Landívar, Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), *Perfil del agro y la ruralidad de Guatemala 2014: situación actual y tendencias*. Guatemala: Editorial Cara Parens, 2015.

26 Universidad Rafael Landívar, Instituto de Investigación y Proyección sobre Ambiente Natural y Sociedad, *Análisis sistémico y territorial de la seguridad alimentaria y nutricional en Guatemala*. Ciudad de Guatemala, Guatemala: Universidad Rafael Landívar, 2015.

27 Julien Malard-Adam *et al.*, «Participatory system dynamics modelling for agricultural development and food security: Small-scale agriculture and food systems in Indigenous communities of Tz'olöj Ya' and K'iche' (Guatemala)», [inédito]; Julien Malard-Adam *et al.*, «Couplage d'un modèle des dynamiques des systèmes avec un modèle agricole: développement de politiques pour lutter contre l'insécurité alimentaire face aux changements climatiques dans un système agricole Indigène à petite échelle au Tz'olöj Ya' (Guatemala)», [inédito]; Julien Malard-Adam *et al.*, «Hybrid Bayesian inference-based participatory system dynamics modelling for temporally data-poor regions: small-scale Indigenous agriculture and food systems in Tz'olöj Ya' and K'iche' (Guatemala)», *Vertigo*.

28 Hossain *et al.*, «Operationalizing safe operating space».

En el contexto del presente estudio, se aplica una metodología de modelo de dinámicas de sistemas conectado con un modelo externo de cultivos para analizar el desempeño y la resiliencia, a largo plazo, de diferentes programas de desarrollo agrícola en Guatemala frente a los cambios climáticos combinados con varios eventos repentinos socioeconómicos. Se aplica la metodología a dos estudios de caso, uno (en Concepción, departamento de Sololá –Tz’olöj Ya’–) que sigue un modelo de desarrollo orientado hacia la producción agrícola comercial, y otro (en Chiche’, departamento de Quiché –K’iche’–) con un sistema de desarrollo que prioriza la autosuficiencia alimentaria.

La investigación tuvo como objetivos: (1) analizar la resiliencia de ambos sistemas agrícolas y de conectar esta a sus causas estructurales, mediante la aplicación de una metodología participativa de modelización de dinámicas de los sistemas, y (2) proponer políticas integradas específicas a cada región para mejorar la resiliencia de cada una. Este proyecto es el primero que aplica una metodología participativa de dinámicas de sistemas para comparar proyectos de desarrollo agrícola rural que siguen filosofías de desarrollo distintas.

1. Metodología

La investigación emplea un modelo desarrollado por los autores de este artículo²⁹. El modelo fue desarrollado según la metodología de modelización participativa de dinámicas de los sistemas de Halbe, Pahl-Wostl y Adamowski³⁰, con la participación de actores clave de cada región objeto de estudio de caso (ver sección siguiente). En el transcurso de las entrevistas individuales, se elaboraron diagramas de ciclos causales por cada participante en el proceso de modelización de grupo. Seguidamente, los diagramas cualitativos se combinaron en un modelo cualitativo para cada estudio de caso³¹, y, finalmente, se agregaron en un único modelo cuantitativo³² presentado en el transcurso de varios talleres de modelización de grupo en cada región del estudio.

29 Malard-Adam *et al.*, «Participatory system dynamics modelling»; Malard-Adam *et al.*, «Couplage d’un modèle des dynamiques»; Malard-Adam *et al.*, «Hybrid Bayesian inference-based».

30 Johannes Halbe, Claudia Pahl-Wostl y Jan Adamowski, «A methodological framework to support the initiation, design and institutionalization of participatory modeling processes in water resources management», *Journal of Hydrology* 556 (enero de 2018): 701-716. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2017.09.02>

31 Malard-Adam *et al.*, «Participatory system dynamics modelling».

32 Malard-Adam *et al.*, «Hybrid Bayesian inference-based».

El modelo de dinámicas de sistemas se conectó después con un modelo externo de cultivos, Python Crop Simulation Environment (PCSE)³³, para modelizar el impacto de cambios climáticos sobre la agricultura y la seguridad alimentaria en Tz'olöj Ya'. Esta versión del modelo, adaptada para poder adicionalmente representar el K'iche', es la que se aplicó en el cuadro de este estudio. Esta sección del artículo presenta de manera breve el modelo y su funcionamiento³⁴.

Se efectuaron las simulaciones y los análisis presentados en este estudio con Python 3.7 y el paquete *Tinamit*³⁵.

1.1 Estudios de caso

Este estudio se desarrolló en dos municipios de Guatemala, Concepción (Tz'olöj Ya') y Chiche' (K'iche'), demarcados en la figura 1. La agricultura a pequeña escala es componente central de las economías de ambas regiones, que aun así padecen de niveles muy altos de inseguridad alimentaria y de desnutrición (arriba del 70 %). Al pesar de estas similitudes, cada comunidad sigue una filosofía de desarrollo muy distinta, la primera (Chiche') opta por un desarrollo basado en la producción para la autosuficiencia, y la otra (Concepción), sigue a la vez una agricultura comercial. Estas decisiones llevan a diferencias marcadas en los cultivos predominantes (maíz, frijol y otros cultivos del sistema *awan* –milpa– en el caso del sistema de autosuficiencia; hortalizas y frutas en el caso del sistema comercial), tanto como en las condiciones socioeconómicas que encuadran cada sistema. La producción en Concepción, enfocada en el mercado, utiliza una gran cantidad de insumos químicos y depende en buena parte de la irrigación para producir hortalizas de alto valor monetario en todas las estaciones del año, aunque también producen un poco de milpa para autoconsumo familiar. Al contrario, la producción en Chiche' se enfoca más en la

33 Allard de Wit, «Python Crop Simulation Environment», Python. 2019; C. A. Diepen *et al.*, «WOFOST: A simulation model of crop production», *Soil Use and Management* 5 núm. 1 (1989): 16-24. <https://doi.org/10.1111/j.1475-2743.1989.tb00755.x>

34 Para la descripción completa de su desarrollo ver publicaciones anteriores: Malard-Adam *et al.*, «Participatory system dynamics modelling»; Malard-Adam *et al.*, «Couplage d'un modèle des dynamiques»; Malard-Adam *et al.*, «Hybrid Bayesian inference-based».

35 Julien Malard-Adam *et al.*, «Development of a software tool for rapid, reproducible, and stakeholder-friendly dynamic coupling of system dynamics and physically-based models», *Environmental Modelling & Software* 96 (octubre de 2017): 410-420. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2017.06.053>

producción de cultivos de autoconsumo, en los cuales no se usan tantos insumos químicos y representan un valor menor si se venden en el mercado. Además, la agricultura allí no depende de la irrigación sino de la lluvia, con estaciones de producción agrícola bien demarcadas³⁶.

La totalidad del código, los datos y el modelo necesarios para la reproducción de los resultados presentados aquí está disponible como material suplementario en el doi 10.5281/zenodo.10137682

1.2 Modelo de dinámicas de los sistemas

El modelo de dinámicas de los sistemas, enfocado en los aspectos socioeconómicos de la región, se desarrolló tal como fue presentado en estudios anteriores³⁷. Consiste en módulos económicos, de utilización del territorio, de agricultura (comercial y de subsistencia), de población, y de alimentación y nutrición. Se construyó según un proceso de modelización participativa con diversos actores clave en cada región de estudio. La Figura 2 brinda una descripción visual de la metodología participativa empleada. En el primer paso, los actores elaboraron sus mapas mentales del sistema agroalimentario según la metodología de construcción de diagramas de ciclos causales. Cada actor, en una hoja de papel, identificó las causas tanto como las consecuencias inmediatas e indirectas del problema (inseguridad alimentaria o desnutrición), conectando las variables por flechas marcadas con la polaridad de la relación causal (+ para relaciones proporcionales, y – para relaciones inversas). Es importante notar que estos signos se refieren a la polaridad de una relación entre dos variables individuales, y no al tipo (reforzamiento o equilibrio) de los bucles de retroalimentación que pueden incluir estas variables. Un signo positivo (+) indica que un cambio en la primera variable llevará a un cambio en la misma dirección en la segunda variable (sea un aumento o una disminución), mientras que un signo negativo (–) indica que un aumento en la primera variable causará una disminución en la segunda (y viceversa). Al final del ejercicio, los actores cerraron los ciclos causales por la identificación de procesos

36 Malard-Adam *et al.*, «Participatory system dynamics modelling». La totalidad del código, los datos y el modelo necesarios para la reproducción de los resultados presentados aquí está disponible como material suplementario.

37 Malard-Adam *et al.*, «Couplage d'un modèle des dynamiques»; Malard-Adam *et al.*, «Hybrid Bayesian inference-based».

de retroalimentación entre las consecuencias y las causas del problema. El papel de los entrevistadores se limitó a la explicación del ejercicio y la corrección de errores evidentes (generalmente de polaridad de flechas causales), dejando así los actores individuales libres de construir su modelo según su propia visión del sistema.

Después de la modelización cualitativa por entrevistas individuales (Figura 2, etapas 1 a 3)³⁸, el proyecto siguió con la cuantificación del modelo y con su desarrollo continuo por medio de una serie de talleres de modelización de grupo (Figura 2, etapa 5)³⁹.

Los módulos del modelo final representan diferentes partes del sistema agroalimentario de la región. El módulo de uso de tierra representa la conversión entre tierra forestal, agrícola o de monte. La superficie de tierra agrícola tiene incidencia en las posibilidades de actividad agrícola, la cual, a su vez, por el acceso a alimentos de autoconsumo y por la situación económica, afecta la seguridad alimentaria de la región. El modelo también incluye otras actividades económicas no agrícolas como fuente de ingresos monetarios para los hogares⁴⁰.

El modelo cuantitativo de dinámicas de los sistemas fue ajustado al nivel de sus ecuaciones constituyentes individuales por calibración jerárquica bayesiana espacial. En este proceso, los municipios del país se clasificaron en territorios por características sociales, económicas y ambientales⁴¹. Los datos de variables claves al modelo (tales como nivel educativo y salario promedio) se estimaron al nivel municipal según los datos de la Encuesta Nacional de Condiciones de Vida (Encovi) 2011. La calibración jerárquica a nivel territorial permitió entonces estimar los valores de los parámetros del modelo. La validación del modelo entero se efectuó al nivel municipal con las pocas variables (bosques, desnutrición crónica infantil y población) con datos de series temporales disponibles⁴².

38 Malard-Adam *et al.*, «Participatory system dynamics modelling».

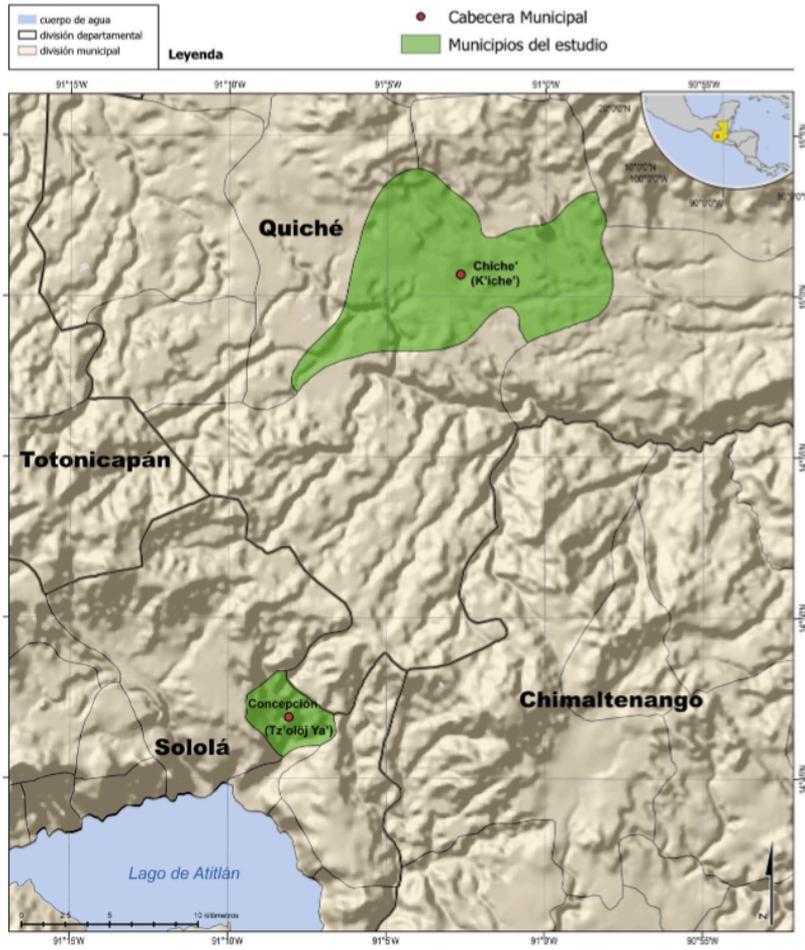
39 Malard-Adam *et al.*, «Couplage d'un modèle des dynamiques».

40 Para más detalles sobre la estructura del modelo, véase Malard-Adam *et al.*, «Hybrid Bayesian inference-based».

41 Iarna-URL y IICA, *Perfil del agro*.

42 Para más detalles sobre el proceso de calibración y de validación, ver Malard-Adam *et al.*, «Hybrid Bayesian inference-based».

Figura 1. Ubicación de los dos municipios estudiados



Fuente: Elaboración propia con base en mapas topográficos del Instituto Geográfico Nacional a escala 1:50,000 y 250,000; Unidad de Planificación Geográfica y Gestión de Riesgo (Uppg-MAGA).

Universidad Rafael Landívar -URL-
Vicerrectoría de Investigación y Proyección
Instituto de Investigación en Ciencia Naturales y Tecnología (Ierna)
Departamento de Ciencias Ambientales
Unidad de Datos e Información Estratégica (UIE)
Fecha de elaboración: junio de 2023



Finalmente, el modelo de dinámicas de sistemas se conectó con el modelo de cultivos PCSE⁴³ con la ayuda de la herramienta de conexión de modelos *Tinamit*⁴⁴, según el proceso descrito en J. Malard-Adam *et al.* (2023)⁴⁵, permitiendo así la realización de simulaciones de interacciones entre agricultura (PCSE) y socioeconomía (dinámicas de sistemas).

43 De Wit, «Python Crop Simulation Environment».

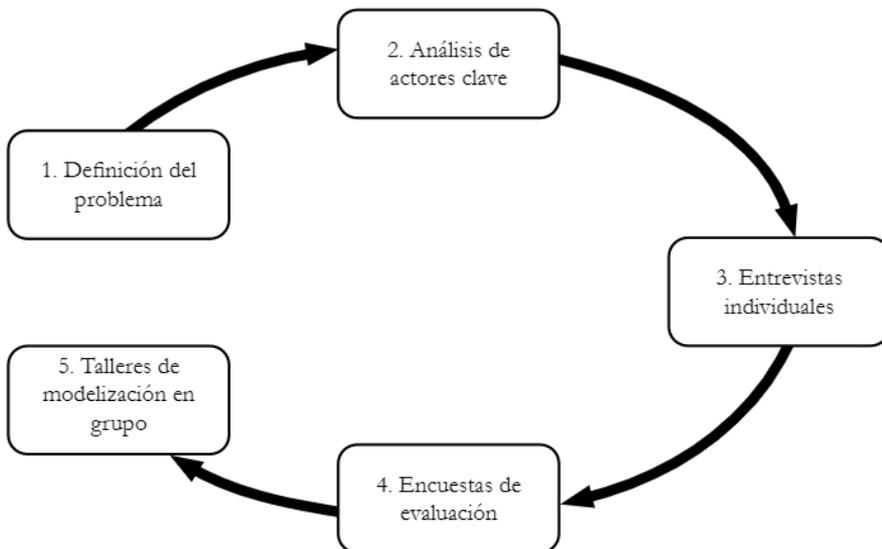
44 Malard-Adam *et al.*, «Development of a software tool».

45 Malard-Adam *et al.*, «Couplage d'un modèle des dynamiques».

Es importante mencionar que el modelo conceptual tiene la misma estructura para modelizar ambas regiones de estudio de caso, habiendo sido construido con base en los diagramas causales de las dos. La diferencia entre las regiones se definió con los valores de las variables iniciales (p. ej., poblaciones, educación, utilización del territorio) y de otros parámetros constantes (p. ej., rendimiento económico de la agricultura y de pequeñas empresas), los cuales fueron estimados con los datos disponibles en la Encovi 2011.

Toda otra diferencia entre las regiones es, entonces, consecuencia directa de estas diferencias iniciales. Por ejemplo, el hecho de que Chiche' se dedique en mucha menor proporción a la agricultura comercial que Concepción no es característica predeterminada del modelo tal como se aplicó a cada región, sino el resultado de diferencias en las oportunidades económicas de la agricultura comercial, las cuales se trasladan a incentivos para las agricultoras y agricultores en el modelo. Esta metodología facilita entonces la modelización de cambios potenciales en los regímenes socioambientales presentes en cada región según las presiones climáticas o socioeconómicas.

Figura 2. Metodología de modelización participativa de J. Malard-Adam *et al.* (2023).



Fuente: elaboración propia.

1.3 Modelo de cultivos

Como fue demostrado por Inam *et al.* (2017a)⁴⁶; J. J. Malard-Adam *et al.* (2017)⁴⁷; Ammar y Davies (2019)⁴⁸, la modelización de dinámicas de los sistemas no brinda una estructura ideal para representar los sistemas ambientales o físicos complejos, y, además, ya existen varios modelos físicos bien adaptados al tema.

Es por esta razón que J. Malard-Adam *et al.* (2023)⁴⁹ desarrollaron un modelo híbrido, en el cual se conectó un modelo externo de cultivos⁵⁰ al modelo de dinámicas de sistemas con la ayuda del programa *Tinamit*⁵¹. En esta configuración, el modelo de cultivos da previsiones anuales de rendimiento de maíz, las cuales se transfieren por *Tinamit* al modelo de dinámicas de sistemas. Este modelo externo se calibró manualmente según la producción de maíz en comparación con la información de desarrollo del mismo cultivo disponible en la región de interés⁵², según la metodología de J. Malard-Adam *et al.* (2023)⁵³. Se calibró el modelo externo de manera independiente para cada región de estudio, porque estas, similitudes aparte, todavía tienen climas y semillas muy distintas.

1.4 Cambios climáticos

Se modelizaron los cambios climáticos según la metodología propuesta por J. Malard-Adam *et al.* (2023a)⁵⁴. Para corregir el sesgo inherente en las previsiones climáticas comparado con los valores observados, se aplicó

46 Inam *et al.*, «Coupling of a distributed stakeholder-built».

47 Malard-Adam *et al.*, «Development of a software tool».

48 M. E. Ammar y E. G. R. Davies, «On the accuracy of crop production and water requirement calculations: Process-based crop modeling at daily, semi-weekly, and weekly time steps for integrated assessments», *Journal of Environmental Management* 238 (2019): 460-472. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.03.030>

49 Malard-Adam *et al.*, «Couplage d'un modèle des dynamiques».

50 PCSE, de Wit, «Python Crop Simulation Environment».

51 Malard-Adam *et al.*, «Development of a software tool».

52 Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (MAGA), «Manual de campo para la identificación de las etapas de desarrollo del frijol en Guatemala y su equivalencia con las fases fenológicas del Sistema de Monitoreo de Cultivos –SMC–», Sistema Mesoamericano de Alerta Temprana para Seguridad Alimentaria (MFEWS). s/f. www.mfew.net

53 Malard-Adam *et al.*, «Couplage d'un modèle des dynamiques».

54 *ibid.*

el proceso de corrección lineal de Luo *et al.* (2018)⁵⁵ a los datos diarios de temperatura, mientras que una modificación del proceso nombrado “Eliminación estocástica de singularidades” de Vrac, Noël, y Vautard (2016)⁵⁶ se combinó con una transformación de potenciación⁵⁷ para corregir los sesgos en la frecuencia y en la intensidad de la precipitación de manera simultánea. El sesgo se corrigió de manera independiente para cada uno de los dos casos de estudio.

Los datos observados se obtuvieron de los datos de observación satelitales NASA POWER⁵⁸, mientras que cada escenario climático se generó por el modelo MarkSim⁵⁹ según las predicciones del Proyecto de Comparación de Modelos Conexos (PCMC fase 5) del Programa Mundial de Investigación sobre el Clima (PMIC).

1.5 Políticas

Para facilitar la comparación de los resultados, las mismas políticas que fueron aplicadas en el estudio de J. Malard-Adam *et al.* (2023a)⁶⁰ se utilizaron en el presente estudio. Estas políticas tienen como meta mejorar la situación nutricional o agrícola de distintas maneras, ya sea mejorando la situación agrícola directamente u ofreciendo mejores oportunidades económicas. Ver la tabla a continuación para una descripción de cada política considerada.

55 Min Luo *et al.*, «Comparing bias correction methods used in downscaling precipitation and temperature from Regional Climate Models: A case study from the Kaidu River Basin in Western China», *Water* 10 núm. 8 (2018): 1046. <https://doi.org/10.3390/w10081046>

56 Mathieu Vrac, Thomas Noël y Robert Vautard, «Bias Correction of Precipitation through Singularity Stochastic Removal: Because Occurrences Matter», *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 121 núm. 10 (2016): 5237-5258. <https://doi.org/10.1002/2015JD024511>

57 Luo *et al.*, «Comparing bias correction methods»; Malard-Adam *et al.*, «Couplage d'un modèle des dynamiques».

58 POWER Project, «POWER Data», Estados Unidos de América: NASA Langley Research Center, s/f.

59 Peter G. Jones y Philip K. Thornton, «MarkSim: Software to generate daily weather data for Latin America and Africa», *Agronomy Journal* 92 núm. 3 (2000): 445-453. <https://doi.org/10.2134/agronj2000.923445x>

60 Malard-Adam *et al.*, «Couplage d'un modèle des dynamiques».

Tabla 1. Políticas aplicadas al modelo

| Política | Descripción | Implementación en el modelo |
|-------------------------------------|--|--|
| Reforestación | Programa de reforestación a largo plazo | Reforestación humana = 50 ha/año |
| Autosuficiencia productos agrícolas | Producción local, a costo menor, de insumos agrícolas | Gastos agrícolas = gastos agrícolas * 0.75 |
| Compras de grupo | Costo menor de insumos agrícolas por la compra por mayor | Gastos agrícolas = gastos agrícolas * 0.85 |
| Huertos familiares | Utilización de huertos familiares para subvenir a las necesidades alimentarias de las familias | Meta autosuficiencia = 0.9 |
| Mejores salarios | Aumento real del salario mínimo | Salario mínimo = 20 Q/h |
| Educación | Educación universal | Progreso escolar = 1 |

Fuente: elaboración propia.

1.6 Escenarios climáticos y socioeconómicos

Se aplicó, a cada una de las 6 políticas propuestas, una combinación de 5 escenarios climáticos (0, 2.6, 4.5, 6.0 y 8.5, donde cada número corresponde a un escenario del PCMC fase 5 y el 0 indica la ausencia de cambio climático) y de 5 eventos socioeconómicos repentinos, generando así un total de 210 simulaciones para cada municipio del estudio. Este análisis más profundo permite medir los impactos sobre la sostenibilidad de las políticas propuestas, de las interacciones entre condiciones fuera del control de los actores clave y los escenarios climáticos futuros potenciales.

La Tabla 2 describe los eventos repentinos aplicados al modelo. La mayoría de las políticas propuestas (reforestación ecológica con especies nativas, autosuficiencia de insumos agrícolas, huertos familiares, y educación) resultan de proposiciones formuladas por los actores clave en el transcurso de los talleres de modelización participativa.

Tabla 2. Eventos socioeconómicos repentinos aplicados al modelo

| Evento | Descripción | Implementación en el modelo |
|---------------------------|--|--|
| Agrocomercial | Pérdida de mercados para la producción agrícola comercial | Rendimiento agrícola comercial = 0 |
| Económico | Crisis económica que lleva a una disminución sistemática en los salarios | Máx. salario = 20 Q/h |
| Empleo | Crisis económica que lleva a una pérdida de la mitad de la capacidad de empleo | Disponibilidad empleos = 0.5 |
| Inflación | Aumento de los precios de alimentos | Inflación precios = 1.5 |
| Agrocomercial y económico | Combinación de los eventos agrocomerciales y económicos | Rendimiento agrícola comercial = 0; Disponibilidad empleos = 0.5 |

Fuente: elaboración propia.

Estos eventos repentinos fueron escogidos por su importancia socioeconómica para los sistemas agrícolas locales. Cada evento afecta una variable a la frontera del modelo, donde el modelo al nivel municipal termina y donde por consecuencia debe apoyarse sobre suposiciones, implícitas o no, del estado del sistema exterior. La aplicación de eventos repentinos a estos niveles permite evaluar la resiliencia del sistema modelizado hacia condiciones externas sobre las cuales el modelo no tiene poder predictivo.

Por ejemplo, tres eventos repentinos (económico, agrocomercial y la combinación de los dos) tratan de los cambios desfavorables que podrían ocasionarse en los mercados agrícolas y laborales. El evento de empleos, por su lado, simula una disminución dramática en la capacidad de la región para sostener empleos remunerados, lo cual podría resultar de una crisis económica de nivel nacional o supranacional. Por fin, el choque de inflación simula un incremento en el costo de los alimentos, eventualidad probable en el caso de una pérdida de cultivos generalizada en el país o en el caso de una crisis económica internacional, tal fue el caso a nivel mundial en 2008.

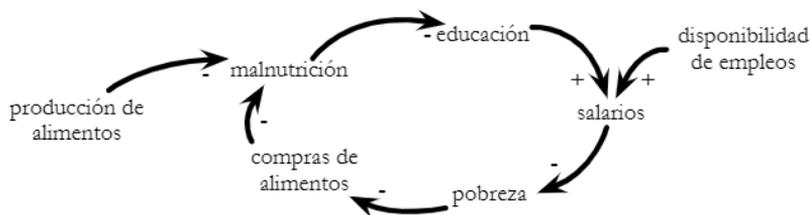
Esta metodología permite igualmente el análisis comparativo de los dos sistemas alimentarios, sistemas que, notemos, se representan por el mismo

modelo informático que difiere únicamente en los valores iniciales y en las definiciones de algunas constantes externas (tales como, el rendimiento económico de la agricultura comercial) en cada región.

2. Resultados y discusión

En los municipios de Concepción, Tz'olöj Ya', y Chiche', K'iche', los eventos económicos repentinos, de inflación de precios y la pérdida de empleos se revelaron como los más perjudiciales para la nutrición. Esto se puede explicar por el ciclo de retroacción entre educación, pobreza y malnutrición (Figura 3). Mientras que una mejor educación podría mejorar otras variables conexas y empujar el sistema hacia un estado más favorable, estos tres eventos repentinos tienen cada uno el potencial de ocasionar el efecto opuesto sobre el sistema, y de impedir que la región salga de la pobreza. Estos resultados coinciden con los encontrados anteriormente⁶¹, donde reportaron que la falta de acceso a la educación es un factor importante que impide el progreso en seguridad alimentaria en Guatemala.

Figura 3. Diagrama de ciclos causales representando la relación entre la malnutrición y la economía



Fuente: elaboración propia.

Al contrario, ambas políticas de salario mínimo y de educación universal pueden disminuir la malnutrición en la ausencia de otro evento. No obstante, de estas dos, únicamente el salario mínimo queda resiliente frente a eventos económicos repentinos (incluso la inflación y la pérdida de empleos). Tal como se muestra en la Figura 3, una intervención educativa queda vulnerable a problemas de orden económico, mientras que un salario mínimo afecta

61 Iarna-URL y IICA, *Perfil del agro*.

el problema de manera más directa. Ambos procesos requieren el papel dinámico de participación del Estado mediante la política económica.

La educación presenta igualmente un cierto atraso en su modalidad de acción (deben pasar varios años para que la educación de los niños hoy lleve a su entrada en un mercado del trabajo más favorable), mientras que una intervención de salario mínimo tiene efecto de manera inmediata. Lo que también demanda intervención de la política económica y social.

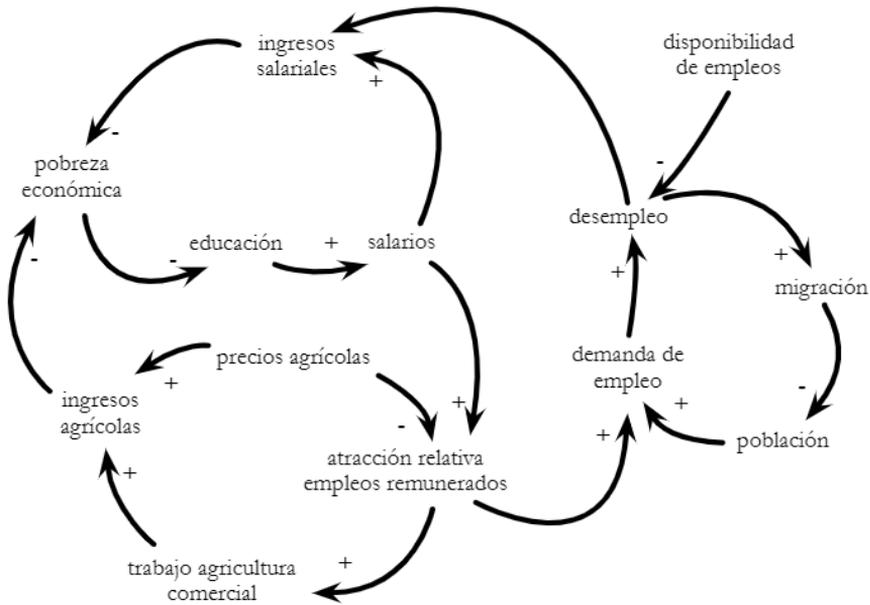
La gran mayoría de las políticas ambientales y agrícolas, por su parte, quedaron más vulnerables a los cambios climáticos combinados con eventos económicos repentinos en la región de Concepción. De un punto de vista relativo a la misma política aplicada a un escenario sin cambios climáticos, la política de autosuficiencia por huertos familiares mostró tendencia más vulnerable que el escenario sin intervención. Parece que una dependencia mayor de la agricultura en tiempos de cosechas inseguras tiende a aumentar la vulnerabilidad del sistema.

La migración, de su lado, queda vulnerable a eventos repentinos agrocomerciales y de empleos, estos dos últimos aumentando la cantidad de migración de manera dramática. Los huertos familiares, por su lado, aumentan la resistencia de la migración hacia un choque agrocomercial, probablemente por la importancia más grande de la autosuficiencia en comparación a la producción comercial.

Los cambios climáticos en Concepción aumentaron de manera particularmente fuerte el impacto de los eventos repentinos de empleo y agrocomercial sobre la migración, porque estos dos afectan el sector económico sobre el cual las poblaciones ya no podrán apoyarse en caso de pérdida de cultivos.

Además, Chiche', donde la agricultura comercial tiene menor importancia, se ve, sin sorpresa, completamente protegido de los impactos de precios agrícolas (ver Figura 4). No obstante, una menor dependencia sobre los sistemas comerciales aumenta también el riesgo de migración siguiendo una pérdida de empleos, dado que las alternativas económicas del sector agrícola se ven limitadas (Figura 4).

Figura 4. Diagrama de ciclos causales representando las dinámicas económicas del sistema agroalimentario



Fuente: elaboración propia.

Es interesante mencionar que en Concepción, mejores salarios y mejor educación disminuyeron la migración en el caso de un evento de empleos o agrocomercial, pero lo aumentó en los otros escenarios. No obstante, estas migraciones no son «migraciones forzadas» por cambios climáticos y otra crisis, sino el resultado de personas con el potencial de ganar mejores ingresos saliendo de las regiones rurales en la búsqueda de empleos.

En cuanto a la pobreza, un salario mínimo lleva a una reducción general, mientras que la educación lleva a un impacto similar en la mayoría de los casos, pero con el riesgo de aumentar la pobreza en el caso de un evento económico en Concepción, efecto ocasionado por la transición a una economía menos agrícola y más dependiente del sistema económico.

En el caso de los cambios climáticos, podría ser sorprendente ver que más cambios llevan a menos pobreza. No obstante, esta disminución en la pobreza, tal como ha sido medida, no significa necesariamente un

evento positivo; al contrario, puede ser el impacto de pérdidas agrícolas que imponen a las personas la búsqueda de un empleo y así quedar acompañada del aumento en la malnutrición debido a una pérdida en la capacidad de la gente de producir su propia comida. Estos resultados destacan la importancia de evaluar varios indicadores en los análisis de modelización socioeconómica, y de quedar siempre vigilantes frente a resultados potencialmente engañosos o contraintuitivos a primera vista.

Del lado ambiental, la reforestación ofrece evidentemente un impacto positivo sobre la cobertura forestal, pero un aumento en el salario mínimo da efectos más robustos hacia los cambios socioeconómicos. Aunque los cambios climáticos pueden disminuir el impacto de un salario mínimo sobre la cobertura forestal, los impactos del salario mínimo aun así serán superiores a los ocasionados por la reforestación, incluso con el escenario de cambios climáticos máximo de 8.5. Por su lado, la educación es efectiva como política, pero resulta muy vulnerable a un evento económico, cuando la comunidad vuelve a un sistema económico basado en la agricultura.

En Chiche', donde la agricultura comercial es menor, el impacto de una intervención de salario mínimo sobre cada variable es más importante, y además más resiliente, a diferentes eventos socioeconómicos repentinos. Mencionamos que en Chiche', el impacto de los cambios climáticos era claramente menos perjudicial que en Tz'olöj Ya'. Sin embargo, esto no corresponde con observaciones de la región⁶². Varios factores podrían ser la causa, entre ellos: (1) el uso de datos satelitales como punto de referencia histórico para el ajuste del sesgo en los datos climáticos, (2) la baja resolución espacial de estos datos satelitales, (3) la cantidad limitada de datos históricos satelitales, y (4) la baja resolución de los modelos de cambios climáticos globales empleados por las previsiones del futuro. En estudios futuros, estas limitaciones se podrían mitigar por el uso de observaciones locales (del terreno) de largo plazo si estas estuvieran disponibles, o si un modelo de circulación regional fuera desarrollado para Guatemala para permitir una

62 Oscar Felipe Q y corresponsales, «Sequía agrava el hambre en el Corredor Seco», *Prensa Libre*, (2016), <https://www.prensalibre.com/ciudades/baja-verapaz/sequia-agrava-el-hambre/>; *El Economista*, «La sequía afectó a 50,000 familias y dañó 42,000 hectáreas en Guatemala», 2019, <https://www.economista.net/actualidad/La-sequia-afecto-a-50000-familias-y-dano-42000-hectareas-en-Guatemala-20190826-0042.html>

mejor corrección en los sesgos de los modelos climáticos⁶³. Entre tanto, recomendamos precaución y una buena dosis de reflexión crítica al analizar los resultados de previsiones de cambios climáticos.

De manera general, un acceso a mejores salarios parece ser la solución más robusta para el mejoramiento de la situación nutricional y ambiental frente a los cambios climáticos y a diferentes eventos socioeconómicos repentinos, y eso, en ambos sistemas de autosuficiencia y de comercialización agrícola. Este último, no obstante, se muestra más resiliente frente a las pérdidas de empleos, pero al precio de una vulnerabilidad más importante frente a pérdidas en ingresos agrícolas.

Un acceso universal a la educación sería eficaz ante problemas en los ámbitos ambiental y humano, pero es menos resiliente que la política de salario mínimo frente a eventos socioeconómicos repentinos. No obstante, estas políticas tienden a aumentar la migración fuera de las zonas rurales. Mientras que esto necesariamente indica una consecuencia negativa, se debe tomar en consideración estas eventualidades al proponer políticas integradas para el desarrollo rural.

Los resultados presentados aquí ofrecen una perspectiva más cuantitativa de las dinámicas reportadas anteriormente⁶⁴, pero muestran similitudes importantes, en particular en lo que se refiere a la importancia de la implementación de programas por el Estado para enfrentar a las causas estructurales de la inseguridad alimentaria. A pesar de la importancia de invertir en soluciones que aumentan oportunidades no necesariamente agrícolas, los resultados también demuestran la importancia crítica⁶⁵ que tiene la agricultura de pequeña escala para la seguridad alimentaria y los ingresos en las regiones de estudio y la pertinencia de programas para aumentar su estabilidad⁶⁶. Una limitación importante del presente trabajo

63 Boubacar Ibrahim, Haruna Karambiri y P. Jan, «Evolution of main rainy season characteristics in Burkina Faso derived from rainfall data of five regional climate models (RCM)», *International Association of Hydrological Sciences (IAHS) Publ.* 344 (julio de 2011): 82-86, https://www.researchgate.net/publication/289043785_Evolution_of_main_rainy_season_characteristics_in_Burkina_Faso_derived_from_rainfall_data_of_five_regional_climate_models_RCM

64 Iarna-URL e IICA. *Perfil del agro*.

65 Díaz Castellanos, G., «Agricultura y desarrollo local en Guatemala». *Revista Rupturas* 5, núm. 1 (2014): 49-69. <https://doi.org/10.22458/rr.v5i1.714>

66 Claudia Bouroncle *et al.*, «La agricultura de Guatemala y el cambio climático: ¿Dónde están las prioridades para la adaptación?» (2015), <https://hdl.handle.net/10568/45942>

es que, al contrario de otros estudios⁶⁷, el tema de género no se incluyó de manera explícita en el modelo de dinámicas de sistemas, cuya estructura de niveles y de flujos complica la modelización de factores al nivel individual. Esto podría ser una avenida de investigación interesante para estudios complementarios futuros.

Estos resultados, que combinan impactos ambientales, económicos y sociales tanto como las retroalimentaciones a veces inesperadas que los conectan, no se hubieran podido obtener sin una metodología participativa de modelización de dinámicas de los sistemas conectada con un modelo físico externo de los cultivos tal como fue elaborado en el transcurso de este estudio. Los resultados obtenidos tampoco se hubieran podido obtener sin la participación activa de varios actores en el tema de la seguridad alimentaria y de la agricultura en las regiones de interés. Por lo tanto, subrayan la importancia de la aplicación de metodologías participativas en el desarrollo de políticas públicas y de proyectos nacionales e internacionales de desarrollo, especialmente en la fase inicial de planificación del proyecto. La participación de una diversidad de actores, incluso los productores y productoras a pequeña escala, es central en la generación de una visión –y de un modelo conceptual– completo para la región, lo cual es indispensable para la planificación de acciones y políticas informadas y sostenibles a largo plazo.

3. Conclusión

En este estudio se aplicó un modelo de dinámicas de sistemas conectado con un modelo externo de cultivos al análisis de la resiliencia de distintos sistemas de desarrollo agrícola en Guatemala. Ambos sistemas, uno agrocomercial y el otro de autosuficiencia, enfrentan desafíos simultáneos de cambios climáticos y de eventos socioeconómicos repentinos.

Los resultados muestran la presencia de interacciones fuertes entre los componentes económicos, ambientales y sociales del modelo conectado y sugieren que las intervenciones de igualdad de oportunidades económicas, tal como los salarios mínimos y la educación universal, pueden revelarse

67 Maitane Zarate Herrero, «El efecto de la brecha de género sobre la agricultura y la soberanía alimentaria en las comunidades indígenas del occidente de Guatemala» (trabajo fin de máster, Universitat Jaume I, 2019).

entre las políticas más resistentes a eventos repentinos climáticos y económicos.

No obstante, cualquier política requiere un compromiso entre diversas variables (tal como la nutrición, la migración y la pobreza) y por lo tanto deben considerarse con cuidado en conjunto con todos los actores clave locales antes de la implementación de un proyecto de desarrollo por parte de una entidad externa.

Agradecimientos

Agradecemos el apoyo del Iarna (Universidad Rafael Landívar) para las investigaciones de campo, así como a todos los actores claves quienes participaron en el proyecto de investigación. Este estudio fue posible por el apoyo financiero del CRDI de Canadá, de una beca *Bourse de 2e cycle du Fonds de recherche du Québec – Nature et technologies* (FRQNT), y de una beca *Bourse d'études supérieures du Canada Vanier* obtenidas por JMA.

Contribuciones de los autores

JMA desarrolló la metodología, ejecutó los análisis y escribió el artículo. JA, HT y HMQ supervisaron el proyecto de investigación.

Bibliografía

- Ahmadi, Mohammad H. y Mahdi Zarghami. «Should water supply for megacities depend on outside resources? A Monte-Carlo System Dynamics Simulation for Shiraz, Iran». *Sustainable Cities and Society* 44 (enero de 2019): 163-170. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2018.10.007>
- Amaya-Castellanos, M. A., M. D. C. Morales-Ruan, R. Uribe-Carvajal, A. Jiménez-Aguilar, A. A. Salazar-Coronel, B. Martínez-Tapia y T. Shamah-Levy. «Implementación de un modelo de capacitación multimedial para brindar orientación alimentaria a los beneficiarios de un programa de ayuda social en México». *Global Health Promotion* 26, núm. 4 (2019): 118-129. <https://doi.org/10.1177/1757975917751908>
- Ammar, M. E. y E. G. R. Davies. «On the accuracy of crop production and water requirement calculations: Process-based crop modeling at daily, semi-weekly, and weekly time steps for integrated assessments». *Journal of Environmental Management* 238 (2019): 460-472. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.03.030>

- Barillas Quezada, José A. «Diseño de un sistema de captación de agua lluvia por medio de aljibe para el área de la aldea Xayá, municipio de Santa Lucía Cotzumalguapa, departamento de Escuintla, Guatemala». Tesis de licenciatura, Universidad de San Carlos de Guatemala. 2018. http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0034_A.pdf
- Barrera Martínez, Maidelyn C. «Estudio de la factibilidad para la implementación de un complejo hotelero ecológico, en el parque Senderos de Alux, para el desarrollo sostenible y crecimiento turístico de la comunidad de San Lucas Sacatepéquez». Tesis de licenciatura, Universidad de San Carlos de Guatemala. 2012. http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_2563_IN.pdf
- Bouroncle, Claudia, Pablo Imbach, Peter Läderach, Beatriz Rodríguez, Claudia Medellín, Emily Fung, M. R. Martínez-Rodríguez y Camila I. Donatti, «La agricultura de Guatemala y el cambio climático: ¿Dónde están las prioridades para la adaptación?». 2015. Copenhague, Dinamarca: CGIAR Research Program on Climate Change, Agriculture and Food Security (CCAFS). <https://hdl.handle.net/10568/45942>
- Chubay Gallina, Rolando L., Juan O. González López, Eric B. López López, Edgar R. Sutuj Estrada, William Velásquez Gálvez, Carlos A. Rodas López, Víctor O. Duque Alarcón, Adelaida Xiloj Herrera, Edgar D. López López, Edwin E. Jolón Rojas, Carlos U. Argueta del Cid, Gilda M. Martínez Toscano, Rony E. Barrios de León, Lily J. Ramírez Maldonado y Everilda Canil Botón. «Diagnóstico socioeconómico, potencialidades productivas y propuestas de inversión: Municipio de Santa María Nebaj, Departamento de Quiché». Informe de práctica supervisada, Universidad de San Carlos de Guatemala. 2010. http://biblioteca.usac.edu.gt/EPS/03/03_0756_v1.pdf
- Díaz Castellanos, G. «Agricultura y desarrollo local en Guatemala». *Revista Rupturas* 5, núm. 1 (2014): 49-69. <https://doi.org/10.22458/rr.v5i1.714>
- Diepen, C. A. van, J. Wolf, H. van Keulen y C. Rappoldt. «WOFOST: A simulation model of crop production». *Soil Use and Management* 5, núm. 1 (1989): 16-24. <https://doi.org/10.1111/j.1475-2743.1989.tb00755.x>
- El Economista*. «La sequía afectó a 50,000 familias y dañó 42,000 hectáreas en Guatemala», 2019. <https://www.eleconomista.net/actualidad/La-sequia-afecto-a-50000-familias-y-dano-42000-hectareas-en-Guatemala-20190826-0042.html>
- Felipe Q., Oscar y corresponsales. *Prensa Libre*, «Sequía agrava el hambre en el Corredor Seco». 2016. <https://www.prensalibre.com/ciudades/baja-verapaz/sequia-agrava-el-hambre/>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), International Fund for Agricultural Development (IFAD), United Nations Children's Fund (UNICEF), World Food Program (WFP), y World Health Organization (WHO), eds. *Building climate resilience for food security and nutrition. The state of food security and nutrition in the world 2018*. Roma: FAO, 2018.
- Gálvez, Juventino, Keith Andrews, Mario Buch, Hugo Vargas, Pedro Pineda, Ana S. Rivera, Jaime Carrera, María J. Iturbide, Ariel Ortiz, Hugo Chavería y Jaime L. Carrera. *Perfil del agro y la ruralidad de Guatemala 2014: Situación actual y tendencias*. Guatemala: IARNA e IICA, 2015.

- Gálvez, Juventino, Héctor Tuy, Andrews, Keith L. Andrews, Jaime Luis Carrera, Pedro Pineda, Lourdes Melini, Ottoniel Monterroso, Rodolfo Véliz, Sergio Mansilla, Humberto Monardes, Philip Oxhorn, Hugo Melgar-Quiñonez, Jan Adamowski, Julien Malard-Adam, J. y Ana Sofía Rivera. *Análisis sistémico y nutricional de la seguridad alimentaria y nutricional en Guatemala: Consideraciones para mejorar prácticas y políticas públicas*. Universidad Rafael Landívar, Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura y McGill University, 2015. <http://www.infoiarna.org.gt/wp-content/uploads/2017/11/Coedicin.Analisis-sistemicoyterritorialdelaseguridadalimentariaynutricionalenGuatemalaconsideracionesparamejorarprcticasypolicaspblicas.pdf>
- Gomez, Ricardo, Cala Zubair, Jeannie Berwick y Mariano Morales. «Lekil Cuxlejalil Ta Comonaletic Tseltal Maya Ta Chiapas». University of Washington Information School, One Equal Heart Foundation, CEDIAC. Seattle, Washington & Bachajón, Chiapas, 2017. <https://papers.ssrn.com/abstract=3400421>
- Halbe, Johannes y Jan Adamowski. «Modeling sustainability visions: A case study of multi-scale food systems in Southwestern Ontario». *Journal of Environmental Management* 231 (febrero de 2019): 1028-1047. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.09.099>
- Halbe, Johannes, Claudia Pahl-Wostl y Jan Adamowski. «A methodological framework to support the initiation, design and institutionalization of participatory modeling processes in water resources management». *Journal of Hydrology* 556 (enero de 2018): 701-716. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2017.09.024>
- Hidalgo Zapata, Viviana Y., Francisco J. Vélez Zabala, Mónica. A. Martínez. Martina, Ana M. Soto González, y María E. Vélez. «Sociodemographic, cultural, environmental and agroecological characterization in order to adopt urban agriculture in the municipality of Tuluá, Colombia». *WSEAS Transactions on Environment and Development* 16 (2020): 67-83. <https://doi.org/10.37394/232015.2020.16.8>
- Hossain, Md Sarwar, John A. Dearing, Felix Eigenbrod y Fiifi Amoako Johnson. «Operationalizing safe operating space for regional social-ecological systems». *Science of The Total Environment* 584-585 (abril de 2017): 673-682. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969717301067>
- Hossain, Md. Sarwar, Jorge Ramirez, Sylvia Szabo, Felix Eigenbrod, Fiifi Amoako Johnson, Chinwe Ifejika Speranza y John A. Dearing. «Participatory modelling for conceptualizing social-ecological system dynamics in the Bangladesh delta». *Regional Environmental Change* 20 (2020). <https://doi.org/10.1007/s10113-020-01599-5>
- Iarna-URL y IICA. *Perfil del agro y la ruralidad de Guatemala 2014: situación actual y tendencias*. Guatemala: Cara Parens, 2015.
- Ibrahim, Boubacar, Haruna Karambiri y P. Jan. «Evolution of main rainy season characteristics in Burkina Faso derived from rainfall data of five regional climate models (RCM)». *International Association of Hydrological Sciences (IAHS)* 344 (julio de 2011): 82-86. https://www.researchgate.net/publication/289043785_Evolution_of_main_rainy_season_characteristics_in_Burkina_Faso_derived_from_rainfall_data_of_five_regional_climate_models_RCM

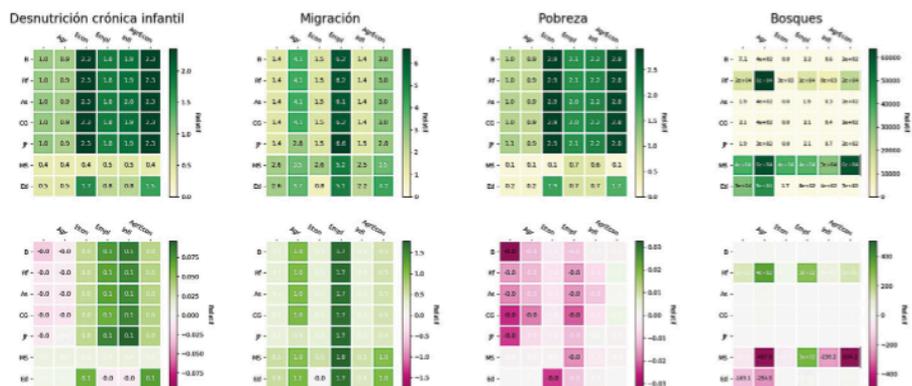
- Inam, Azhar, Jan Adamowski, Johannes Halbe y Shiv Prasher. «Using causal loop diagrams for the initialization of stakeholder engagement in soil salinity management in agricultural watersheds in developing countries: A case study in the Rechna Doab watershed, Pakistan». *Journal of Environmental Management* 152 (abril de 2015): 251-267. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2015.01.052>
- Inam, Azhar, Jan Adamowski, Shiv Prasher, Johannes Halbe, Julien Malard-Adam y Raffaele Albano. «Coupling of a distributed stakeholder-built system dynamics socio-economic model with SAHYSMOD for sustainable soil salinity management – Part 1: Model development». *Journal of Hydrology* 551 (agosto de 2017a): 596-618. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2017.03.039>
- . «Coupling of a distributed stakeholder-built system dynamics socio-economic model with SAHYSMOD for sustainable soil salinity management. Part 2: Model coupling and application». *Journal of Hydrology* 551 (agosto de 2017b): 278-299. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2017.03.040>
- Jones, Peter G. y Philip K. Thornton. «MarkSim: Software to generate daily weather data for Latin America and Africa». *Agronomy Journal* 92, núm. 3 (2000): 445-453. <https://doi.org/10.2134/agronj2000.923445x>
- Luo, Min, Tie Liu, Fanhao Meng, Yongchao Duan, Amaury Frankl, Anming Bao y Philippe De Maeyer. «Comparing bias correction methods used in downscaling precipitation and temperature from Regional Climate Models: A case study from the Kaidu River Basin in Western China». *Water* 10, núm. 8 (2018): 1046. <https://doi.org/10.3390/w10081046>
- Malard-Adam, Julien, Jan Adamowski, Marcela Rojas Díaz, Ling Yun (王凌云) Wang, Héctor Tuy y Hugo Melgar-Quiñonez. «Participatory system dynamics modelling for agricultural development and food security: small-scale agriculture and food systems in Indigenous communities of Tz'olöj Ya' and K'iche' (Guatemala)». [Inédito].
- Malard-Adam, Julien, Jan Adamowski, Héctor Tuy, y Hugo Melgar-Quiñonez. «Couplage d'un modèle des dynamiques des systèmes avec un modèle agricole: développement de politiques pour lutter contre l'insécurité alimentaire face aux changements climatiques dans un système agricole Indigène à petite échelle au Tz'olöj Ya' (Guatemala)». [Inédito].
- . «Hybrid Bayesian inference-based participatory system dynamics modelling for temporally data-poor regions: Small-scale Indigenous agriculture and food systems in Tz'olöj Ya' and K'iche' (Guatemala)». *System Dynamics Review*. [Inédito].
- Malard-Adam, Julien J, Diana Dallmann, Ahn Bui, Lillian Yin, Miguel García-Winder, Humberto Monardes y Hugo Melgar-Quiñonez. «Relación entre la diversidad pecuaria y la seguridad alimentaria de pequeños productores agropecuarios en Guatemala». *Revista Eutopía* 3, núm. 6 (2018): 3-30. <http://recursosbiblio.url.edu.gt/CParens/Revista/Eutopia/Numeros/6/02/6.pdf>

- Malard-Adam, J. J., A. Inam, E. Hassanzadeh, J. Adamowski, H. A. Tuy y H. Melgar-Quiñonez. «Development of a software tool for rapid, reproducible, and stakeholder-friendly dynamic coupling of system dynamics and physically-based models». *Environmental Modelling & Software* 96 (octubre de 2017): 410-420. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2017.06.053>
- Matuschke, Ira, Ritesh R. Mishra y Matin Qaim. «Adoption and impact of hybrid wheat in India». *World Development* 35, núm. 8 (2007): 1422-1435. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2007.04.005>
- Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (MAGA). «Manual de campo para la identificación de las etapas de desarrollo del frijol en Guatemala y su equivalencia con las fases fenológicas del Sistema de Monitoreo de Cultivos –SMC–». Sistema Mesoamericano de Alerta Temprana para Seguridad Alimentaria (MFEWS). s/f.
- Noj Costop, Ixchebel N. «Diseño de una guía metodológica y elaboración de planes indicativos de ordenamiento territorial diagnóstico y servicios en cinco comunidades de la cuenca de los ríos Coatán y Suchiate del departamento de San Marcos, Guatemala, C.A.». Tesis de licenciatura, Universidad de San Carlos de Guatemala. 2014. http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/01/01_2969.pdf
- Packett, E., N. J. Grigg, J. Wu, S. M. Cuddy, P. J. Wallbrink y A. J. Jakeman. «Mainstreaming gender into water management modelling processes». *Environmental Modelling and Software* 127 (mayo de 2020), 104683. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2020.104683>
- Parsons, David, Charles F. Nicholson, Robert W. Blake, Quirine M. Ketterings, Luis Ramírez-Aviles, Jerome H. Cherney y Danny G. Fox. «Application of a simulation model for assessing integration of smallholder shifting cultivation and sheep production in Yucatán, Mexico». *Agricultural Systems* 104, núm. 1 (2011): 13-19. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2010.08.006>
- Parsons, David, Charles F. Nicholson, Robert W. Blake, Quirine M. Ketterings, Luis Ramírez-Aviles, Danny G. Fox, Luis O. Tedeschi y Jerome H. Cherney. «Development and evaluation of an integrated simulation model for assessing smallholder crop-livestock production in Yucatán, Mexico». *Agricultural Systems* 104, núm. 1 (2011): 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2010.07.006>
- Pelzer, Elise, Gabriele Fortino, Christian Bockstaller, Frédérique Angevin, Claire Lamine, Camilla Moonen, Vasileios Vasileiadis, Daniel Guérin, Laurence Guichard, Raymond Reau y Antoine Messéan. «Assessing innovative cropping systems with DEXiPM, a qualitative multi-criteria assessment tool derived from DEXi». *Ecological Indicators* 18 (julio de 2012): 171-182. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2011.11.019>
- POWER Project. «POWER Data». Estados Unidos de América: NASA Langley Research Center. s/f.
- Rasmussen, Laura V., Kjeld Rasmussen, Anette Reenberg y Simon Proud. «A system dynamics approach to land use changes in agro-pastoral systems on the desert margins of Sahel». *Agricultural Systems* 107 (marzo de 2012): 56-64. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2011.12.002>

- Stephens, E. C., C. F. Nicholson, D. R. Brown, D. Parsons, C. B. Barrett, J. Lehmann, D. Mbugua, S. Ngoze, A. N. Pell y S. J. Riha. «Modeling the impact of natural resource-based poverty traps on food security in Kenya: The Crops, Livestock and Soils in Smallholder Economic Systems (CLASSES) model». *Food Security* 4, núm. 3 (2012): 423-439. <https://doi.org/10.1007/s12571-012-0176-1>
- Turner, Benjamin, Hector Menendez, Roger Gates, Luis Tedeschi y Alberto Atzori. «System dynamics modeling for agricultural and natural resource management issues: Review of some past cases and forecasting future roles». *Resources* 5, núm. 4 (2016): 40. <https://doi.org/10.3390/resources5040040>
- Universidad Rafael Landívar, Instituto de Investigación y Proyección sobre Ambiente Natural y Sociedad. *Análisis sistémico y territorial de la seguridad alimentaria y nutricional en Guatemala*. Ciudad de Guatemala, Guatemala: Universidad Rafael Landívar, 2015.
- Valdivia Bernal, Roberto, Francisco de J. Caro Velarde, Margarito Ortiz Catón, Alberto Betancourt Vallejo, Alejandro Ortega Corona, Víctor A. Vidal Martínez y Alejandro Espinosa Calderón. «Desarrollo participativo de híbridos sintéticos de maíz y producción de semilla por agricultores». *Agricultura Técnica en México* 33, núm. 2 (2007): 135-145.
- Valenzuela Pos, Oscar A. «Análisis de la gestión colectiva de la comunidad indígena de Palín, con énfasis en el uso y manejo de los recursos naturales en la finca comunal “El Chilar”, Palín, Escuintla, Guatemala, C.A.». Tesis de licenciatura, Universidad de San Carlos de Guatemala. 2013. http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/01/01_2856.pdf
- Villamor, Grace B., David L. Griffith, Andrew Kliskey y Lilian Alessa. «Contrasting stakeholder and scientist conceptual models of food-energy-water systems: a case study in Magic Valley, Southern Idaho». *Socio-Environmental Systems Modelling* 2 (octubre de 2019): 16312. <https://doi.org/10.18174/sesmo.2020a16312>
- Voinov, Alexey y Francois Bousquet. «Modelling with stakeholders». *Environmental Modelling & Software*, Thematic Issue - Modelling with Stakeholders 25, núm. 11 (2010): 1268-1281. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2010.03.007>
- Vrac, Mathieu, Thomas Noël y Robert Vautard. «Bias Correction of Precipitation through Singularity Stochastic Removal: Because Occurrences Matter». *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 121, núm. 10 (2016): 5237-5258. <https://doi.org/10.1002/2015JD024511>
- Wit, Allard de. «Python Crop Simulation Environment». Python. 2019.
- Zarate Herrero, Maitane. «El efecto de la brecha de género sobre la agricultura y la soberanía alimentaria en las comunidades indígenas del occidente de Guatemala». Trabajo fin de máster, Universitat Jaume I. 2019.

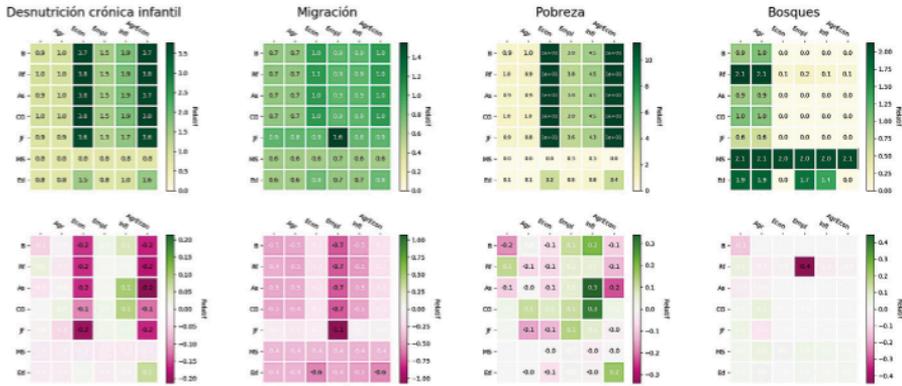
Anexos

Figura 5. Interacciones entre políticas (horizontal) y eventos socioeconómicos repentinos (vertical) para diferentes variables en el municipio de Concepción (Tz'olöj' Ya')



Nota. Los índices de las columnas indican el escenario (véase la tabla 2): Primera columna: Escenario de base, Agr: Agrocomercial, Econ: Económico, Empl: Empleo, Infl: Inflación, y AgrEcon: Agrocomercial y económico. Las filas representan varias políticas públicas (véase la tabla 1): B: Escenario de base, Rf: Reforestación, As: Autosuficiencia productos agrícolas, CG: Compras de grupo, JF: Huertos familiares, MS: Mejores salarios, Ed: Educación. Primera fila: Valores de diversas variables en los últimos 70 años de la simulación bajo el escenario de cambios climáticos 8.5, relativos al escenario de base sin cambios climáticos. Segunda fila: Impacto del escenario climático 8.5 para cada combinación de política y de evento, relativo al resultado de la misma combinación sin cambios climáticos. Fuente: elaboración propia.

Figura 6. Interacciones entre políticas (horizontal) y eventos socioeconómicos repentinos (vertical) para diferentes variables en el municipio de Chiche' (K'iche')



Nota. Los índices de las columnas indican el escenario (véase la Tabla 2): Primera columna: Escenario de base, Agr: Agrocomercial, Econ: Económico, Empl: Empleo, Infi: Inflación, y AgrEcon: Agrocomercial y económico. Las filas representan varias políticas públicas (véase la Tabla 1): B: Escenario de base, Rf: Reforestación, As: Autosuficiencia productos agrícolas, CG: Compras de grupo, JF: Huertos familiares, MS: Mejores salarios, Ed: Educación. Primera fila: valores de diversas variables en los últimos 70 años de la simulación bajo el escenario de cambios climáticos 8.5, relativos al escenario de base sin cambios climáticos. Segunda fila: impacto del escenario climático 8.5 para cada combinación de política y de evento, relativo al resultado de la misma combinación sin cambios climáticos. Fuente: elaboración propia.

