

Coordinadores
Jorge Martínez Pérez
Marlen Hernández Ortiz
Imelda Ortiz Medina



Religación
Press

DESAFÍOS CONTEMPORÁNEOS

*Un análisis multiescalar de la tecnología,
la sociedad y el territorio*



Desafíos contemporáneos.

*Un análisis multiescalar de la tecnología, la sociedad
y el territorio*

Jorge Martínez Pérez
Marlen Hernández Ortiz
Imelda Ortiz Medina

Quito, Ecuador
2026



*Contemporary Challenges. A Multiscale Analysis of
Technology, Society, and Territory*

*Desafios contemporâneos. Uma análise multiescalar da
tecnologia, da sociedade e do território*

Quito, Ecuador
2026

Religación Press

[Ideas desde el Sur Global]

Equipo Editorial / Editorial team

Ana B. Benalcázar

Editora Jefe / Editor in Chief

Felipe Carrión

Director de Comunicación / Scientific Communication Director

Melissa Díaz

Coordinadora Editorial / Editorial Coordinator

Sarahi Licango Rojas

Asistente Editorial / Editorial Assistant

Consejo Editorial / Editorial Board

Jean-Arsène Yao, Dilrabo Keldiyorovna Bakhronova, Fabiana Parra, Mateus Gam-
ba Torres, Siti Mistima Maat, Nikoleta Zampaki, Silvina Sosa

Religación Press, es parte del fondo editorial del Centro de Investigaciones CICSHAL-
RELIGACIÓN | Religación Press, is part of the editorial collection of the CICSHAL-
RELIGACIÓN Research Center |

Diseño, diagramación y portada | Design, layout and cover: Religación Press.

CP 170515, Quito, Ecuador. América del Sur.

Correo electrónico | E-mail: press@religacion.com

www.religacion.com

Disponible para su descarga gratuita en | Available for free download at | <https://press.religacion.com>

Este título se publica bajo una licencia de Atribución 4.0 Internacional (CC BY 4.0)

This title is published under an Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) license.



Derechos de autor | Copyright: *Religación Press*, Jorge Martínez Pérez, Marlen Hernández Ortiz, Imelda Ortiz Medina; Eduardo Meneses, Francisco Javier Caballero Anguiano, José Erik Gómez Cruz, Betiana Elizabeth Vargas, Akidel Novella Guerrero, Héctor Antonio Durán Muñoz, Sara Cristina Solache de la Torre, Juan Carlos Arteaga Arcos, David Joaquín Delgado Hernández, Ruth Robles, Enoé Rodríguez Jonguitud, Sandra Verónica García Cabrera, Isidoro Menchaca Hernández, Miguel Esparza Flores, Enrique Muñoz Alonso, Laura Liliana Villa Vázquez, Leobardo Chávez Ruiz

Primera Edición | First Edition: 2025

Editorial | Publisher: *Religación Press*

Materia Dewey | Dewey Subject: 303 - Procesos sociales

Clasificación Thema | Thema Subject Categories: JBSD - Comunidades urbanas | PDR - Influencia de la ciencia y la tecnología sobre la sociedad | RGC - Geografía humana

BISAC: SOC026030

Público objetivo | Target audience: *Profesional / Académico* / Professional / Academic

Colección | Collection: *Sociedad*

Soporte | Format: *PDF / Digital*

Publicación | Publication date: 2026-24-02

ISBN: 978-9942-594-29-7

Título: *Desafíos contemporáneos. Un análisis multiescalar de la tecnología, la sociedad y el territorio*

[APA 7]

Martínez Pérez J., Hernández Ortiz, M., & Ortiz Medina, I. (2026). *Desafíos contemporáneos. Un análisis multiescalar de la tecnología, la sociedad y el territorio*. Religación Press. <https://doi.org/10.46652/ReligacionPress.363>

Revisión por pares

La presente obra fue sometida a un proceso de evaluación mediante el sistema de dictaminación por pares externos bajo la modalidad doble ciego. En virtud de este procedimiento, la investigación que se desarrolla en este libro ha sido avalada por expertos en la materia, quienes realizaron una valoración objetiva basada en criterios científicos, asegurando con ello la rigurosidad académica y la consistencia metodológica del estudio.

Peer Review

This work was subjected to an evaluation process by means of a double-blind peer review system. By virtue of this procedure, the research developed in this book has been endorsed by experts in the field, who made an objective evaluation based on scientific criteria, thus ensuring the academic rigor and methodological consistency of the study.

Sobre los autores

About the authors

Jorge Martínez Pérez.

Dr. en Ciencias de las Religiones por la Universidad Complutense de Madrid, España. Miembro del Sistema Nacional de Investigadores nivel I del CONAHCYT, perfil PRODEP y Docente-Investigador de la Unidad Académica de Historia, de la Universidad Autónoma de Zacatecas, México.

Universidad Autónoma de Zacatecas | Zacatecas | México

<https://orcid.org/0000-0002-9629-4095>

jorgemarti@uaz.edu.mx

jorgemartez@gmail.com

Marlen Hernández Ortiz.

Licenciada en Matemáticas y Maestra en Ciencias Nucleares en la Universidad Autónoma de Zacatecas (UAZ); Doctora en Ciencia de los Materiales por la Universidad de Sonora. Es SNI 1 y Perfil PRODEP.

Universidad Autónoma de Zacatecas | Zacatecas | México

<https://orcid.org/0000-0003-2428-9016>

marlen.hernandez@uaz.edu.mx

mar_h2o@hotmail.com

Imelda Ortiz Medina.

Dra. en Gobierno y Administración Pública por la Universidad Complutense de Madrid, España. Miembro del Sistema Nacional de Investigadores y Perfil Prodep, docente investigadora de la UAZ.

Universidad Autónoma de Zacatecas | Zacatecas | México

<https://orcid.org/0000-0003-3910-6534>

imeldaortizmedina@uaz.edu.mx

iortizmedina@yahoo.com

Resumen

Este libro aborda la complejidad del mundo contemporáneo, caracterizado por una multiplicidad de relaciones en constante cambio. Frente a la dificultad de analizar fenómenos en movimiento, la obra ofrece un conjunto de miradas que buscan capturar instantáneas de esta realidad dinámica. Se estructura en torno a cuatro ejes: primero, la finitud planetaria y el impacto global e inmediato de elementos como la globalización, el capitalismo, la población y el medioambiente. Segundo, la aceleración temporal, donde procesos que antes tomaban siglos ahora ocurren en décadas. Tercero, la magnitud inédita de los retos actuales, que exigen herramientas teóricas para la intervención práctica. Finalmente, el enfoque "*glocal*", que revela la interacción permanente entre lo global y lo local, demostrando que ningún país permanece inmune a influencias que van desde el mercado hasta la inteligencia artificial.

Palabras clave:

Globalización, competitividad, demografía, crisis planetaria, inteligencia artificial

Abstract

This book addresses the complexity of the contemporary world, characterized by a multiplicity of constantly changing relationships. Faced with the difficulty of analyzing phenomena in flux, the work offers a set of perspectives that seek to capture snapshots of this dynamic reality. It is structured around four central axes: first, planetary finitude and the immediate global impact of elements such as globalization, capitalism, population, and the environment. Second, temporal acceleration, whereby processes that once took centuries now unfold over decades. Third, the unprecedented magnitude of current challenges, which demand theoretical tools for practical intervention. Finally, the "*glocal*" approach, which reveals the permanent interaction between the global and the local, demonstrating that no country remains immune to influences ranging from the market to artificial intelligence.

Keywords:

Globalization, competitiveness, demography, planetary crisis, artificial intelligence

Resumo

Este livro aborda a complexidade do mundo contemporâneo, caracterizado por uma multiplicidade de relações em constante mudança. Diante da dificuldade de analisar fenômenos em movimento, a obra oferece um conjunto de olhares que buscam capturar instantâneos dessa realidade dinâmica. Estrutura-se em torno de quatro eixos: primeiro, a finitude planetária e o impacto global e imediato de elementos como a globalização, o capitalismo, a população e o meio ambiente. Segundo, a aceleração temporal, na qual processos que antes levavam séculos agora ocorrem em décadas. Terceiro, a magnitude inédita dos desafios atuais, que exigem ferramentas teóricas para a intervenção prática. Finalmente, a abordagem "*glocal*", que revela a interação permanente entre o global e o local, demonstrando que nenhum país permanece imune a influências que vão desde o mercado até a inteligência artificial.

Palavras-chave:

Globalização, competitividade, demografia, crise planetária, inteligência artificial

Contenido

Revisión por pares	6
Peer Review	6
Sobre los autores	8
About the authors	8
Resumen	10
Abstract	10
Resumo	11
Prólogo	18
Capítulo 1	23
Globalización 4.0 y oligopolios globales: ¿Qué perspectivas de desarrollo para América Latina?	
<i>Eduardo Meneses</i>	
Capítulo 2	67
Cambio climático y sustentabilidad: dos caras de la crisis del capitalismo	
<i>Francisco Javier Caballero Anguiano, José Erik Gómez Cruz</i>	
Capítulo 3	90
Inteligencia artificial y nanotecnologías en el contexto de la transformación digital y el desarrollo	
<i>Betania Elizabeth Vargas</i>	
Capítulo 4	115
Análisis de tendencias en el mercado bursátil utilizando el proceso estocástico de Wiener y simulaciones de Monte Carlo	
<i>Akidel Novella Guerrero, Marlen Hernández Ortiz, Héctor Antonio Durán Muñoz</i>	
Capítulo 5	144
Diseño generativo aplicado a la Arquitectura y su contribución a la sustentabilidad	
<i>Sara Cristina Solache de la Torre, Juan Carlos Arteaga Arcos, David Joaquín Delgado Hernández</i>	
Capítulo 6	168
El análisis de riesgo como eje rector en la regulación de las sustancias químicas y los nanomateriales en México	
<i>Ruth Robles</i>	
Capítulo 7	183
Estudio demográfico de Luxemburgo: enfoque migratorio ucraniano	
<i>Enoé Rodríguez Jonguitud, Marlen Hernández Ortiz, Sandra Verónica García Cabrera</i>	

Capítulo 8

211

Jerarquía del sistema urbano de la región centro-norte de México: Análisis desde la regla rango-tamaño

Isidoro Menchaca Hernández, Miguel Esparza Flores

Capítulo 9

233

Competitividad del sector agrícola: una aproximación al caso Zacatecas

Enrique Muñoz Alonso, Laura Liliana Villa Vázquez, Leobardo Chávez Ruiz

Tablas

Capítulo 4

Tabla 1. Resultados de la Simulación Monte Carlo para Apple.	129
Tabla 2. Resultados de la Simulación Monte Carlo para META.	130
Tabla 3. Resultados de la Simulación Monte Carlo para Coca-Cola, Starbucks y Nike.	132

Capítulo 7

Tabla 1. Total, población de Luxemburgo por nacionalidad	189
--	-----

Capítulo 8

Tabla 1. Zonas metropolitanas de la región centro-norte de México	219
Tabla 2. Ciudades intermedias de la región centro-norte de México	220
Tabla 3. Rango y tamaño de las ciudades de la región centro-norte de México (2020).	221
Tabla 4. Resumen de resultados del modelo de regresión	226

Capítulo 9

Tabla 1. Dimensiones	246
Tabla 2. Pesos de los índices sintéticos	253

Figuras

Capítulo 1	
Figura 1. Evolución de las patentes registradas en Estados Unidos	40
Figura 2. Data Centers por país en 2024	50
Capítulo 3	
Figura 1. Tamaño del mercado de la inteligencia artificial a nivel mundial de 2020 a 2030 (en miles de millones de dólares)	96
Figura 2. Mercado global de chips	99
Figura 3. Evolución histórica de los sensores según tipo	101
Capítulo 4	
Figura 1. Rendimientos acumulados de APPLE respecto al índice temporal obtenida de R-Studio.	124
Figura 2. Precios del activo respecto al tiempo correspondiente a APPLE (270 trayectorias). Y su respectivo histograma (derecha).	125
Figura 3. Rendimientos acumulados versus índice temporal de META.	126
Figura 4. Proceso de Wiener aplicado 270 veces para META. Precio del activo respecto al tiempo (izquierda) y su histograma (derecha).	127
Figura 5. Rendimientos acumulados de VISA respecto al periodo de tiempo e establecido.	
Figura 6. Rendimientos acumulados de Coca-Cola, Starbucks y Nike.	128
Figura 7. Simulación de precios predichos para la acción APPLE.	129
Figura 8. Distribución de los precios predichos para META con simulación Monte Carlo.	
Figura 9. Distribución de la Simulación Monte Carlo para VISA.	131
Figura 10. Valores de precios y límites de confianza para los precios forward correspondientes a APPLE.	133
Figura 11. Valores de precios y límites de confianza para los precios forward de META.	134
Figura 12. Valores de precios y límites de confianza para los precios forward de la acción VISA.	135
Figura 13. Valores de precios y límites de confianza para los precios forward (Coca-Cola).	136
Figura 14. Valores de precios y límites de confianza para los precios forward de la acción Starbucks.	137
Figura 15. Valores de precios y límites de confianza para los precios forward de la empresa Nike.	138
Capítulo 5	
Figura 1. Centro Heydar Aliev. Estructura. Arquitecta: Zaha Hadid	148
Figura 2. Centro Heydar Aliev. fachada, Arquitecta: Zaha Hadid	148

Figura 3. Nature Boardwalk at Lincoln Park Zoo	150
Figura 4. Diseño generativo sustentable en la arquitectura.	151
Figuras 5. Proceso de diseño generativo.	153
Figura 6. Proceso Form- Finding en Arquitectura.	155
Figura 7. Casa impresa en 3D, WATG arquitectos, Chattanooga, TN, Estados Unidos.	155
Figura 8. Ejemplo pabellón plegado.	156
Figura 9. Pabellón modular desmontable, exhibición del Consejo de Madera de Malasia, Orlando, Florida	157
Figura 29. Museo Guggenheim de Bilbao	159
Figura 30. Planos arquitectónicos Museo Guggenheim.	159
Figura 10. Impresora 3D de concreto.	161

Capítulo 7

Figura 1. Pirámide poblacional de Luxemburgo (2023).	190
Figura 2. Pirámide poblacional de Luxemburgo a 1 de enero 2023, por nacionalidad	191
Figura 3. Pirámide poblacional de ucranianos residiendo en Luxemburgo al 1ero de enero del 2023	195
Figura 4. Población entre 20 a 64 años, por origen	198
Figura 5. Distribución de desempleados por grupo migratorio	199

Capítulo 8

Figura 1. Región centro-norte de México	218
Figura 2. Estimaciones rango-tamaño para las ciudades de la región centro-norte de México (2020).	224

Capítulo 9

Figura 1. Índice de Competitividad Agrícola Municipal	254
Figura 2. Mapa de rupturas naturales del ICAM para el estado de Zacatecas	255
Figura 3. Índice del Valor de Producción Agrícola (VPA) por municipio	256
Figura 4. Mapa de rupturas naturales del VPA para el estado de Zacatecas	257
Figura 5. Regresión lineal entre ICAM y VPA	258
Figura 6. Mapa de agrupación tipo LISA del ICAM y VPA para el estado de Zacatecas	259

Prólogo

Los capítulos que integran este libro examinan, de cierta manera, y no es pretencioso decirlo, el presente y el futuro de nuestro planeta y de sus habitantes, desde una mirada global hasta estudios de caso específicos. En ellos se refleja el análisis de temas actuales tan importantes y trascendentes como lo son: el cambio climático, la migración humana, las dinámicas urbanas de distribución poblacional, la profundización de la globalización, el comportamiento de los mercados, las inversiones y los riesgos, la competitividad y la inteligencia artificial. Todos ellos aportan, desde distintos planos y con diferentes matices la interconexión de lo general con lo particular y viceversa. Porque muchas veces se estudia ya lo uno con exclusión de lo otro, sin pensar explícitamente que el todo no se comprende sin la parte y que esta se define dentro de una totalidad de relaciones que la ubican y determinan.

Hoy más que nunca, toda la humanidad comparte el mismo espacio y tiempo, los cuales están constituidos por un sinnúmero de elementos, de eventos y de circunstancias que originan multiplicidad de complejos fenómenos difíciles de analizar, generalmente, debido a la heterogeneidad de las causas que los producen. El propósito fundamental, no obstante, es tratar de desentrañar ese complejo entramado para visualizar, para visibilizar el objeto de estudio de la manera más clara, aunque también, de la manera más simple posible.

El primer capítulo; Globalización y oligopolios globales; ¿Qué perspectivas de desarrollo para América Latina? expone, como su nombre lo indica, un tema acuciante para las economías de esta región, como lo es y lo ha sido históricamente, el desarrollo económico. En él, Eduardo Meneses se replantea la pregunta, pero a partir del análisis del desarrollo tecnológico, de las nuevas y últimas tecnologías que comportan distintas pautas de industrialización, transferencias y, también, nuevos roles de distribución capitalista entre países y regiones.

En el segundo; Cambio climático y sustentabilidad: dos caras de la crisis del capitalismo, Francisco Javier Caballero Anguiano y José Erik Gómez Cruz, aparte de aseverar que el cambio climático es un hecho comprobado, afirma, sin ambages, que el capitalismo es su principal impulsor. Pero va más allá al estudiar las estrategias que la comunidad internacional, dígase los países en su conjunto, tienen para disminuir los gases de efecto invernadero (GEI), ya que tales estrategias deben trascender de lo voluntario a lo obligatorio porque, debe quedar bien claro, no hay capitalismo verde y la solución no se dará sólo con buenas intenciones.

Betiania Elizabeth Vargas, en el capítulo tres; Inteligencia artificial y nanotecnologías en el contexto de la transformación digital y el desarrollo, nos introduce en el espacio virtual a partir del binomio de las nanotecnologías e inteligencia para mostrar cómo ellas impactan en las dinámicas sociales y económico-políticas, advirtiéndole que, antes que igualar, tienden a profundizar el colonialismo y la desigualdad existente entre países desarrollados y subdesarrollados. Como colofón, llama al estado, a las universidades y organizaciones sociales a intervenir en políticas públicas para paliar o atenuar tal asimetría.

El capítulo cuarto: Análisis de tendencias en el mercado bursátil utilizando el proceso estocástico de Wiener y simulaciones de Monte Carlo, es un estudio matemático, riguroso, puntual, llevado a cabo por Novella, Hernández y Durán, en el que se estudian importantes empresas del índice bursátil, Standard and Poors 500 (S&P 500) para ver su comportamiento estocástico, de precios y utilidades en escenarios de alta incertidumbre, como la pandemia, la recuperación económica y las tasas de interés.

Solache, Arteaga y Delgado, en el capítulo quinto; Diseño generativo aplicado a la Arquitectura y su contribución a la sustentabilidad, complementan el tema de la Triple Crisis Planetaria mostrando el gran impacto ambiental, pero también económico, que produce la construcción arquitectónica civil. Por lo anterior, afirman,

no es de menor calado la implementación de diseños sustentables en la construcción y reponen espacios arquitectónicos generativos con materiales innovadores, de menor impacto ambiental y rapidez constructiva.

El capítulo seis; El análisis de riesgo como eje rector en la regulación de las sustancias químicas y los nanomateriales en México, desarrollado por Ruth Robles, expone la importancia del manejo adecuado de las sustancias químicas y de los nanomateriales, el cual ha tenido y continúa teniendo deficiencias en las políticas públicas desarrolladas por los gobiernos, lo que ha repercutido en el incremento de la contaminación a causa de tales sustancias. Para solucionar dicho problema, propone una un análisis de riesgo con una metodología que amplíe la caracterización de la mayoría de las sustancias químicas nocivas existentes en el mercado.

La población y la migración es tema desarrollado por parte de Rodríguez, Hernández y Aguilera, en el capítulo siete, denominado; Estudio demográfico de Luxemburgo: Enfoque Migratorio Ucraniano. Es un trabajo que aspira a ser paradigmático al analizar un estudio de caso, como lo es la migración ucraniana hacia Luxemburgo, producto de la invasión rusa a aquel país. La conclusión resulta clara: la migración ha sido motor para el crecimiento demográfico y de mercado en el país de acogida, y con ello señalan no los efectos nocivos, que muchas opiniones xenofóbicas suelen resaltar, sino los beneficios de tales fenómenos.

Continuando con el tema, en el capítulo ocho, Menchaca y Esparza analizan la relación existente entre magnitud urbana, población y ubicación geográfica en el norte de México. Jerarquía del sistema urbano de la región centro-norte de México: Análisis desde la regla rango-tamaño, es el nombre que otorgan al estudio de correlación, mediante la aplicación de la regla rango-tamaño, a partir de estudios econométricos con modelos de regresión lineal transformado en logaritmos para determinar la relación existente entre el rango, el tamaño y la ubicación geográfica de las ciudades de

la región norte de México. Concluyen que la región se caracteriza por la existencia de pocos centros urbanos de gran magnitud geográfica y demográfica.

El noveno capítulo; Competitividad del sector agrícola: una aproximación al caso Zacatecas, de Muñoz, Villa y Chávez, cierra el presente texto con la exposición del sector agrícola en Zacatecas, el cual subraya la polarización de los productores entre los alta y los deficientemente tecnificados. La baja productividad y competitividad en el agro zacatecano se muestra a través de la realización de un índice de competitividad georreferenciado y analizado mediante el índice de Moran Local, LISA, (Local Indicators of Spatial Association) por sus siglas en inglés.

Esperamos que el texto resulte interesante, pero, que, sobre todo, que aporte a la solución de los problemas y contribuya al conocimiento de los temas planteados.

Jorge Martínez Pérez,

Marlen Hernández Ortiz

Imelda Ortiz Medina

Capítulo 1

Globalización 4.0 y oligopolios globales: ¿Qué perspectivas de desarrollo para América Latina?

Eduardo Meneses

Resumen

Este capítulo tiene como objetivo general actualizar y problematizar algunos de los debates que se desarrollaron a lo largo de la segunda mitad del siglo XX en torno a las diferentes teorías y propuestas de Desarrollo para América latina, y en particular en su relación con los procesos de cambio tecnológico. Esto aparece como pertinente hoy más que nunca a causa de las profundas transformaciones tecnológicas que se han desarrollado en las últimas décadas en el marco de la denominada globalización 4.0. En efecto, esta fase histórica del capitalismo contemporáneo ha dado paso a una configuración de monopolios tecnológicos globales en escalas nunca vistas. En este contexto aparece hoy una tarea necesaria y urgente relativa a evaluar y actualizar profundamente los horizontes tradicionales de progreso ligados a proyectos de industrialización, transferencias tecnológicas y posibilidades reales de desarrollo endógeno de carácter nacional. Esta perspectiva impone la necesidad de una lectura crítica del horizonte mismo de Desarrollo ligado a la modernidad capitalista actual, y en particular la necesidad de una construcción alternativa al paradigma espacio-temporal desplegado por la globalización 4.0.

Palabras clave:
Desarrollo
Económico y
Social;
Cambio
tecnológico;
Globalización;
Estudios del
Tiempo;
Cuarta revolución
Industrial.

Meneses, E. (2026). Globalización 4.0 y oligopolios globales: ¿Qué perspectivas de desarrollo para América Latina? En J. Martínez Pérez, M. Hernández Ortiz, & I. Ortiz Medina, (Coords). *Desafíos contemporáneos. Un análisis multiescalar de la tecnología, la sociedad y el territorio*. (pp. 23-65). Religación Press. <http://doi.org/10.46652/religacionpress.363.c783>



Introducción

Esta reflexión estará dividida en tres partes, primeramente, se desarrollará una contextualización histórica relativa al lugar del cambio tecnológico en los debates sobre el Desarrollo en América Latina en el siglo XX, poniendo de realce nuevas dinámicas que vienen de cuestionar algunos de sus supuestos. Una segunda parte será de carácter teórico y se planteará efectuar una crítica profunda, desde un enfoque de la economía política y los estudios críticos del tiempo, al aceleracionismo tecnológico y tecno-utopismo que marcan los discursos hegemónicos del Desarrollo en la América Latina del siglo XXI. La tercera y última parte, tendrá como objetivo el problematizar, a partir de este marco teórico, una de las principales tesis alternativas que han emergido en los últimos años, en cuánto a la configuración de un supuesto “tecnofeudalismo” global. Esta última parte tendrá por objetivo el identificar los límites que tiene esta propuesta. En efecto, se propone aquí argumentar que la forma en que la caracterización “feudal” de las dinámicas actuales, aunque aparece cómo particularmente eficaz en el plano de la disputa cultural frente al aceleracionismo tecnológico, termina instalando ambigüedades en el análisis que terminan siendo profundamente problemáticas. Esto debido a que dicho planteamiento no permite evidenciar la forma en que la tecnología sigue estando subsumida a las lógicas mercantiles tradicionales del capital, aún en las condiciones de gran monopolización global que se han configurado en el marco de la globalización 4.0.

En particular, se argumentará que esta crítica es de central importancia por las consecuencias que tiene en cuánto a la configuración de paradigmas de “contracción espaciotemporal” de las relaciones sociales y económicas bajo la lógica del capital (Harvey, 1989), algo que la tesis “tecnofeudal” no permite explicar.

Finalmente, en la conclusión, se propondrá evidenciar las consecuencias de estos planteamientos para algunos de los desafíos

centrales para el debate del Desarrollo en América Latina. Esta reflexión se dará principalmente en base a la caracterización de las dinámicas globales de los oligopolios ligados a las transformaciones tecnológicas que llevan desplegándose desde hace dos décadas. Esta perspectiva impone la necesidad de una lectura crítica del horizonte mismo de Desarrollo ligado a la modernidad capitalista actual, y en particular la necesidad de una construcción alternativa al paradigma espacio-temporal desplegado por la globalización 4.0. Si bien este trabajo no permitirá profundizar en el detalle de estas propuestas, si se propone formular algunas de las preguntas que aparecen como fundamentales para el debate relativo al Desarrollo para América Latina en el siglo XXI.

Contextualización histórica de los debates relativos al desarrollo y el cambio tecnológico

La globalización 4.0 en debate

La forma de caracterizar el momento específico de desarrollo del capitalismo actuales lo que, en este capítulo, se denomina globalización 4.0, entendida como la convergencia entre la globalización de las relaciones capitalistas observada a lo largo del siglo XX, y un nuevo paradigma tecnológico emergente aceleradamente. Dicho paradigma se ha configurado en torno al desarrollo de la industria 4.0, que hace referencia a la interrelación de sistemas ciber físicos, enmarcados en una conectividad global (Foladori & Ortiz-Espinoza, 2022). Estas tecnologías incluyen avances en inteligencia artificial, robótica, internet de las cosas, impresión 3D, Mobile Cloud Computing, Machine to Machine (M2M), 5G, machine learning, nanotecnología, biotecnología, almacenamiento de energía, big data, computación cuántica, sistemas ciberfísicos, materiales inteligentes, entre otros (Foladori & Ortiz-Espinoza, 2022; López et al., 2018; Schwab, 2017).

Es así como, a lo largo de ésta última década, ha emergido un debate profundo en torno a las implicaciones globales de las

transformaciones tecnológicas antes mencionadas. Este debate se ha desarrollado tanto en los espacios académicos, como en los foros empresariales globales, y los medios de comunicación masivos. Abunda cada vez más la literatura acerca los diferentes desafíos y consecuencias socioeconómicas relativas a la implementación de estas tecnologías. Académicos como Foladori y Ortiz-Espinoza (2022), notan, desde un punto de vista estructural, cómo la suma de éstas puede significar una verdadera revolución tecnológica que transforma cualitativamente las dinámicas sociales y económicas modernas. Por otro lado, las agendas políticas de grupos empresariales, tales como el foro económico mundial, hacen hincapié en la necesidad de abrazar, lo más pronto posible, una revolución que transformará “la forma en que vivimos, trabajamos y nos relacionamos, de una manera nunca vista por la humanidad” (Schwab, 2017).

Situarnos en esta discusión es fundamental puesto que el debate relativo al Desarrollo en América Latina ha estado históricamente íntimamente ligado a la discusión en torno al cambio tecnológico y las transformaciones antes mencionadas apelan a una reactualización urgente de dicho debate.

En efecto, a lo largo del siglo XX los debates en torno del Desarrollo se han referido de una manera u otra a la división global del trabajo, los diferentes niveles de industrialización, y nociones tales como la modernización. Es en torno a estos debates que se articularon diferentes análisis y propuestas que buscaban enrumbar a los países más empobrecidos hacia una transformación de esa condición estructural, en gran parte herencia del pasado colonial en el que se configuró la modernidad capitalista (Cypher & Dietz, 2009, p. 18; Veltmeyer, 2012).

Contexto histórico relativo a la relación entre los debates sobre el Desarrollo en América Latina y las transformaciones tecnológicas

Para entender la centralidad de la tecnología en los debates relativos al Desarrollo en América Latina, es necesario reconstruir primero históricamente la forma en que se han conectado estas dos nociones. En efecto, la dinámica económica global moderna tiene sus raíces en la forma en que ésta se estructuró históricamente en función de los intereses y necesidades de los grandes imperios coloniales, subsumiendo el desarrollo de las economías de las colonias a los intereses de los primeros. Se fueron así configurando economías basadas en producciones de materia prima necesarias para el desarrollo de la industria y el abaratamiento del costo de la reproducción de la clase trabajadora de las metrópolis coloniales (Marini, 2008a). Si bien los procesos de independencia significaron un hito histórico en cuanto a la soberanía formal de las repúblicas nacientes latinoamericanas, africanas y asiáticas, esto no condujo a una transformación inmediata y mecánica en lo referente a las estructuras económicas de estos países. Las trayectorias post-independencia de las antiguas colonias han sido particularmente heterogéneas y contrastantes. Esto empujó, a lo largo del siglo XX, al desarrollo de toda una serie de debates en torno al Desarrollo, desde los países antiguamente colonizados. Estos debates estuvieron marcados por análisis que pusieron justamente en evidencia la configuración histórica de una estructura centro-periferia de la economía global, heredada del período colonial y subsumida por la lógica mercantil capitalista, en lo económico, y la lógica imperialista en lo político (Dos Santos, 2011; Veltmeyer, 2020).

Las teorías que se desarrollaron a partir de este diagnóstico de una dinámica centro-periferia de la economía global capitalista, llevaron a una crítica profunda de los postulados formulados por la economía neoclásica. Por un lado, esta crítica se dirigía hacia desmontar los postulados positivistas relativos a los beneficios de la especialización

de las economías nacionales según sus ventajas comparativas. En efecto, esto hacía referencia, de manera positiva, a las características de las fuerzas productivas propias de cada territorio, pero también, inevitablemente, buscaba mantener dinámicas económicas históricamente construidas en la fase colonial y que se mantenían subsumidas a los intereses de los antiguos imperios coloniales. Así la necesidad de una industrialización endógena se ponía en el centro de los debates relativos al desarrollo en América Latina. Por otro lado, las críticas a los postulados neoclásicos también se desarrollaron fuertemente hacia la imposibilidad de alcanzar el desarrollo en base al eje del libre comercio como mediación necesaria para alcanzar los equilibrios antes mencionados (Cypher & Dietz, 2009, pp. 168-180). Emergía de esta manera otra disputa fundamental en el continente frente a los debates relativos a la pertinencia de los mecanismos de proteccionismo soberano necesarios para desarrollar el continente.

De esta manera, se desarrollaron a lo largo de todo el siglo XX, en torno a esta lectura centro-periferia, varias teorías críticas frente a la noción hegemónica de Desarrollo, basada en los postulados económicos neoclásicos e impulsada por la agenda norteamericana de cooperación para el Desarrollo (Veltmeyer, 2020). En particular, es importante resaltar que dicha agenda tenía como uno de sus principales objetivos el limitar la expansión de las ideas socialistas en los países más empobrecidos (Veltmeyer, 2012, 2020). Sin embargo, las teorías críticas con dicha agenda provinieron de varios fundamentos teóricos e ideológicos, yendo desde un estructuralismo soberanista que no necesariamente se inscribía en la disputa de los polos que estructuraban la guerra fría, hasta una corriente de teorías marxistas claramente asociada a las luchas antiimperialistas latinoamericanas. A pesar de esta gran diversidad de teorías que convergían en el debate crítico hacia los conceptos hegemónicos del desarrollo, uno de los puntos comunes que compartían entre sí era la importancia y centralidad de la tecnología para sus análisis y la necesidad de problematizar los horizontes de industrialización como

vía hacia el desarrollo económico y el posible bienestar social (Cypher & Dietz, 2009, pp. 422-444).

Puntos centrales relativos al cambio tecnológico en los debates relativos al Desarrollo en la América Latina del Siglo XX

En el marco del debate general antes mencionados, el cambio tecnológico, la industrialización y el debate en torno al rol progresista de la burguesía industrial configuraban una parte central de la discusión relativa al Desarrollo (Dos Santos, 2011; Marini, 2008b). Esto podía observarse tanto en los análisis relativos al deterioro de los términos de intercambio entre economías primario exportadoras y economías industriales, desarrollados por los estructuralistas, como en los análisis de influencia marxista de las teorías de la dependencia que distinguían las transferencias de valor de la periferia hacia el centro en base a las diferencias entre los procesos de creación de plusvalor relativo (propios de los procesos productivos industrializados) y plusvalor absoluto (característica de procesos productivos no industrializados).

Algunos de los desafíos teóricos y prácticos que se evidenciaron en aquellos debates se estructuraron en torno a la posibilidad misma de transitar un camino hacia el desarrollo. Los estructuralistas defendían la industrialización por sustitución de importaciones y se oponían a dejar dicha posibilidad a la merced de la mano invisible del mercado, habiendo analizado empíricamente las consecuencias de éste para perpetuar las diferencias estructurales de los países del centro y de la periferia. Los institucionalistas complementaban estos análisis haciendo énfasis en las características políticas, institucionales y culturales como factores facilitadores o obstaculizantes de tales cambios. Los teóricos de la dependencia criticaban dicha posibilidad afirmando que desarrollo y subdesarrollo no eran más que dos caras de una moneda y que los países centrales sólo habían logrado industrializarse en base al despojos de los territorios periféricos,

haciendo de paso una crítica fundamental a las burguesías periféricas que se habían configurado únicamente en función de esta dinámica y que aparecían como incapaces de cumplir un rol progresista (Cypher & Dietz, 2009; Kay, 2019; Veltmeyer, 2012).

En estos debates, la problematización del cambio tecnológico generó preguntas fundamentales en torno a las posibilidades de diversos proyectos de Desarrollo, entre las cuales podemos resaltar tres que nos parecen particularmente relevantes en la actualidad:

- Las barreras de costos que implican los procesos de industrialización, no sólo en términos de costos materiales y el rol de la inversión extranjera en éstos, sino también en términos de licencias de propiedad intelectual y acceso al conocimiento.
- La capacidad de los procesos de industrialización para generar empleo, en los cuáles se oponen análisis acerca de los círculos virtuosos ligados a la formalización del empleo, contrastados con la dinámica de mecanización de los procesos productivos que ocupan cada vez menos manos de obra
- La posibilidad para desarrollar mercados internos y economías nacionales/regionales de escala, que permitan deconstruir las estructuras históricas centro-periferia, esta perspectiva pareciendo enfrentarse a constataciones empíricas que demuestran en muchos casos la prevalencia de procesos extractivistas y agrícolas cuya precariedad del trabajo no permite el desarrollo de dichos mercados.

La mayoría de estos puntos siguen estando presentes en los debates actuales relativos al Desarrollo en América Latina. Sin embargo, las transformaciones inducidas por la globalización 4.0 han obligado a reformular algunos de ellos, principalmente en cuanto a puntos tales como la forma que se ha estructurado la matriz global de innovación tecnológica en torno a lo que algunos denominan el

dominio imperialista de la Silicon Valley (Delgado Wise, 2019; 2020) o la dependencia cognitiva que el manejo de la propiedad intelectual ha inducido en las relaciones centro-periferia (Ramírez, 2018). Encontramos igualmente críticas a un nivel aún más profundo, relativas al despliegue creciente de una ciencia ficticia totalmente subsumida a la esfera de acumulación del capital que ya ni siquiera es compatible con el mito desarrollista del siglo XX (Foladori, 2014, 2016, 2017). En efecto, la forma en que la Industria 4.0 ha transformado las relaciones económicas y sociales en las últimas dos décadas, lleva a cuestionar hasta qué punto el planteamiento de estos desafíos sigue estando vigente y si su formulación debe ser reactualizada.

Sin embargo, aunque en este capítulo se invita a profundizar cada una de estas tesis, el enfoque propuesto será un poco distinto. En efecto uno de los puntos poco abordados en el debate actual tiene que ver con el hecho de que la innovación tecnológica, subsumida a la lógica del capital, configura un régimen espacio temporal directamente funcional al capital oligopólico globalizado que mantiene el control de las tecnologías relevantes de en torno a las cuales se estructura la globalización 4.0. Para esto es necesario resaltar porque tiempo y espacio aparecen como factores importantes, pero generalmente ignorados en esta discusión.

En efecto, de forma general, es posible evidenciar en los debates actuales una serie de planteamientos referentes al cambio tecnológico y su relación con el desarrollo, que se ubican en un amplio paraguas teórico e ideológico. Sin embargo, la mayoría de éstos no problematizan realmente las nociones de tiempo y espacio, que paradójicamente son factores centrales dentro de la caracterización de la globalización 4.0. En efecto, por un lado, es evidente el peso que mantienen las teorías hegemónicas del desarrollo, que en el marco de la globalización 4.0 han desplegado todo un argumentario impregnado de un tecnoutopismo aceleracionista, que apela a acelerar cada vez más una adopción acrítica de las tecnologías de la industria 4.0 (Schwab, 2017). Esta postura en particular reproduce una visión neoclásica

lineal, homogénea e invariable de los paradigmas de tiempo y espacio en los cuales se despliegan las relaciones sociales y económicas.

Por otro lado, hay una postura creciente que postula una mutación fundamental del capitalismo que estaría convirtiéndose en una especie de regresión civilizatoria hacia lo que algunos autores denominan un tecnofeudalismo, refiriéndose al poder monopólico que se ve proyectado, en el contexto de la globalización 4.0, a dimensiones nunca experimentadas en la sociedad humana. Esta postura, al reivindicar un desvanecimiento de la competencia como factor estructurante central de la economía actual (Varoufakis, 2024a, 2024b), termina eliminando de la ecuación un factor central para entender el paradigma espacio-temporal moderno caracterizado por una “compresión espaciotemporal” de las relaciones sociales y económicas (Harvey, 1989), y la dictadura de la inmediatez que configura una parte central de la experiencia humana en el siglo XXI (Han, 2015).

Por esta razón, se postula en este capítulo el hecho de que dichas posturas terminan omitiendo un factor central de la complejidad de las transformaciones socioeconómicas en curso. En efecto, el debate necesario para entender los desafíos que enfrenta América Latina en el marco de estas transformaciones requiere una problematización relativa a los estudios del tiempo, fundamental para permitirnos dar inteligibilidad a las transformaciones en curso. Sin esta problematización el analizar tanto las lógicas internas del cambio tecnológico, en el marco de las dinámicas actuales del capitalismo, como caracterizar a los principales actores económicos de esta fase histórica termina apareciendo como una tarea inconclusa. Por esta razón, la segunda parte de este capítulo propondrá sentar una base teórica para poder integrar este aspecto central en los debates contemporáneos.

El proceso de innovación tecnológica: una mirada teórico-metodológica desde la economía política y los estudios críticos del tiempo

Raíces históricas del tecno-utopismo y del fetiche de la neutralidad de la ciencia

Una de las perspectivas más difundidas en torno al cambio tecnológico, en particular en el marco de la denominada cuarta revolución industrial, es la que postula sin matiz alguno el hecho de que el desarrollo tecnológico conllevaría intrínseca y mecánicamente al progreso humano (Mottes, 2020; Segal, 2005). Esta perspectiva oculta de esta manera tanto los debates en cuánto a las dinámicas globales centro-periferia como a las consecuencias para la emancipación humana del paradigma espacio-temporal que se despliega con la globalización 4.0. Estas ideas, y su particular efecto de ocultación, tienen una raíz histórica muy profunda en la relación que la modernidad capitalista ha construido con la ciencia y la tecnología. En efecto, Lewis Mumford en una de sus obras más influyentes al respecto de la historia de la Tecnología, intitulada *Técnica y Civilización* (2020), destaca tres fases que marcan el desarrollo de lo que Mumford denomina la técnica en la historia humana.

Cabe primeramente destacar que la diferencia entre técnica y tecnología para Mumford radica en que la primera es una perspectiva general en torno a cómo el ser humano utiliza herramientas, destrezas, se organiza social y culturalmente para responder a sus necesidades. El trabajo aparece aquí como la mediación entre ser humano y naturaleza para permitir su reproducción social, esta postura puede encontrar sus raíces en las teorías marxistas (Marx, 2008a), al igual que un desarrollo en trabajos posteriores como los relativos al metabolismo social (Bellamy Foster, 2013), que hacen un énfasis en particular sobre los impactos ambientales de estas dinámicas. En cuanto a la tecnología, Mumford se refiere a este concepto en relación con la forma en que emergen los sistemas automatizados industriales a partir del siglo XVIII, en el marco de la revolución industrial capitalista. En este contexto, Mumford hace un particular énfasis en lo que la economía política ha descrito históricamente como una

inversión donde se pasa de un dominio de las herramientas por el trabajador a una alienación del ser humano por la máquina (Marx, 2008a; Pasquinelli, 2019).

Sin entrar más en el detalle de esta distinción técnica/tecnología, lo que nos interesa aquí, en torno a las raíces históricas del tecno-utopismo, es retomar lo que Mumford destaca al dividir las fases del desarrollo de la técnica en la historia humana en tres fases (Mumford, 2020):

- La fase eotécnica: palabra que proviene del griego ἠώς, “ēos”, que significa amanecer, y τέχνη, “téchne”, que significa arte, habilidad o destreza. Esta hace referencia a una primera fase de la tecnología en la cual las herramientas estaban basadas en imitar los procesos naturales a través de herramientas básicas, que va aproximadamente de 300 AC a 500 AC.
- La fase paleotécnica: del griego πάλαιος, “palaiós”, que significa antiguo o viejo. En este caso Mumford hace referencia a un desarrollo tecnológico que conoce saltos importantes en términos de la mecanización en base a fuentes de energía tales como el agua, el viento o la tracción animal. Si bien los procesos de mecanización ya están presentes, los conocimientos permanecen descentralizados, localizados y directamente relacionados a las características naturales, culturales y sociales de sus entornos locales. Esta fase va desde 500 AC hasta el siglo XVIII.
- La fase neotécnica: del griego νέος, “neos”, que hace referencia a las tecnologías de la era industrial, que si bien tenían una base material en las técnicas previamente desarrolladas, pasan de una subsunción formal del trabajo que organiza la actividad productiva en función de las lógicas mercantiles, pero no transforma fundamentalmente sus procesos internos, hacia una subsunción real del trabajo que organiza los procesos productivos en función de los

intereses del capital, principalmente utilizando los avances científicos para la aceleración de los tiempos productivos y los aumentos de productividad (Harvey, 2019; Marx, 2008a). Dicha fase que empieza en la revolución industrial sigue aún vigente en la actualidad.

Esta distinción es fundamental para poder entender cómo se ha constituido históricamente la ideología del tecno-utopismo y su hegemonía en los discursos del progreso (Garrido et al., 2018), en particular porque representa una parte central de los discursos dominantes que enlazan la tecnología y la noción de Desarrollo neoclásica. En este sentido, cabe resaltar la forma en que el paso de la fase paleotécnica a la fase neotécnica significó al mismo tiempo un paso cultural de una técnica que se desarrolla “inspirándose” en la naturaleza y los conocimientos empíricos previos, hacia una técnica que poco a poco se propone “dominar” la naturaleza en base al conocimiento científico cada vez más teórico y abstracto (Echeverría, 2009, pp. 7-19). Bolívar Echeverría, sitúa justamente en esta ruptura, acontecida alrededor del siglo XI, la emergencia de lo que denomina la modernidad como una,

respuesta positiva de la vida civilizada a un hecho antes desconocido que la vida productiva reconoce en la práctica cuando “percibe” que la clave de la productividad del trabajo humano ha dejado de estar en el mejoramiento o uso inventivo de la tecnología heredada y ha pasado a centrarse en la invención de nuevas tecnologías, es decir, no en el perfeccionamiento casual de los mismos instrumentos sino en la introducción voluntaria y premeditada de instrumentos nuevos. (Echeverría, 2009, p. 19)

Esta racionalidad científica, cuyo apogeo Mumford sitúa en la filosofía renacentista y de la ilustración, tiene una base material en el hecho de que la ciencia adquiere, en esa época, un lugar propio

dentro de la división social del trabajo adquiriendo una “dinámica propia en términos de formación, institucionalización, evaluación y divulgación” (Foladori, 2014, p. 46). De esta manera si desde los inicios de la revolución industrial, en el siglo XVIII, hasta mediados del siglo XIX la innovación tecnológica se basaba en los conocimientos empíricos de la clase trabajadora, poco a poco este proceso pasa a situarse en departamentos de ciencia y tecnología que se situaban dentro de las empresas (Foladori, 2014, p. 46). Posteriormente, en base a esta especialización progresiva, termina configurándose en una industria per se, cuya mercancía es la tecnología misma, y sus clientes las diferentes ramas productivas en las que buscan aplicarse las innovaciones tecnológicas de dicha “industria tecnológica” (Harvey, 2019). Cabe resaltar que esta dinámica lejos de haberse frenado con la Industria 4.0 no ha hecho más que profundizarse en un proceso de globalización 4.0 donde emergen oligopolios globales de las nuevas tecnologías y lo que algunos autores han denominado el “sistema imperial de innovación de la Silicon Valley” (Delgado Wise, 2020), la siliconización del mundo (Sadin, 2020).

Es justamente en base a esta emergencia de la ciencia y tecnología como una esfera específica de la actividad humana que se ha desarrollado la noción de una neutralidad de la ciencia, y su consecuente filosofía tecno-utopista, defendida justamente por sus principales actores, ingenieros y empresarios (Segal, 2005). El gran riesgo de esta perspectiva de la tecnología es que se presenta como una esfera autónoma por fuera de todas las dinámicas de poder que estructuran la sociedad capitalista moderna. La esfera de la ciencia y tecnología aparece fetichizada como una esfera autónoma guiada por una única racionalidad científica, hermética a cualquier interés de clase, a cualquier sesgo colonial, racial o patriarcal. La conclusión a la que llegan los auspiciantes de esta perspectiva es que dicha racionalidad autónoma es necesariamente beneficiosa para el progreso humano, por situarse por encima de cualquier interés particular y apoyar decisiones y trayectorias racionalmente definidas por fuera de cualquier estructura de poder. Al verse expulsada toda

relación de poder, deviene totalmente imposible el estudio de la subsunción de la ciencia y la tecnología al capital, al igual que las relaciones específicas que terminan configurando el paradigma espacio temporal de la globalización 4.0.

La consecuencia a la cual desemboca dicho tecno-utopismo se convierte en un dogma en que postula el imperativo de acelerar el desarrollo tecnológico y la adopción acrítica de nuevas tecnologías como una promesa infalible para la obtención del progreso humano. Esto es lo que en las críticas desde la sociología de la ciencia se ha denominado un “determinismo tecnológico” (Diéguez, 2005).

Es particularmente relevante, para nuestra discusión, notar la conexión que dicha perspectiva puede tener con las narrativas hegemónicas del Desarrollo basadas en la economía neoclásica y la creencia en el libre mercado como promesa para el crecimiento económico y el desarrollo social. El concepto hegemónico de Desarrollo se convierte en una máquina del olvido donde a la aspiración al progreso humano se le despoja de la posibilidad de preguntarse de dónde vienen las raíces de la diferenciación socioeconómica y cuál ha sido la historia que ha configurado las inequidades que configuran el presente. Se configura una máquina del olvido que invita a “sacrificar el presente para construir un futuro” (Grondona, 2020), que sólo puede seguir un camino ya trazado, el de los países “desarrollados”, a través de recetas económicas presentadas como dogmas absolutos e incuestionables. De la misma manera el determinismo tecnológico y sus postulados aceleracionismo nos invitan a abrazar una tecnología “neutra”, y cuya trayectoria sería inevitable puesto que resultaría de una racionalidad científica “pura” por fuera de toda dinámica de poder.

Consecuencias de la subsunción de la ciencia y tecnología a la esfera de acumulación del capital

Hemos ya mencionado cómo históricamente la ciencia y tecnología se configuraron como una esfera propia de la división

social del trabajo, convirtiéndose en la mercancía de la “industria tecnológica”. Si bien no abordaremos aquí toda la amplia literatura al respecto de cómo la innovación tecnológica, al ser parte de la esfera de acumulación de capital, está configurada por los intereses del capital, podemos resaltar tres de sus consecuencias fundamentales: la contradicción entre la ciencia como esfera de valorización del capital y servicio a la comunidad, la limitación del proceso de innovación en sí mismo a dinámicas que puedan responder a los imperativos comerciales y el limitante que implica la privatización de la propiedad intelectual para el desarrollo del conocimiento.

En efecto, en cuanto a la primera consecuencia, el hecho de que la esfera de la innovación se circunscribe estructuralmente a una lógica de acumulación del capital en donde todo desarrollo científico que no permita directamente contribuir a dicha acumulación pasará a segundo plano frente a otro tipo de innovaciones científicas y tecnológicas que sí lo hagan. El ejemplo de la industria farmacéutica capitalista y su incapacidad a responder a los desafíos estructurales de la salud humana (Lexchin, 2020), es tal vez uno de los ejemplos más evidentes de lo que autores como Foladori denominan la contradicción entre una ciencia incorporada a la esfera de valorización del capital y una ciencia como servicio a la comunidad (Foladori, 2014).

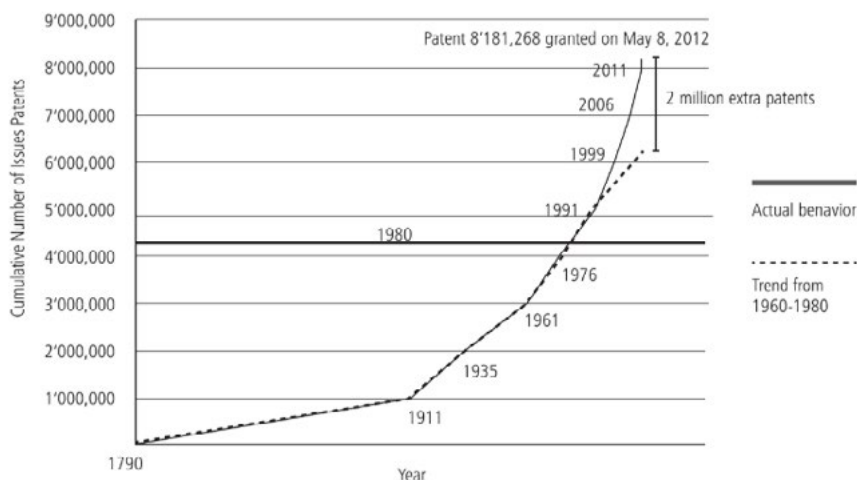
En lo referente a la segunda consecuencia, la manera en que el capital determina la forma en que se desarrolla la innovación tecnológica. Por un lado, esto se vuelve particularmente evidente cuando se evidencia el rol que históricamente ha tenido la inversión pública en el desarrollo de la innovación tecnológica radical (la más disruptiva pero también más arriesgada), frente a la innovación tecnológica agregativa (que adapta al mercado a las innovaciones radicales) que caracteriza a la industria privada (Mazzucato, 2014). Sin embargo, es necesario ir más allá de esta crítica clásica en un momento en que se configuran nuevos modos dominantes de innovación basados en modelos privados, en los cuáles cada vez más start ups toman los riesgos de la innovación tecnológica,

con la aspiración de poder ser compradas por grandes oligopolios tecnológicos en busca de patentar dichos avances. Esto es lo que ha caracterizado el modelo de apropiación del conocimiento de la Silicon Valley (Delgado Wise, 2019, 2020). Este modelo tiene la particularidad de que, al ser parte de la esfera de valorización del capital, debe enfrentar barreras comerciales estructurales para la comercialización de la tecnología: los costos de la tecnología y la capacitación de la mano de obra destinada a manejarla. Es así como, en el proceso de innovación tecnológica ligado a la globalización de la economía que se desplegó desde mediados del siglo XX, se ha desarrollado una tendencia a la plataformización de la innovación tecnológica (Meneses, 2024). Dicha plataformización hace referencia a procesos en donde la tecnología tiende a desarrollar innovaciones tecnológicas que favorecen soluciones modulares capaces de integrarse, por diseño, en diversas configuraciones mercantiles que respondan a las diferentes necesidades de diferentes ramas productivas. No todas las innovaciones tecnológicas son capaces de responder a dicha tendencia, de manera que la innovación tecnológica termina reduciendo cada vez más su alcance en función de las determinantes mercantiles a las que debe responder.

En cuanto a la tercera consecuencia mencionada, es necesario también resaltar las implicaciones que tiene el desarrollo del conocimiento humano bajo su subsunción al proceso de valorización de capital, para las perspectivas de desarrollo de los territorios periféricos. Esto tiene primeramente una consecuencia fundamental en cuanto a el tipo de investigación científica, que se desarrolla que cada vez en términos de lo que podría denominarse una “ciencia ficticia” en la cual precio de la propiedad intelectual, apropiado por grandes corporaciones tecnológicas, se vuelve el fin en sí, suplantando a la ciencia en su capacidad de servicio a la comunidad. Esto ha llevado a varios autores a considerar que dicho proceso termina configurándose como un freno al desarrollo en lugar de una contribución al mismo. Así, el desarrollo del conocimiento se ve limitado a un alcance restringido en el cual se prioriza el valor

(ficticio), a través de mecanismos legales relativos a la propiedad intelectual (Delgado Wise, 2019, 2020; Foladori, 2014; Grondona, 2020; Ramírez Gallegos, 2014a; Ramírez, 2018). Esto no sólo limita el conocimiento en sí, siendo un freno a la profundización del saber humano en general, sino que además profundiza dinámicas de dependencia cognitiva de los países periféricos hacia los grupos económicos que han despojado y privatizado dicho conocimiento (Ramírez, 2018). Si bien esta dinámica ya fue ampliamente discutida por los debates relativos al desarrollo que se llevaron a cabo en la segunda mitad del siglo XX, como lo vimos anteriormente, es necesario resaltar que la aceleración de este proceso (ver figura 1) ha configurado un nuevo escenario adverso para los horizontes de desarrollo de los países periféricos.

Figura 1. Evolución de las patentes registradas en Estados Unidos



Fuente: Smith (2012).

Es posible entonces resaltar cómo una crítica a los conceptos de neutralidad de la ciencia, tecno-utopismo y determinismo tecnológico se vuelve fundamental para poder evidenciar cómo las trayectorias de la ciencia y de la tecnología no responden a una racionalidad autónoma, alejada de dinámicas de poder. Al contrario, vemos claramente emerger determinantes y limitantes para el desarrollo del

conocimiento que responden intrínsecamente a su mercantilización en el marco de la modernidad capitalista.

Una aproximación al cambio tecnológico desde la economía política

La crítica a los postulados tecno-utopistas y deterministas de la tecnología nos ha permitido deconstruir los mitos relativos a la neutralidad de la tecnología y los imperativos aceleracionistas que encontramos presentes en las teorías hegemónicas del Desarrollo. Sin embargo, uno de los objetivos principales de este trabajo es el de poder evidenciar a la aceleración de los tiempos económicos y sociales como uno de los factores fundamentales dentro del debate relativo al Desarrollo. En este contexto aparece como necesario el poder desarrollar un marco teórico de análisis que permita conectar dicha aceleración con las dinámicas propias del cambio tecnológico dentro de la modernidad capitalista.

En este sentido, retomaremos lo trabajado por Pasquinelli (2019), quién plantea que la innovación tecnológica significa en realidad un proceso de objetivación del conocimiento histórico en maquinaria. Así, al preguntarse quién es el inventor de una máquina, la respuesta de Pasquinelli no es el trabajador, ni el ingeniero ni el emprendedor o dueño de la fábrica. Para Pasquinelli, la máquina emerge como una síntesis de la división social del trabajo (Pasquinelli, 2019, p. 45). De esta manera la creación de la tecnología no emerge de un “análisis” de la naturaleza, sino de un “análisis” del trabajo.

A partir de este entendimiento de la innovación tecnológica como síntesis de la división social del trabajo, Pasquinelli puede afirmar que “cualquier interfaz maquínica del trabajo es una relación social, tanto como el capital; y la máquina, al igual que el dinero, media la relación entre el trabajo y el capital – lo que podría denominarse una teoría del valor trabajo mediada por máquinas” (2019). En base a esto le es posible determinar tres dinámicas fundamentales las dos ligadas a la aceleración del tiempo y la tercera ligada a la expansión a escala

global de las dinámicas de acumulación capitalista. Resaltamos además que, a pesar de hacer un análisis específico de cada uno de estos aspectos, las dinámicas espaciales y temporales no pueden ser separadas, al contrario solo pueden ser entendidas en una unidad dialéctica espacio-tiempo, en la cual el proceso de acumulación capitalista implica una tendencia hacia la ampliación espacial de sus procesos de acumulación a nivel global (Amin, 2001; Barreda Marín, 1995), al mismo tiempo que una aceleración de los tiempos sociales y productivos.

En efecto, la primera de estas tendencias históricas de la innovación tecnológica bajo el capitalismo se refiere a la objetivación del conocimiento colectivo e histórico de la clase trabajadora en las máquinas y su apropiación tanto material (por parte de los poseedores de las máquinas mismas), como jurídica (a través de los mecanismos relativos a la propiedad intelectual). Esto implica por un lado un despojo del conocimiento de la clase trabajadora, pero también una des-especialización de esta, que se ve cada vez más reducida a un rol de sumisión a los ritmos y características impuestos por la mecanización de los procesos económicos. De esta manera, la aceleración de los tiempos económicos y sociales, bajo el imperativo de competencia entre capitalistas, aparece aquí como una tendencia fundamental de la innovación tecnológica en la modernidad capitalista.

Cabe resaltar que Pasquinelli no efectúa simplemente una reformulación de las tesis preexistentes relativas al intelecto general de autores tales como Negri y Hardt (2003). En efecto, éstos últimos parten de una idea del intelecto general como “una inteligencia social, colectiva, creada por conocimientos, técnicas y saberes acumulados” (Hardt & Negri, 2003, p. 321). Si bien ellos reconocen que este intelecto general va más allá del plano intelectual y aborda también el ámbito de lo corporal, su conclusión termina siendo particularmente optimista, al ver al conocimiento colectivo como base de la dinámica capitalista actual. Es en este punto donde los postulados de Pasquinelli y de Negri difieren radicalmente, puesto que el primero sitúa al intelecto general

de Negri dentro de la construcción histórica de la división social del trabajo (Heinrich, 2013; Pasquinelli, 2019). Aparecen entonces, al igual que en la crítica que efectuamos en un inicio del determinismo tecnológico, toda una serie de determinantes que encapsulan, limitan y dirigen los conocimientos colectivos en función de los procesos de valorización del capital. Si bien es verdad que el conocimiento en sí tiene una capacidad casi ilimitada de reproducción social, que es coartada únicamente a través de mecanismos legales arbitrarios relativos a la propiedad intelectual, la perspectiva de Pasquinelli permite también ver que su producción misma, desde su materialidad basada en la división social del trabajo, ya está directamente incluida dentro de determinantes ligadas a la valorización del capital.

Esto parece fundamental puesto que una de las características fundamentales de la innovación tecnológica en el marco de la modernidad capitalista es la búsqueda de aceleración de los tiempos económicos y el reemplazo de la fuerza de trabajo. Plantear el potencial progresista del intelecto general por fuera de esta determinación oculta en sí la necesidad de replantear el origen y la direccionalidad mismos del intelecto general producido los últimos dos siglos. Surge entonces una reflexión central relativa al potencial emancipador de la socialización del conocimiento, que es sin duda una base fundamental para una transición hacia una sociedad socialmente justa, pero que al mismo tiempo nos apela a analizar críticamente los límites intrínsecos de dicho conocimiento para la creación de una alternativa a la modernidad capitalista. Aquí de nuevo la dimensión de aceleración de los tiempos sociales y económicos ligados a la innovación tecnológica aparece como un factor fundamental del debate relativo al desarrollo.

Un ejemplo de esto puede encontrarse en los debates actuales referentes a las nacientes cooperativas de trabajadores de plataformas. ¿Es posible generar un trabajo digno y emancipador en base a tecnologías digitales diseñadas para la aceleración de los tiempos de trabajo, en detrimento de las características emancipadoras del

mismo y que sólo puede pensarse en el marco de un ejército de reserva masivo y precario de trabajadores? No nos planteamos aquí responder dicha pregunta, pero sí parece fundamental poder resaltar la importancia de hacer esta distinción entre la innovación como fruto de un intelecto general abstracto y la innovación como fruto de una división social del trabajo material e históricamente situada.

La segunda dinámica que nos parece importante poder resaltar está igualmente ligada a la dimensión temporal, pero esta vez no proviene de la lógica misma de la innovación tecnológica, sino que constituye una dinámica de retroalimentación que la refuerza, en base a sus propias consecuencias. En efecto, la caída tendencial de la tasa media de ganancia evidenciada desde hace más de dos siglos por los teóricos de la economía política conlleva a su vez una presión suplementaria sobre la competencia que disputa un parte de ganancia que decrece cada vez más con el proceso de mecanización del trabajo (Harvey, 2019; Heinrich, 2013; Marx, 2008b; Pasquinelli, 2019). De aquí que una vez más la aceleración de los tiempos económicos aparece como una característica fundamental de la competencia capitalista. La novedad aquí es que dicha presión se ejerce particularmente en los procesos productivos, pero también mucho más allá en el imperativo de acelerar las dinámicas económicas relativas al intercambio, la distribución y consumo.

A esto debe añadirse el hecho de que la industria 4.0 y su mediación tecnológica, en el trabajo en casa o a través de dispositivos móviles, por ejemplo, ha conllevado a desdibujar los límites entre espacios de trabajo y de vida, acelerando además tiempos de vida familiar y social que están por fuera del ámbito tradicionalmente económico. Además de la difuminación de estos límites de tiempos y espacios de trabajo, los procesos de datificación de los procesos sociales (Couldry & Mejias, 2019), que alimentan las tecnologías de Big Data e inteligencia artificial empujan cada vez más no sólo a la aceleración de tiempos de vida y de trabajo, sino también a su superposición. Esta última es una dinámica particularmente nueva

que distingue la fase actual del capitalismo en la era de la industria 4.0 de fases anteriores.

Finalmente, la tercera tendencia estructural que nos parece relevante resaltar en relación con la innovación tecnológica, tiene que ver con la dimensión espacial ligada a la denominada globalización 4.0. Dicha dinámica parece fundamental poder analizarla por el grado de concentración que la industria tecnológica 4.0 ha desarrollado en las últimas dos décadas en torno a las denominadas Big Tech (Rajput, 2024). Sin embargo, es esencial, de nuevo, poder efectuar un análisis histórico que permita evidenciar continuidades y diferencias con las fases previas del capitalismo de la segunda mitad del siglo XX.

En este sentido podemos retomar lo trabajado por Samir Amin en torno a el proceso histórico de reubicación de las industrias manufactureras que se configuró como continuidad de la fase imperialista que se desplegó a finales del siglo XIX y XX. Dicha fase dio nacimiento a las grandes corporaciones oligopólicas actuales capaces de manejar estas cadenas globales de valor (Amin, 2001, pp. 254-256). Cabe resaltar que Amin habla en términos de capital monopolista globalizado en continuidad con lo trabajado por Baran y Sweezy en los años 60 sobre el capital monopolístico (Baran & Sweezy, 1966). Se utiliza aquí el término de oligopolios por razones que serán explicitadas en la tercera parte. Dicho proceso ligado a la financiarización liberalizada en los años 70 dio paso a un predominio de lo que Amin denomina un capital abstracto. Esta noción hace referencia a la dificultad de poner identidades reales de nombres o familias detrás de los sistemas de producción estructurados cada vez más en grandes grupos corporativos enlazados con el capital financiero. Es justamente en base al predominio de este capital abstracto en la economía global, y en particular al control de los sistemas productivos en las periferias, que emerge la globalización, que Amin caracteriza como la nueva fase del imperialismo.

Estos procesos pueden ser directamente enlazados con lo descrito anteriormente sobre la emergencia de una industria tecnológica a

lo largo del siglo XX que fue centralizando no solo el capital ligado a la construcción material de dispositivos tecnológicos, sino que desarrolló prácticas oligopólicas en torno a su capacidad para cercar el conocimiento en a través de la propiedad intelectual y los tratados internacionales de protección de esta. Cabe resaltar que la expansión a escala global de las cadenas de valor solo pudo ser posible gracias a las tecnologías de la información y de la comunicación en un primer lugar, y en un segundo momento gracias al desarrollo de la Industria 4.0 que permitió expandir el espacio de acumulación de capital a todo el planeta gracias a su capacidad para acelerar los procesos productivos. En este sentido es que podemos denominar esta nueva dinámica como una globalización 4.0, ligada a las tecnologías antes mencionadas. Es fundamental resaltar cómo este proceso está ligado, siguiendo a lo trabajado por Amin, a una dinámica de control centralizado en pocas corporaciones de los diversos sistemas productivos periféricos. Esta es una dinámica que no ha hecho más que reforzar las desigualdades económicas entre países.

Es posible entonces ver cómo, en función del desarrollo de la industria 4.0, el imperativo de aceleración de los tiempos productivos se ha expandido a todas las esferas de la vida, al igual que el proceso de globalización, que se ha profundizado en base a una nueva división del trabajo cada vez más automatizada y cuyo dominio va siendo centralizado en pocas manos. Son justamente éstas dinámicas las que han dado paso a un reciente debate sobre la caracterización del capitalismo en esta nueva fase. Algunos de los principales críticos de la dinámica oligopólica tecnológica actual han caracterizado esta fase como un tecnofeudalismo (Varoufakis, 2024a), que en lugar de basarse en las dinámicas tradicionales de competencia capitalista estaría regido por una renta tecnológica. Esto hace referencia a los conceptos tradicionales de renta de la tierra ligados al feudalismo precapitalista. Esta caracterización conlleva a varias conclusiones fundamentales que es necesario poder abordar de forma crítica, sobre todo en lo referente a las tendencias relativas al tiempo que hemos podido describir hasta ahora.

Debates en torno a la globalización 4.0: ¿Fin del capitalismo y emergencia de un tecnofeudalismo?

El auge del “capital-nube” y las tesis del tecnofeudalismo

Los debates sobre las mutaciones fundamentales del capitalismo en relación con las nuevas tecnologías no son nuevos, y en las últimas décadas han tenido discusiones profundas en torno a temas como el lugar que ocupa el conocimiento la configuración de lo que algunos denominan un capitalismo cognitivo (Hardt & Negri, 2003; Ramírez Gallegos, 2014b; Ramírez, 2018). Han surgido otras perspectivas más específicas centradas por ejemplo en el rol de los datos en las plataformas digitales y herramientas de vigilancia en torno a conceptos como el capitalismo de plataformas (Srnicek, 2018) o el capitalismo de vigilancia (Zuboff, 2021).

Éstos debates ya han sido ampliamente discutidos, aún si dichas discusiones no han podido encontrar un cierre. Sin embargo, este capítulo se centrará en analizar uno de estos debates en particular, que está emergiendo y tomando mucha fuerza. Se trata del postulado de una evolución del capitalismo hacia lo que algunos autores denominan un tecnofeudalismo (Varoufakis, 2024a). Más allá de la novedad, se propone aquí efectuar una lectura crítica de este argumento puesto que esta discusión permitirá evidenciar la importancia la configuración de un paradigma espacio-temporal específico ligado a la globalización 4.0. Este aparece como uno de los principales distintivos del capitalismo actual, y no podría ser explicado evacuando la lógica de la competencia mercantil dentro del capitalismo actual.

Para esto se analizará primeramente las propuestas sintetizadas recientemente por Yanis Varoufakis, antiguo ministro de finanzas griego, en su libro “Tecnofeudalismo, el sigiloso sucesor del capitalismo” (Varoufakis, 2024a). Aparece como interesante el poder basar la crítica sobre este escrito en cuánto éste propone efectuar una síntesis tanto teórica como empírica de las tendencias económicas

globales en la actualidad y de su relación con los cambios tecnológicos ligados a la industria 4.0. Además, Varoufakis inscribe el análisis en un escenario de disputa política frente a la contradicción capital-trabajo global, lo que ha permitido dotar de gran influencia a sus tesis.

Se puede resumir la argumentación de Varoufakis en dos puntos esenciales. El primero es el auge de lo que él denomina el “capital-nube”. Este concepto hace referencia a una desmaterialización del capital, en una sociedad en donde la economía ya no estaría estructurada en torno a la producción de bienes materiales, como factor fundamental sino en torno al control de las infraestructuras en base a la cual se desenvuelven las tecnologías digitales, la extracción, análisis y gestión de datos. Para Varoufakis, al final de la guerra fría, y en ausencia de contrapoderes sindicales y políticos significativos, fruto del avance neoliberal, se configuró un monopolio global sobre la infraestructura digital que ha ido transformando profundamente al capitalismo. Esta dinámica empezó con lo que denomina el cercamiento y privatización de internet, haciendo un paralelo al cercamiento de las tierras que dio lugar a la desposesión de la clase proletaria al inicio del capitalismo. Este capital-nube está profundamente centralizado en torno a muy pocos actores económicos globales, tales como las grandes empresas tecnológicas, entre las cuales destacan Alphabet (Google), Microsoft, Apple y Meta (Facebook).

Un segundo punto que pone en realce Varoufakis hace referencia a como se ha desarrollado, en base a la centralización global de este capital-nube, una lógica rentista (en tanto derecho de uso de la infraestructura digital) que ha reemplazado la lógica tradicional de la competencia dentro del capitalismo. Esta transformación ha dado lugar a un sistema donde no sólo los proletarios, sino también los burgueses que generan capital para los nuevos señores feudales tecnológicos, al igual que los usuarios de las tecnologías digitales, nuevos “siervos de la nube” (Varoufakis, 2024b). Esto significa para Varoufakis un cambio estructural en las clases sociales y

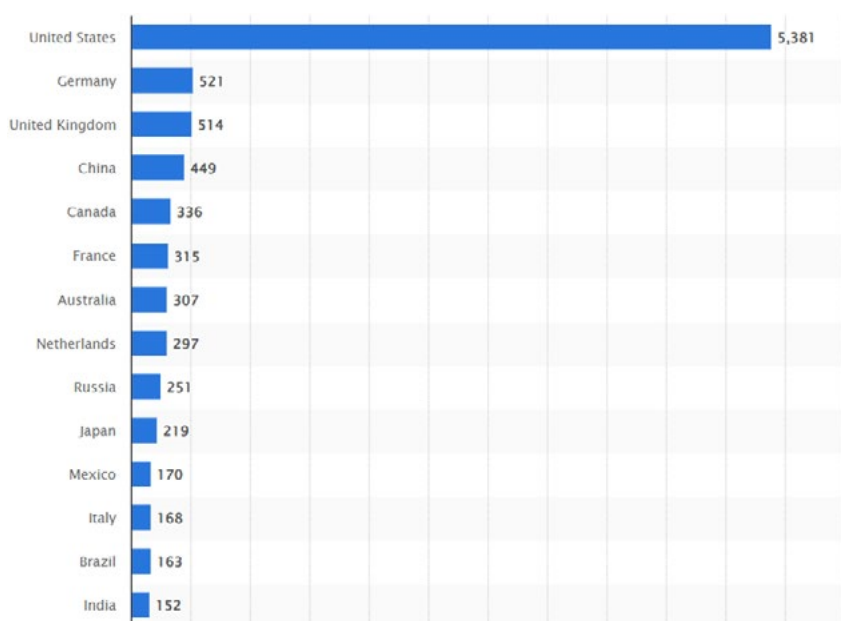
principalmente en las dominantes, en la subsunción a la lógica de este capital-nube de los procesos sociales no directamente ligados a los procesos productivos. En particular el autor considera que la forma del ejercicio del poder se ha transformado radicalmente, hacia una dinámica donde el poder se afianza más a través de dinámicas hegemónicas monopólicas que por la necesidad de un accionar coercitivo de las clases dominantes tecnológicas.

Cabe resaltar que Varoufakis afirma que la transformación estructural no es un monopolio del mercado, sino un monopolio material de la nube que ha sustituido a los mercados, haciendo desaparecer su dominio, en tanto el capital-nube no requiere producir para acumular capital. Varoufakis reconoce que este nuevo tecnofeudalismo sigue dependiendo profundamente del sector capitalista productivo, lo que es un requisito necesario al hablar del control de la infraestructura material de las tecnologías digitales) sin embargo, afirma la lógica estructurante económica ha pasado a ser dominada por una dinámica parasitaria rentista.

Frente a esta caracterización de las dinámicas actuales del capitalismo globalizado, hay ciertas consideraciones fundamentales que es necesario resaltar. Primeramente, es necesario evidenciar la importancia de centrar el debate sobre la infraestructura física que sostiene la industria 4.0, lo que es uno de los puntos fuertes esenciales de las tesis tecnofeudalistas. En efecto, la ilusión de virtualidad, o inmaterialidad, de la mediación tecnológica en la era de las plataformas y la inteligencia artificial no permite visualizar los desafíos ligados a su infraestructura subyacente. Basta tomar como ejemplo la localización geográfica de los centros de datos que sostienen estas nuevas tecnologías, cuya localización define las leyes a las cuáles están sometidas. Para ilustrar la importancia de dicho retorno a la materialidad (ver figura 2), basta simplemente evidenciar la centralización existente en cuánto la propiedad de los centros de datos, por ejemplo. En efecto, grupos corporativos tales como Amazon, Google y Microsoft, quienes detienen la mayor parte

de estos centros, se reparten en 67% de las ganancias generadas por servicios de la nube, repartiéndose respectivamente 32%, 23% and 12% del total, mientras que ninguna otra compañía de las que sigue acapara más del 4% de las ganancias (Srgresearch, 2024).

Figura 2. Data Centers por país en 2024



Fuente: Statista (2024).

Esto es solamente un ejemplo, sin embargo, esta dinámica generalizada de la monopolización de la base material que permite la intercomunicación entre las tecnologías de la Industria 4.0 es la base sobre la cual autores como Varufakis basan sus análisis acerca del tecnofeudalismo. El argumento relativo al poder monopólico ha sido fundamental para la movilización política y la construcción de identidades colectivas a lo largo de toda la era industrial, sobre todo porque permite fisura el espejismo de libertad en las relaciones mercantiles. Sin embargo, aparece también como fundamental el poder demostrar los límites relativos a la interpretación tecnofeudalista que deduce el autor de estos hechos. Esta crítica se

vuelve central principalmente por las consecuencias que podría tener el supuesto fin de la presión de la lógica de mercado sobre los tiempos sociales y económicos.

Crítica al tecnofeudalismo: los límites la lectura “feudal” de los monopolios globales

Para efectuar una crítica a las tesis antes mencionadas, parece pertinente poder primeramente abordar los debates históricos frente al capital monopolista que Varoufakis retoma. Primeramente, la tesis acerca de la transición del carácter “progresista” del capitalismo industrial hacia un capitalismo parasitario, no es una tesis nueva, sino que fue ya ampliamente debatida con los procesos de globalización y financiarización a partir de la década de los 70 del siglo pasado (Roberts, 2021). Es justamente la conjunción de esta tesis con las tesis relativas a la emergencia de las big four de la tecnología, Microsoft, Apple, Amazon y Facebook que lleva a la formulación del capital-nube de Varoufakis. Esto es efectivamente observable cuando vemos cifras tales como el porcentaje de las ganancias de las compañías cotizadas en bolsa en los EE. UU., donde las 100 más grandes acaparaban apenas más del 50% de las ganancias en 1975, mientras que para 2015 este porcentaje subió al 84%. Igualmente, a nivel global, las 50 empresas condensan un valor en bolsa que representa el 28% del PIB mundial, algo que hace tres décadas representaba apenas menos del 5% (Roberts, 2021). Estas cifras permiten evidenciar, en efecto, la concentración de la capital ligada, igualmente a los procesos de expansión espacial del capitalismo a nivel global, donde efectivamente la finanza y la mediación de las tecnologías de la información y la comunicación juegan un rol central.

Sin embargo, la pregunta fundamental que es necesario responder es la de saber si esto efectivamente va erosionando la dinámica de competencia en los mercados globales. Esta pregunta efectivamente ya la plantearon Baran y Sweezy en los años 70, planteando la emergencia de un capital monopólico global que generaba dinámicas

en la acumulación de capital que eran diferentes del capitalismo del siglo XIX e inicios del siglo XX (Baran & Sweezy, 1966). Para Baran y Sweezy en este contexto monopólico las ganancias se generaban mucho más en torno a las reducciones de los costos por el aumento de la escala de producción, y menos por dinámicas relativas a la competencia. Es innegable que esta es una de las tendencias mediante las cuales los capitales centralizados a nivel global, y en particular los capitales-nube de Varoufakis, generan ganancias. Los servidores de “hyperescala” que manejan gran parte de los servicios en la nube son en efecto la traducción material de dicha dinámica. Dichos centros de datos masivos son el ejemplo material de esa tendencia.

No obstante, ahí donde emergen las fisuras en las conclusiones acerca de la característica parasitaria de este tecnofeudalismo, es al incluir la dinámica particular de generación de ganancia al interior de estas empresas, en una perspectiva general de la acumulación capitalista actual. Primero que nada, es necesario resaltar que el propio argumento de Varoufakis conlleva en sí mismo una contradicción puesto que las mismas empresas que nombra para justificar la supuesta transición hacia un “tecnofeudalismo” están en realidad en competencia entre sí. Si mañana cualquiera de éstas dejara de generar una reducción de costos aumentando la escala de sus data centers, o dejara de invertir en innovación tecnológica, las empresas competidoras que mantendrían estos esfuerzos irían ganando rápidamente sus partes de mercado.

En realidad, es posible evidenciar que lo que se observa es la configuración de “oligopolios con diferentes grados de poder monopólico” (Roberts, 2021), cuya lógica interna puede estar ligada a dinámicas de generación de ganancia en gran medida por reducciones de costos en su escala, y mayor capacidad de definición de precios. Sin embargo, es inevitable resaltar que dichas dinámicas coexisten al mismo tiempo con la competencia con las otras grandes corporaciones multinacionales de su sector. Como lo nota Roberts (2021), es muy raro encontrar monopolios perfectos, la gran mayoría de las veces

se trata de oligopolios, que tienen un gran poder global, pero que siguen estando en competencia frente a grandes actores económicos del mismo tipo. Es posible decir entonces que no sólo coexisten el poder de tipo monopolístico junto a las dinámicas de competencia, sino que este poder, retomando una imagen de las ciencias físicas, se encuentra estructuralmente en un equilibrio inestable, en permanente riesgo de caer al vacío. Justamente esta inestabilidad es la que lleva a la necesidad de gigantescas inversiones en innovación, marketing, y también dinámicas de poder no económicas (tales como la corrupción) para poder mantenerse. Un ejemplo de este punto puede encontrarse en la información revelada en los famosos “Uber files”, comunicaciones filtradas en 2022 que evidencian las grandes redes de lobby y corrupción ligada a la configuración monopolística del gigante de las plataformas digitales (ICJ, 2022).

En realidad, subyace aquí algo fundamental que los primeros teóricos de la economía política de los monopolios, desde Marx hasta Lenin, describieron perfectamente. Primeramente, es verdad que la tendencia a la concentración y centralización del capital es una tendencia forzosa del proceso de acumulación capitalista. Sin embargo, en realidad existen muy pocos monopolios que puedan considerarse como tales, puesto que su grado de poder monopolístico no termina de abolir la lógica de la competencia, sino que convive siempre con ella y lejos de reemplazarla, lo que hace es acentuar sus tensiones y conflictos (Roberts, 2021). Es fundamental situar esto en un contexto actual en el cual el grado de poder de dichos actores económicos corporativos ha alcanzado un alcance global nunca experimentado (para esto basta ver la influencia de actores como Google, Facebook, Microsoft en procesos electorales globales). Además, la competencia feroz entre estos actores se desenvuelve hoy en un escenario global de interconexión donde cada disputa puede tener consecuencias a escala mundial.

Aquí es también necesario demostrar empíricamente el hecho de que, al contrario de lo afirmado por Varoufakis y los defensores

del “tecnofeudalismo parasitario”, no se ha extinguido la dinámica de competencia. Para ello basta ver el hecho de que el 80% de la investigación para la innovación tecnológica está financiada por estas grandes empresas transnacionales (Roberts, 2021). Esto no sólo implica el mantenimiento de las dinámicas económicas de competencia, sino también otras dinámicas globales de ejercicio de poder, tales como el lobby y la corrupción (Bank et al., 2021), que justamente la tesis tecnofeudalista deja en segundo plano.

Parece fundamental poder evidenciar esta crítica a las tesis tecnofeudalistas puesto que, aunque es necesario reconocer parte del análisis relativo a la centralización y concentración en la propiedad de la infraestructura tecnológica digital, también es necesario evidenciar que la competencia permanece en tanto que un factor estructurante de la dinámica económica global. En efecto, lejos del parasitismo y sentido de “reposo sobre un poder permanente” que vehicula la imagen feudal, lo que podemos observar es una permanente presión hacia la innovación tecnológica, frente a la cual estos oligopolios se ven forzados a responder para mantener el “equilibrio inestable” de su poder global. Aunque dicha dinámica pueda mantenerse en el tiempo dando la ilusión de un poder perenne, en realidad esto sólo es posible como fruto de esfuerzos titánicos por parte de los principales actores globales. En este sentido, es interesante además resaltar cómo los estudios que han develado cómo opera la innovación del sistema imperialista de la Silicon Valley (Delgado Wise, 2020), permiten evidenciar como justamente la externalización de la innovación y su apropiación a través de la propiedad intelectual es uno de los factores la que permite enmascarar dicha dinámica y mantener una imagen fetichista de parasitismo.

De esta manera, la magnitud de las millonarias dinámicas de apropiación indirecta del conocimiento generado en estos ecosistemas de innovación a través de la compra de la propiedad intelectual o de adquisición de las start-ups mismas, demuestran exactamente lo contrario de la hipótesis de inmovilidad de las tesis feudalistas.

Esto no quiere decir que no exista una especie de “renta tecnológica” (vista en el sentido primero del término es decir un pago por uso de un bien cercado), ligada a quién detiene la propiedad jurídica del conocimiento. Sin embargo, solo al incluir dicha dinámica en un contexto de equilibrio inestable de las posturas oligopólicas, es posible abordar las contradicciones inherentes a dichos procesos, como son la creciente burbuja financiera ligada a la Inteligencia Artificial por ejemplo (Wittenstein, 2024). Lo mismo sucede con las consecuencias para la aceleración de los tiempos económicos y sociales, que es lo que este capítulo busca resaltar para poder construir sus conclusiones acerca de las consecuencias de la globalización 4.0 para los debates relativos al desarrollo de América Latina.

En particular, resulta fundamental resaltar que en el contexto de competencia necesario para el mantenimiento de las posturas oligopólicas de estas corporaciones globales acentúa la aceleración de los tiempos económicos y sociales en cada rincón del planeta donde éstas operan y en cada momento de los procesos económicos y sociales que se encuentran bajo su influencia. Esta aceleración se ha expandido desde la configuración misma de la materia, a través de la nanotecnología, hasta las dinámicas de la vida social no ligadas al trabajo, que se ven superpuestas a la gestión algorítmica de los procesos económicos. Al contrario de las tesis feudalistas parasitarias que implicarían una desaceleración de los tiempos económicos y sociales, vemos aquí fortalecerse la característica intrínseca de la modernidad capitalista en cuanto a la aceleración de estos.

Conclusiones

Si bien no se puede detallar en este capítulo todas las implicaciones que tiene la configuración de estos oligopolios globales tecnológicos para los debates relativos al desarrollo, se plantea hacer una reflexión sobre dos puntos que parecen fundamentales para trabajos futuros. El primero está ligado a una reflexión sobre la

posibilidad de construcción de una soberanía tecnológica en relación con las tecnologías de la industria 4.0 desde una perspectiva de industrialización para el desarrollo. Un segundo punto tratará sobre las implicaciones del paradigma espacio-temporal desplegado por la globalización 4.0 para la construcción de horizontes emancipatorios.

En cuanto a la primera, es necesario retomar algunos de los debates históricos en torno a las propuestas de Desarrollo que problematizaron ya en el siglo XX la posibilidad de procesos de industrialización soberanos en la periferia. Uno de sus principales resultados de dichos debates fue el evidenciar el hecho de que los países industrializados, detentores de la materialidad de la tecnología y de su propiedad intelectual, son los que tienen en realidad el poder para fijar los precios mientras las periferias sólo pueden asumirlos (Cypher & Dietz, 2009, p. 175). Aquí es posible evidenciar una reflexión fundamental en el contexto actual del despliegue creciente de los oligopolios tecnológicos globales sobre la materialidad tecnológica al igual que su control de la propiedad intelectual. En efecto, en este contexto emergen barreras de costo relativas a las tecnologías relevantes de la globalización 4.0 que son cada vez más elevadas. Pero la dificultad actual no reside únicamente en la profundización de dichas barreras, sino en el hecho de que estos oligopolios globales en competencia han desarrollado mecanismo de ampliación de su mercado, que no requieren de desarrollo de infraestructura tecnológica in situ. Así, no sólo que los capitales necesarios para desarrollar un proceso de industrialización en el marco de la industria 4.0 no cesan de aumentar (Roberts, 2021), sino que cada vez más estas industrias han configurado un proceso de difusión tecnológica a través de servicios de plataformas que permiten usar dichas tecnologías, pero sin acceder a la propiedad de su materialidad ni requerir la formación de mano de obra necesaria para su manipulación interna (Meneses, 2024).

Se configura entonces un escenario en el cual la brecha que se busca reducir para implementar un proceso de industrialización en el

marco de la Industria 4.0 no sólo aparece como cada vez más amplia, sino que además se desarrollan falsas alternativas para el cierre de esa brecha, que aparecen como de fácil acceso, pero que enmascaran una profundización creciente de la dependencia tecnológica y cognitiva. Vemos aparecer una ilusión fetichizada de Desarrollo, donde el acceso a los servicios tecnológicos se presenta bajo una imagen de progreso y modernización, cuando en realidad implica una ampliación cada vez mayor del poder de empresas tecnológicas globales. Sin duda el mayor desafío al que se enfrenta América Latina en este contexto es el de salir de ese marco impuesto de la modernización dependiente y pensar una soberanía tecnológica en términos materiales. Esto implica afrontar barreras que no son solo materiales (infraestructura y costos) sino también culturales (aceleracionismo tecno-utopista que se presenta como si fuera cada vez de más fácil acceso).

En este sentido es necesario resaltar que, frente a la magnitud alcanzada por los oligopolios tecnológicos globales, la escala nacional aparece cada vez menos como la menos adecuada para un proceso de industrialización como el descrito anteriormente. El aumento de los costos de acceso relativos a las tecnologías 4.0, y el desafío de implementar soluciones soberanas alternativas se ve cada vez más ligado a una necesaria dinámica de integración regional, con todos los desafíos políticos y económicos que esto implica.

Finalmente, y esta es tal vez la idea que más desea enfatizar este capítulo en su conclusión, ha sido posible ver cómo todas estas reflexiones no hacen más que reforzar la importancia de incluir una crítica del paradigma espacio-temporal dominante en el análisis de las dinámicas económicas actuales y las perspectivas de desarrollo. Esta crítica aparece como fundamental para evidenciar las tendencias intrínsecas de la tecnología en la modernidad capitalista del siglo XXI. Esto no es algo nuevo, el tiempo, por ejemplo, ha sido analizado históricamente como un factor central dentro del proceso de acumulación capitalista, algo que ha sido estudiado desde los inicios de la teorización de la economía política marxista, a través de

la centralidad que dicho concepto obtiene como medida fundamental del valor, entendido como tiempo socialmente necesario para la producción de las mercancías. La aceleración de los tiempos económicos de producción, intercambio, distribución y consumo ha sido igualmente una parte intrínseca de estos análisis. Sin embargo, aparece ahora como una tarea fundamental la de poder enlazar el paradigma específico de tiempo y espacio de la globalización 4.0 con las bases materiales tecnológicas sobre las cuales éste se asienta. Esto implica una crítica fundamental a la subsunción de la ciencia y tecnología a la lógica del capital.

Es en este marco, aparece como necesario cuestionar tanto el desarrollo del conocimiento como su relación con la innovación tecnológica, a partir de una mirada crítica acerca de esta aceleración temporal, intrínseca a la competencia capitalista. En este sentido, partiendo de la evidencia analizada sobre la manera en que la dinámica capitalista restringe el desarrollo del conocimiento a la utilidad dentro del proceso de valorización del capital, al igual que la forma de innovación hacia una plataformaización que fortalece las posturas oligopólicas, es necesario resaltar la idea de que otro conocimiento y otra tecnología son requeridos para construir horizontes alternativos. Sin una crítica profunda hacia el paradigma mismo de tiempo y espacio del capital, cualquier intento de modernización basado en las tecnologías base de la globalización 4.0 tiene el riesgo de simplemente acrecentar los procesos de dependencia tecnológica y terminar desplegando la racionalidad ligada a la acumulación de capital (en refuerzo de una lógica de subsunción de la periferia hacia el centro). Al igual que es necesaria la crítica a los conceptos hegemónicos de desarrollo, en tanto que máquina del olvido que no permite visibilizar otros rumbos socioeconómicos posibles, es necesaria efectuar esa crítica al conocimiento, la ciencia y la tecnología desarrollados bajo los preceptos capitalistas.

En este sentido, se postula aquí que justamente es en base a una problematización del tiempo y el espacio del capital que se

puede efectuar un cuestionamiento profundo de las trayectorias cognitivas y tecnológicas que refuerzan los oligopolios globales y la estructura centro-periferia de la globalización 4.0. Pensar el tiempo menos desde el concepto de *kronos* (Χρόνος en griego), proveniente de la filosofía griega que hace referencia a la dimensión cuantitativa del mismo (relacionada al tiempo abstracto del capital), y más desde el *kairòs* (Καίρως) nos ofrece una ventana de oportunidad particularmente rica para efectuar esta crítica y desprenderse de la subsunción de los procesos cognitivos y tecnológicos a la lógica del capital (Postone, 2003; Ramírez, 2022). Esta propuesta permitirá abrir un camino para poder pensar la soberanía tecnológica, pero más allá de ésta, tanto la soberanía temporal en nuestros territorios latinoamericanos, como la idea de libertad sobre el uso del tiempo a nivel personal. En suma, el proceso de liberación de los tiempos y espacios de nuestra vida. Es de particular importancia además poder entender la unidad del tiempo y espacio. En efecto, la aceleración del tiempo está íntimamente ligada con la acumulación de capital en sí, pero igualmente con la expansión de su espacio de desenvolvimiento, que ha alcanzado un clímax en los procesos de la globalización 4.0. La necesidad de expandir globalmente las cadenas de valor está íntimamente ligada con la búsqueda incansable hacia la inmediatez de los procesos económicos, sociales y culturales ligados a esta globalización.

Es fundamental precisar que una perspectiva alternativa de la construcción de los tiempos y espacios sociales y económicos no puede proceder únicamente desde una visión puramente idealista, académica u abstracta. Es por esto que es necesario poner en evidencia los paradigmas espacio-temporales alternativos que se ven implicados en los postulados que se han construido en la última década desde las resistencias populares hacia la globalización 4.0 y el neoliberalismo global. Un ejemplo de esto es el paradigma ligado a las reivindicaciones del buen vivir en América Latina, y que pueden verse materializados en lo que algunos han denominado una perspectiva de esperanza de vida buena (*kairòs*), en oposición a la

aceleración de los tiempos sociales y al dominio del kronos del capital (Ramírez, 2022).

Estas propuestas alternativas permiten abrir nuevos horizontes para contraponer tanto teóricamente como metodológicamente las tesis y las políticas públicas hegemónicas basadas en las lógicas y las métricas mercantiles ligadas al capital (tales como el PIB). Emergen así posibilidades de otras racionalidades y métricas ligadas a luchas sociales históricas, tales como las que se plasmaron en el horizonte de buen vivir recogido por la constitución ecuatoriana del 2008. Pensar propuestas de soberanía tecnológica en una perspectiva crítica pensada desde conceptos alternativos tales como el de esperanza de vida buena, parece como una vía de resistencia y de construcción de alternativas central frente a las propuestas hegemónicas de desarrollo actuales fuertemente impregnadas de un tecnoutopismo y aceleracionismo acrítico. Si bien no será posible profundizar aquí en dichas propuestas, se espera haber podido sembrar la certeza de que la problematización y crítica del paradigma espaciotemporal de la globalización 4.0 aparece como un elemento fundamental para actualizar los debates en torno al desarrollo, planteando cada vez más la necesidad de no solo pensar una modernidad alternativa sino una alternativa a la modernidad y su paradigma espacio-temporal subsumido a los intereses del capital.

Referencias

- Amin, S. (2001). *Capitalismo, imperialismo, mundialización*. CLACSO, Consejo Latinoamericano de Ciencias Sociales.
- Baran, P. A., & Sweezy, P. M. (1966). *Monopoly capital: An essay on the American economic and social order*. NYU Press.
- Barreda Marín, A. (1995). El espacio geográfico como fuerza productiva estratégica en El capital de Marx. En A. E. Ceceña, (ed.). *La internacionalización del capital y sus fronteras tecnológicas*. Ediciones El Caballito.
- Bellamy Foster, J. (2013). Marx and the rift in the universal metabolism of nature. *Monthly Review*, 65(7).
- Couldry, N., & Mejias, U. A. (2019). *The costs of connection: How data is colonizing human life and appropriating it for capitalism*. Stanford University Press
- Cypher, J. M., & Dietz, J. L. (2009). *The process of economic development*. Routledge.
- Delgado Wise, R. (2019). Apuntes sobre capital, ciencia, tecnología y desarrollo de las fuerzas productivas en el capitalismo contemporáneo. *Observatorio del Desarrollo*, 8(24), 46–57.
- Delgado Wise, R. (2020). Desentrañando el sistema de innovación de Silicon Valley desde una perspectiva del Sur. *Integración y Conocimiento*, 9(2). <https://doi.org/10.61203/2347-0658.v9.n2.29482>
- Diéguez, A. (2005). El determinismo tecnológico: Indicaciones para su interpretación. *Argumentos de razón técnica. Revista española de ciencia, tecnología y sociedad, y filosofía de la tecnología*, 8, 67–88.
- Dos Santos, T. (2011). *Imperialismo y dependencia*. Fundación Biblioteca Ayacucho.
- Echeverría, B. (2009). *¿Qué es la modernidad?* Universidad Nacional Autónoma de México.
- Foladori, G. (2014). Ciencia Ficticia. *Estudios Críticos del Desarrollo*, IV(7), 41–66.
- Foladori, G. (2016, 2 de agosto). *Ciencia, tecnología y sociedad: Más allá del mito desarrollista*. Hemisferio Izquierdo. <https://n9.cl/edk36>
- Foladori, G. (2017). El fetiche del valor de la ciencia. *Estudios Críticos del Desarrollo*, VII(13), 133–153. <http://dx.doi.org/10.35533/ecd.0713.gf>

- Foladori, G., & Ortiz-Espinoza, Á. (2022). La relación capital-trabajo en la Industria 4.0. *Íconos. Revista de Ciencias Sociales*, 73, 161–177.
- Garrido, S. M., Thomas, H., & Becerra, L. (2018). Tecnología, ideología y hegemonía. Repensando los procesos de resistencia socio-técnica. *Ciencia, Docencia y Tecnología*, 29(56).
- Grondona, A. L. (2020). (Des)tiempos y desarrollo. En *Desarrollo y dependencia, desde América Latina. Problemas, debates y conceptos*. Ediciones del CCC.
- Han, B.-C. (2015). *El aroma del tiempo: Un ensayo filosófico sobre el arte de demorarse*. Herder, Editorial S.A.
- Hardt, M., & Negri, A. (2003). *Empire*. Harvard Univ. Press.
- Harvey, D. (1989). *The condition of postmodernity: An enquiry into the origins of cultural change*. Blackwell.
- Harvey, D. (2019). *Marx, el capital y la locura de la razón económica*. Akal.
- Heinrich, M. (2013). The ‘Fragment on Machines’: A Marxian Misconception in the Grundrisse and its Overcoming in Capital. En *In Marx’s Laboratory* (pp. 195–212). Brill. https://doi.org/10.1163/9789004252592_010
- International Consortium of Investigative Journalists. (2022, 10 de julio). *The Uber Files*. <https://www.icij.org/investigations/uber-files/>
- Kay, C. (2019). Teoría del desarrollo: El pivote latinoamericano. En H. Veltmeyer, P. Bowles, & I. Farah, (eds.). *Guía esencial para los estudios críticos del desarrollo* (pp. 73–83). Plural editores.
- Lexchin, J. (2020). *La industria farmacéutica en el capitalismo contemporáneo. Ensayos sobre democracia real y capitalismo*. La Alianza Global Jus Semper.
- López, M. L., Lovato, S. G., & Abad, G. (2018). El impacto de la cuarta revolución industrial en las relaciones sociales y productivas de la industria del plástico Implastic S. A. en Guayaquil-Ecuador: Retos y perspectivas. *Universidad y Sociedad*, 10(5), 153–160.
- Marini, R. M. (2008a). Dialéctica de la dependencia. En C. E. Martins, & R. M. Marini, (eds.). *América latina, dependencia y globalización* (pp. 107–149). Siglo del Hombre ed.
- Marini, R. M. (2008b). La dialéctica del desarrollo capitalista en Brasil. En C. E. Martins, & R. M. Marini, (eds.). *América latina, dependencia y globalización*. Siglo del Hombre.

- Marx, K. (2008a). *El capital. 1,1: El proceso de producción de capital: Libro primero* (28. reimp). Siglo Veintiuno.
- Marx, K. (2008b). *El capital. 1,2: El proceso de producción de capital: Libro primero* (24. reimp). Siglo Veintiuno.
- Mazzucato, M. (2014). *El estado emprendedor*. RBA Libros.
- Meneses, E. (2024). A history of the platformization of our economy. En *Inflation, inequality, nanotechnology, and development*. IJOPEC Publication.
- Mottes, D. (2020, 17 de junio). *What is technological utopianism?* MAIZE. <https://n9.cl/gvqtu>
- Mumford, L. (2020). *Técnica y civilización*. Pepitas de calabaza.
- Pasquinelli, M. (2019). On the origins of Marx's general intellect. *Radical Philosophy*, 206, 43–56.
- Postone, M. (2003). *Time, labor, and social domination: A reinterpretation of Marx's critical theory*. Cambridge University Press.
- Rajput, S. (2024, 30 de septiembre). *How does big tech dominate the digital world?* THE GEOSTRATA. <https://n9.cl/p8udo>
- Ramírez, R. (2018). Conocimientos o barbarie: Argumentos contra la dependencia cognitiva en América Latina (Reflexiones críticas y utópicas a 100 años de Córdoba). *Integración y Conocimiento*, 7(2).
- Ramírez, R. (2022). *La vida y el tiempo: Apuntes para una teoría ucrónica de la vida buena*. CLACSO.
- Ramírez Gallegos, R. (2014a). *La virtud de los comunes*. El Viejo Topo.
- Ramírez Gallegos, R. (2014b). *La virtud de los comunes: De los paraísos fiscales al paraíso de los conocimientos abiertos*. Abya-Yala.
- Roberts, M. (2021, 11 de julio). *Capitalism: Has the leopard changed its spots?* Michael Roberts Blog. <https://n9.cl/38r29n>
- Sadin, É. (2020). *La silicolonización del mundo*. Cajanegra. <https://n9.cl/jn3z7>
- Schwab, K. (2017). *La cuarta revolución industrial*. Editorial DEBATE.
- Segal, H. P. (2005). *Technological utopianism in American culture*. Syracuse University Press.
- Smith, G. (2012, 1 de noviembre). *Can the U.S. patent system be saved?* Computerworld. <https://n9.cl/u56rz>

- Srgresearch. (2024). *Cloud is a global market—Apart from China*. Synergy Research Group. <https://n9.cl/gauxw>
- Srnicek, N. (2018). *Capitalismo de plataformas*. Caja Negra. <https://n9.cl/p6k8u>
- Statista. (2024). *Data centers worldwide by country 2024*. <https://n9.cl/a94x20>
- Varoufakis, Y. (2024a). *Tecnofeudalismo (Ed. Argentina): El sigiloso sucesor del capitalismo*. Ariel Argentina.
- Varoufakis, Y. (2024b, 14 de julio). El auge del tecnofeudalismo. *Jacobin Revista*. <https://jacobinlat.com/2024/07/el-auge-del-tecnofeudalismo/>
- Veltmeyer, H. (2012). Una sinopsis de la idea de Desarrollo. En Humberto Covarrubias, R. Soto Esquivel, & E. Záyago Lau, (eds.). *Visiones del Desarrollo*. Universidad Autónoma de Zacatecas.
- Veltmeyer, H. (2020). Capitalismo, desarrollo, imperialismo, globalización una historia de cuatro conceptos. *Estudios Críticos del Desarrollo*, X(18), 25–59.
- Wittenstein, J. (2024, 2 de octubre). AI can only do 5% of jobs. Bloomberg. Com. <https://n9.cl/x8b5v>
- Zuboff, S. (2021). *La era del capitalismo de la vigilancia: La lucha por un futuro humano frente a las nuevas fronteras del poder*. Paidós.

Globalization 4.0 and Global Oligopolies: What Development Prospects for Latin America?

Globalização 4.0 e oligopólios globais: Quais perspectivas de desenvolvimento para a América Latina?

Eduardo Meneses

Universidad de las Américas | Quito | Ecuador

<https://orcid.org/0000-0003-4218-6280>

eduardo.meneses@uaz.edu.mx

edu_meneses@hotmail.com

Magister en políticas públicas, por la Escuela Nacional de Trabajos Públicos del Estado de Francia. Especializado en estudio de Ciencia, Tecnología y Sociedad por FLACSO Ecuador. Doctorante en Estudios del Desarrollo en la Universidad Autónoma de Zacatecas.

Abstract

This chapter has the general objective of updating and problematizing some of the debates that took place during the second half of the 20th century regarding different theories and proposals for Development in Latin America, particularly in relation to technological change processes. This is more relevant today than ever due to the profound technological transformations that have unfolded in recent decades under the framework of so-called Globalization 4.0. Indeed, this historical phase of contemporary capitalism has given way to a configuration of global technological monopolies on an unprecedented scale. In this context, a necessary and urgent task emerges today: to deeply reassess and update traditional horizons of progress tied to industrialization projects, technology transfers, and the real possibilities of nationally rooted endogenous development. This perspective demands a critical reading of the very notion of Development linked to contemporary capitalist modernity—and particularly the need for an alternative construction to the spatiotemporal paradigm deployed by Globalization 4.0.

Keywords: Economic and Social Development; Technological Change; Globalization; Time Studies; Fourth Industrial Revolution.

Resumo

O objetivo geral deste capítulo é atualizar e problematizar alguns dos debates que ocorreram ao longo da segunda metade do século XX em torno das diferentes teorias e propostas de Desenvolvimento para a América Latina, e em particular na sua relação com os processos de mudança tecnológica. Isto mostra-se pertinente hoje mais do que nunca devido às profundas transformações tecnológicas desenvolvidas nas últimas décadas no marco da denominada Globalização 4.0. Com efeito, esta fase histórica do capitalismo contemporâneo deu lugar a uma configuração de monopólios tecnológicos globais em escalas nunca vistas. Neste contexto, surge hoje uma tarefa necessária e urgente relativa a avaliar e atualizar profundamente os horizontes tradicionais de progresso ligados a projetos de industrialização, transferências tecnológicas e possibilidades reais de desenvolvimento endógeno de caráter nacional. Esta perspectiva impõe a necessidade de uma leitura crítica do próprio horizonte de Desenvolvimento ligado à modernidade capitalista atual, e em particular a necessidade de uma construção alternativa ao paradigma espaço-temporal desdobrado pela Globalização 4.0.

Palavras-chave: Desenvolvimento Econômico e Social; Mudança Tecnológica; Globalização; Estudos do Tempo; Quarta Revolução Industrial.

Capítulo 2

Cambio climático y sustentabilidad: dos caras de la crisis del capitalismo

Francisco Javier Caballero Anguiano, José Erik Gómez Cruz

Resumen

El cambio climático es un hecho comprobado por el incremento de la temperatura media del planeta en los últimos 200 años. Más allá de la recurrencia de este proceso en la historia planetaria, ha sido la producción capitalista su principal impulsor y causa de una eventual crisis en la reproducción de la vida. El objetivo de este artículo consiste en analizar las estrategias de la comunidad internacional, para la alcanzar la reducción sostenida de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y permitir que los países periféricos cuenten los recursos para adaptarse al cambio climático, y ralentizar el calentamiento global. Se afirma que, al recurrir a los acuerdos voluntarios para mitigar las emisiones y, al integrar una perspectiva sustentable, que atribuye a individuos y empresas el papel primordial de la reversión del calentamiento, resultan en una propuesta ideológica que oculta el problema: no hay capitalismo verde y cualquier salida es imposible dentro de este sistema.

Palabras clave:
Cambio climático;
Sustentabilidad;
Mitigación;
Adaptación;
Crisis.

Caballero Anguiano, F. J., & Gómez Cruz, J. E. (2026). Cambio climático y sustentabilidad: dos caras de la crisis del capitalismo. En J. Martínez Pérez, M. Hernández Ortiz, & I. Ortiz Medina, (Coords). *Desafíos contemporáneos. Un análisis multiescalar de la tecnología, la sociedad y el territorio*. (pp. 67-88). Religación Press. <http://doi.org/10.46652/religacionpress.363.c784>



Introducción

El cambio climático y la sustentabilidad o sostenibilidad¹ son dos condiciones vinculadas con lo ambiental que, a pesar de la diferente nomenclatura, plantean un problema común: el patrón energético fósil en el que opera el capitalismo, desde su fase propiamente industrial, plenamente implantada en el siglo XIX (1850-1900), aunque ya delineada con la invención de la máquina de vapor al finalizar el siglo XVIII. Si bien se trata de dos condiciones que atañen al propio sistema de producción, la caracterización de cada una responde a dimensiones sustancialmente distintas. Mientras el cambio climático, ampliamente constatado por la ciencia,² tiene una perspectiva de largo plazo –que en su fase antropogénica se puede ubicar, como se anotó, a partir de la segunda mitad del siglo XIX con la utilización intensiva de combustibles de origen fósil–, la incorporación de la sostenibilidad dentro del léxico medioambiental se asocia directamente con la fase desarrollista del capitalismo, es decir, a partir de la segunda mitad del siglo XX; así, su utilización conceptual generalizada apenas rebasa el medio siglo.

1 El concepto de sustentabilidad fue utilizado originalmente por el jurista alemán Hans Carlowitz, quien en 1713 desarrolló una teoría vinculada con el adecuado uso de los bosques. El concepto de sostenibilidad resulta ser mucho más reciente: fue utilizado inicialmente en 1969, y casi 20 años después (1987) incorporado en el Informe de la Comisión Mundial sobre Medio Ambiente y Desarrollo: Nuestro Futuro Común, más conocido como Informe Brundtland. Mientras el primero se asocia, stricto sensu, con el cuidado del entorno ambiental –buscando el equilibrio entre la utilización y la preservación del medio ambiente–, el segundo se vincula con evitar y atender los efectos del uso depredador que agota los recursos naturales, y que colocan en riesgo su eventual utilización por las generaciones futuras.

En concreto, la sustentabilidad ambiental tendría implicaciones éticas para el uso y cuidado del medio ambiente, en tanto la sostenibilidad económica es una condición de salvaguardar los recursos naturales desde una perspectiva de racionalidad. La sustentabilidad social no se considera, para efectos de este trabajo, en estas acepciones y su significado común es el que se asocia con un componente ideológico utilizado en el lenguaje empresarial para identificar el compromiso con el cuidado del medio ambiente y se ubica en una dimensión discursiva de lo “políticamente correcto”.

2 “El calentamiento provocado por la actividad humana [...], ya ha llegado a 1 °C con respecto a los niveles preindustriales. En el decenio de 2006-2015, la actividad humana había causado un calentamiento del planeta de 0,87 °C (±0,12 °C) en comparación con la era preindustrial (1850-1900)[...] La elección del periodo de referencia preindustrial, junto con el método utilizado para calcular la temperatura media global o mundial, puede modificar las estimaciones científicas del calentamiento histórico en un par de décimas de grado Celsius”, en Intergovernmental Panel on Climate Change (2015), preguntas frecuentes, Disponible en https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/09/SR15_FAQs_spanish.pdf

Las dimensiones temporales, en una perspectiva histórica, de cada una de estas vertientes ambientales (el cambio climático y la sustentabilidad) resultan claramente diferenciados. El primero tiene como punto de referencia a los cambios de orden geológico³ perceptibles a través de millones de años en los promedios de la temperatura terrestre, acentuados en los últimos 150 o 200 años, con relativamente poco tiempo –alrededor de 50 años– de haber sido aceptado como un problema derivado de la quema de combustibles fósiles y de la emisión de gases de efecto invernadero (GEI),⁴ con la consecuente afectación de la capa de ozono, a su vez causa principal de la elevación de la temperatura de la biosfera, las respuestas a su problemática presencia se han establecido, en primera instancia, en torno a la necesidad de reducir el volumen de las emisiones de gases de efecto invernadero por la vía de acciones voluntarias de mitigación, mediante el abatimiento de las emisiones producidas por la quema de combustibles fósiles, o por medio de reducir el ritmo de la deforestación, o recurriendo al expediente de pagar para “compensar” financieramente los excedentes de las emisiones previamente negociadas por las “partes”, así como otras medidas que reiteradamente se enarbolan en los discursos de los países centrales que, invariablemente, no llegan a un punto en el que efectivamente se adopten, ni voluntaria ni forzosamente, alguna o algunas acciones para efectivamente mitigar el volumen de las emisiones de GEI, lo que convierte a estas recomendaciones en meros enunciados de buenas intenciones.

3 “El paradigma de la estabilidad climática se ha modificado en muy poco tiempo y, si los cambios de clima han estado asociados a transiciones de carácter geológico, se puede decir que el tiempo que vivimos es una transición a una nueva era geológica a la que se ha denominado Antropoceno” (Crutzen y Stoermer, 2000).

4 “Los gases de efecto invernadero cubren una amplia gama de gases de origen tanto natural como antropogénico. En 1997 se aprobó el texto del Protocolo de Kioto (PK) de la Conferencia Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC), mediante el cual se controlarían las emisiones de seis gases de efecto invernadero: bióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O), hidrofluorocarbonos (HFCs), perfluorocarbonos (PFCs) y hexafluoruro de azufre (SF₆). En el PK se establece el compromiso de 39 países desarrollados y en proceso de transición a economía de mercado que integran el Anexo I del Protocolo, de reducir sus emisiones de GEI en no menos de 5%, con respecto a sus emisiones 1990” (Cuatecontzi y Gasca, 2007, p. 88)

En el caso del segundo (la sustentabilidad), los foros internacionales donde se hacen los llamados a modificar conductas que inciden en el uso adecuado de los recursos naturales i.e. el manejo “sustentable” del agua, la basura y en general del medio ambiente). El concepto de desarrollo sustentable, por su parte, incorporó de origen una mezcla de sustentabilidad social y económica con la sustentabilidad ambiental, llevando la sustentabilidad social más allá de la mera la acción individual, sino a la dimensión socioeconómica, mucho más comprehensiva (Foladori, 2002, p. 621).

Las dimensiones del cambio climático

El cambio climático y sus innegables alcances plantea como relevante y urgente la necesidad de definir y tomar acciones para reducir las emisiones a la atmósfera, pero contrario sensu, la responsabilidad de adoptarlas efectivamente se va dejando de lado y se posterga permanentemente. Al cierre de 2024 se celebra la vigésima novena edición de la Conferencia de las Partes –como ha sucedido a lo largo de los últimos 32 años–, con el propósito de acordar las medidas para que no se alcance o no se rebase el incremento de 1.5 grados en la temperatura promedio mundial, para el año 2050, respecto a la existente en el periodo preindustrial, lo que no permite concebir las diferencias climáticas en una dimensión de mayor tiempo.

Otra de las maneras de medir el incremento en el riesgo climático se encuentra en el volumen de emisiones de GEI, indicador directamente vinculado con el incremento en la temperatura planetaria; se estimaba, en un escenario optimista, que al finalizar el año 2050, las emisiones de GEI se redujeran entre un 25 y un 50 por ciento respecto al año 2019, aunque el Fondo Monetario Internacional señala que solo se reducirían en un 11 por ciento las emisiones entre 2019 y 2030 y, de acuerdo con esa trayectoria es imposible contener el aumento de la temperatura terrestre, no a los 1.5 grados sino ni siquiera a los dos grados en el lapso del periodo postindustrial al año 2050, es decir, justo 200 años.

Pese a las declaraciones políticas de que hay importantes avances en la utilización de energías renovables y energías limpias, la mayor parte de los combustibles para mover la industria, el transporte, y para generar la energía eléctrica en cualquiera de sus formas y usos, sigue siendo de origen fósil, y lo seguirá siendo mientras no se agote la última gota y molécula de reservas. Un supuesto en que descansa esa eventual reducción relativa de las emisiones de GEI y la también subsecuente reducción en la temperatura promedio, consiste en que existirían las tecnologías para sustituir aquellas más ineficientes que se apoyan en el uso de energías fósiles. La situación tecnológica es complicada para lograr estos propósitos en particular porque, como sucede en otros sectores donde la propiedad de las patentes marca una diferencia, las tecnologías de alcance ambiental también son sumamente restringidas y no son un área prioritaria ni para países centrales ni para los periféricos, salvo en el discurso:

[...] el registro de patentes relacionadas con tecnologías de bajas emisiones de carbono alcanzó un máximo del 10% de los registros totales en 2010 y, desde entonces, ha venido disminuyendo. Peor aún, las tecnologías fundamentales no se están difundiendo lo suficientemente rápido en los países emergentes y en desarrollo. (FMI, 2023)⁵

Las tecnologías renovables hoy existentes estaban disponibles desde más de medio siglo, pero por las restricciones para su uso, sea por limitaciones de sus licencias o patentes no se han aprovechado ni se han abierto a un acceso generalizado, ya que es financieramente prohibitivo para los países periféricos, lo que ha provocado que el mercado de mecanismos financieros o MDL (Mecanismos para el Desarrollo Limpio) para dar soporte a los procesos de “transición

5 <https://www.imf.org/es/Blogs/Articles/2023/11/27/world-needs-more-policy-ambition-private-funds-and-innovation-to-meet-climate-goals#:~:text=A%20fin%20de%20limitar%20el,un%2050%25%20respecto%20de%202019.>

energética” haya ido creciendo como un ente autónomo, desvinculado de los objetivos de reducción de las emisiones de GEI, como se verá más adelante. Este hecho ha provocado que no exista evidencia alguna para sostener que el crecimiento de las emisiones de GEI sea una posibilidad real. Los objetivos de incrementos en los promedios de la temperatura del planeta se establecen para periodos de 30 años, una vez celebrada la última reunión y se van agregando los valores de la temperatura para definir la meta deseable del periodo, que, como se ha indicado, se encuentra en 1.5 a 2 grados para el año 2050, considerando el año 2019 como base; sin embargo, la evidencia que permite estimar la variación de la temperatura de la Tierra a partir de la concentración de GEI desde el inicio de la primera revolución industrial muestra resultados más dramáticos:

Las concentraciones de bióxido de carbono en la atmósfera se incrementaron de 280 partes por millón en volumen (ppm), en los tiempos previos a la industrialización (1750), a 367 ppm en 1999, es decir hubo un aumento de 31% (IPCC 2001). El IPCC [Panel Intergubernamental para el Cambio Climático] ha establecido que no hay duda alguna en que este incremento se debe en gran medida a las actividades humanas, particularmente aquellas relacionadas con la combustión de los energéticos fósiles, la deforestación y otros procesos de quema de biomasa, así como a los que consumen energía, como es la producción de cemento, los cuales también emiten cantidades notables de bióxido de carbono. (Cuatecontzi y Gasca, 2007, p. 90)

Los compromisos globales de reducción de emisiones, de financiamiento para la adopción de tecnologías más modernas, de creación e implantación de mecanismos para que los países con afectación particularmente grave por su situación geográfica o por su condición de marginación y pobreza sean capaces de adaptarse a los efectos del cambio climático, son resultantes de cada una de las

Conferencias de la Partes (COP), y sus saldos reales son los mismos: las consecuencias de los fenómenos meteorológicos son cada vez mayores, pese a la capacidad financiera y a las medidas de adaptación –particularmente las sustentables o de desarrollo sostenible–, en tanto que la biodiversidad ha sufrido un deterioro irreversible y en el futuro el rasgo distintivo es la incertidumbre para plantas y animales (Arriaga y Gómez, 2007), de tal magnitud que la cadena alimentaria, que parte de los microorganismos, ha quedado trastocada, sin que esta afectación haya pasado a convertirse en una prioridad dentro de las discusiones y negociaciones de la COP en turno, ya que la agenda climática se establece en torno a las emisiones de GEI y los objetivos se fijan en función de “frenar” las emisiones que es, justamente, el objetivo que no se ha alcanzado en ningún momento, en tanto que las medidas de adaptación se subordinan a las de mitigación como si al reducir la emisiones los problemas asociados con las zonas costeras, los cultivos y en general con los problemas vinculados con la variación del clima y los fenómenos meteorológicos se resolvieran en automático.

Desde abajo, desde la base misma de la cadena trófica que articula el delicado equilibrio de la biodiversidad y, por consiguiente, de lo ambiental, la ruptura provocada por la dinámica del capital ha menoscabado la capacidad de resiliencia de la naturaleza, sean bosques, mares, lagos o cualquiera otro espacio que aloja la vida en sus diferentes formas. El principio de irreductibilidad de las condiciones mínimas para que la biodiversidad se mantenga y se reproduzca, ni siquiera es considerada como una condición insoslayable frente a las propuestas de orden macro, es decir, las que se vinculan con los objetivos de reducción de emisiones. En este sentido, además de omitir el orden de prioridades en función del deterioro de la cadena vital de la biodiversidad, y en función de ello establecer medidas de orden medioambiental, se insiste en poner en el centro del debate lo más visible y no lo más importante.

Los cambios en la biodiversidad también tienen su propia dinámica temporal, que claramente se distingue de aquellas asociadas con los tiempos de la sustentabilidad o del desarrollo sostenible, que necesariamente se miden en el espacio generacional de la especie humana; de hecho “la conservación de los recursos para las generaciones futuras”, precisamente establece el parámetro de la “generación” como medida obligada para la conservación del medio ambiente. Existen especies de seres vivos que son notablemente susceptibles a los cambios apenas perceptibles de la temperatura de la superficie terrestre. Lo mismo sucede con variedades de plantas que no pueden sobrevivir a diferentes condiciones de humedad o a variaciones en las condiciones del medio ambiente.

En el proceso de incremento de la temperatura asociado con cambio climático, que hasta la fecha ha superado el objetivo de 1.5 o dos grados en promedio de la temperatura planetaria, se infiere la existencia de zonas donde la variación fácilmente supera los tres o cuatro grados, con la consiguiente desaparición o extinción de variedades completas de especies de seres vivos de la más diversa naturaleza, lo que plantea el riesgo de la extinción de la vida. Estos temas son marginales dentro de los trabajos de las COP porque asumirlas y atenderlas implicaría elaborar una prácticamente ilimitada lista de compromisos pero, lo que es más importante, significaría el reconocimiento de que hay daños irreversibles y que el “disfrute para las generaciones futuras”, no solo de los recursos ambientales sino de la variedad de la vida es, desde ya, además de una entelequia, un propósito inalcanzable: no hay un capitalismo verde, ni sustentable, ni ambientalmente responsable.

Los costos financieros

Sin la posibilidad de transitar a un capitalismo verde, los mecanismos para reducir las emisiones tampoco vislumbran una verdadera transición energética del patrón fósil a otro basado en energías renovables. Esta transición no tiene viabilidad en tanto

el petróleo siga siendo la fuente de energía para toda la actividad industrial, ya que el manejo de ese mercado depende de las empresas trasnacionales de los países centrales. De esta manera, el peso de la reducción de emisiones se traslada a los gobiernos y de éstos a las empresas, que son las emisoras directas. En las negociaciones entre las “partes” no hubo manera de establecer mediante compromisos vinculantes quién o quiénes deben pagar los costos de la mitigación y la adaptación.

La respuesta temporal a esta cuestión se logró mediante la creación de los Mecanismos para el Desarrollo Limpio, que básicamente consisten en la creación de un mercado de bonos de carbono donde se intercambian por certificados de reducción de emisiones entre países centrales y periféricos, mediante la realización de obras de infraestructura en estos últimos, fundamentalmente en las áreas de recuperación de metano, energías renovables, eficiencia energética, procesos industriales y manejo de desechos, básicamente. Este mecanismo se implementó mediante el Protocolo de Kioto (1997), que entró en vigor en el año 2005 y tuvo una segunda etapa desde 2013 al año 2020, cuando también se estableció en el Acuerdo de París⁶ el límite de 1.5 grados para la elevación de la temperatura planetaria. Pese a los actuales esquemas de financiamiento y con los compromisos nacionales, el mejor escenario de elevación de la temperatura queda muy por arriba del dos por ciento, como ya es una realidad:

El calentamiento de la Tierra superó por primera vez el umbral de 2°C por encima de los niveles preindustriales, de acuerdo con los hallazgos preliminares del quinto análisis del clima global [...] realizado por el Centro Europeo de Previsiones Meteorológicas a Plazo Medio. El pasado 17 de noviem-

6 Los compromisos de reducción de emisiones se establecieron para el año 2030, aunque otros países, como los Estados Unidos y China, dejaron abierto el tiempo para la reducción de emisiones y establecieron menores niveles de reducción, es decir, no hay un compromiso específico (Wadhwa, et. al, 2018).

bre [de 2023] la temperatura global del aire en la superficie alcanzó 2.07°C por arriba del promedio preindustrial.⁷

Los Mecanismos de Desarrollo Limpio tuvieron el doble propósito de atender las cuestiones relativas al financiamiento y, además, mediante la creación de infraestructura, la promoción del desarrollo sustentable. Lo cierto es que la utilización de los MDL favoreció la aparición de un mercado secundario de bonos de carbono y su compra-venta fue limitada en algunos países periféricos por los dudosos efectos sobre la sustentabilidad, y sobre los reales impactos sobre la masa monetaria y, en consecuencia, sobre la inflación. Finalmente, aun con bonos de carbono el financiamiento es insuficiente porque el problema no es de cómo pagar el daño ambiental, sino la imposibilidad de detenerlo con las herramientas actuales que consideran una reducción de emisiones menor al 5 por ciento, cuando el objetivo de un incremento en 1.5 grados implicaría mayores gastos:

A fin de limitar el calentamiento global a entre 1,5 °C y 2 °C y alcanzar el objetivo de emisiones netas cero para 2050, de aquí a 2030 es necesario reducir las emisiones de dióxido de carbono y otros gases de efecto invernadero entre un 25% y un 50% respecto de 2019. No obstante [...], los compromisos mundiales en vigor que se recogen en las contribuciones determinadas a nivel nacional apenas lograrían reducir las emisiones en un 11% para finales de esta década. (FMI, 2023)

El esquema actual de financiamiento mediante bonos de carbono, ha llevado a la aparición y expansión de un mercado especulativo

7 Recuperado de: <https://es.wired.com/articulos/la-temperatura-global-supera-el-umbral-de-2-grados-por-primera-vez#:~:text=El%20calentamiento%20de%20la%20Tierra%20super%C3%B3%20por,Europeo%20de%20Previsiones%20Meteorol%C3%B3gicas%20a%20Plazo%20Medio>. Fecha de consulta: 20 de mayo, 2025

porque los bonos se comercian como cualquier instrumento financiero y, además, ha provocado dudas acerca de su utilización más amplia por los problemas inflacionarios que su compraventa produce en los países que reciben dólares o cualquier divisa y la convierten en moneda local; es decir, los bonos de carbono alimentan problemas especulativos y monetarios antes que financiar la reducción de emisiones.

La gobernanza global

El reconocimiento del cambio climático como un problema global, no fue acompañado con la consecuente delimitación de responsabilidades por su impulso a partir de la expansión industrial. Las Conferencias de las Partes han sido un receptáculo de buenas intenciones y de promesas que no tiene ningún alcance vinculante, de ahí que la estructura de la gobernanza global respecto al cambio climático es tan endeble que no existe ninguna penalización por exceder las emisiones que son multilateralmente acordadas, y la Conferencia como pretenciosamente se les denomina no tiene más que un carácter deliberativo.

El expediente de recurrir a foros multilaterales para dispersar discursivamente el centro de atención de la causa principal del cambio climático y postergar la realización de acciones para una reducción significativa de las emisiones de GEI, forma parte de la dinámica imperial que dirige al sistema capitalista en su conjunto. Pese a todo el revuelo político y discursivo, los proyectos de eficiencia energética, transición energética, energías renovables, energías limpias, mecanismos de desarrollo limpio, bonos de carbono, nanotecnologías asociadas con la generación de energía y toda la variedad de alternativas financieras tecnológicas no resultan, sino en algunos países, y dentro de ellos en algunas regiones, una realidad. Es inevitable no caer en el desánimo frente al reiterado desinterés del principal emisor, los Estados Unidos, por contribuir al financiamiento de medidas de mitigación o de adaptación, cuando son sus propios

territorios lo que año con año sufre la devastación de la variabilidad extrema del clima.

Esta aseveración no tiene de trasfondo la de que prácticamente imposible desentrañar y desarticular un entramado de intereses económicos, financieros, productivos, comerciales, militares y, por supuesto, empresariales enarbolados hasta ahora por los grupos económico-políticos asentado en los Estados Unidos, pero no únicamente en ese país. El punto central de esta perspectiva es que, precisamente, son la profundidad del cambio climático y la falta de acuerdos o de mecanismos de contrapeso que tengan la capacidad de obligar a reducir las emisiones, los componentes del espacio donde se pone en riesgo la viabilidad de la civilización toda.

La magnitud de los problemas asociados con el cambio climático es de tal dimensión que provoca alteraciones meteorológicas que han afectado a millones de personas y han reconfigurado patrones de los asentamientos humanos, modificando el perfil social y productivo en los espacios agrícolas, industriales, pesqueros y todos aquellos donde la estabilidad del clima es una condición sine qua non para su reproducción. Pese a que en un escenario de baja probabilidad pudieran reducirse las emisiones de GEI, lo cierto es que en el corto plazo algunos impactos adversos resultarán inevitables porque continuarán procesos de afectación a los promedios mundiales de la temperatura del planeta, lo que implicará el derretimiento del hielo, el incremento en el nivel del mar, el retraimiento del permafrost⁸ y una mayor incidencia de fenómenos meteorológicos extremos; sea o no reconocida la existencia del cambio climático, como ha sido en el caso del gobierno de los Estados Unidos, es tan contundente la evidencia que su propio clima y territorio han sufrido los estragos de esos fenómenos, con la presencia de ciclones, tornados, sequías, congelamiento y proliferación de incendios.

El no reconocimiento de la existencia del cambio climático de corte antropogénico tiene, en apariencia, como razón principal el no asumir la responsabilidad y los consiguientes costos económicos que su atención requeriría.⁹ El problema de fondo no se ciñe al gasto que la mitigación y la adaptación implicarían, sino al hecho de que cualquiera que sea el gasto asociado con dichas estrategias, no existe la manera de revertir el calentamiento global sin desacoplar el ritmo de la dinámica económica –o mejor dicho la dinámica de la acumulación del capital– de las emisiones de GEI, lo que implica, en términos llanos, que abatir el volumen de las emisiones solo puede realizarse reduciendo la dinámica y, en consecuencia, la rentabilidad del capital.

Reducir los efectos del cambio climático supone llevar al mínimo la dinámica de la acumulación, lo que sería el objetivo central de una comunidad comprometida y organizada. No se puede perder de vista que ninguno de los riesgos asociados con el carácter depredador del capitalismo, dentro de los que se cuentan el incremento de la pobreza, de la desigualdad, la desarticulación de los sistemas de protección social, de los esquemas de intervención social del Estado, del resquebrajamiento de los eslabones productivos o de las prácticas especulativas en la banca y en las finanzas, tiene un alcance tan comprometedor para la sobrevivencia de la humanidad. De ahí la premura de una solución mundialmente aceptada, pero casi imposible de alcanzar.

9 Si se acepta que los países centrales tienen mayor peso en el volumen total de emisiones de GEI, a esos países correspondería una mayor aportación, pero dado el peso de China y la India en el crecimiento reciente de las emisiones, entonces aquéllos piden una mayor contribución de éstos. Las responsabilidades comunes pero diferenciadas, que atiende esta disputa, constituye un principio establecido en la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), establecido en la Cumbre de la Tierra en Río de Janeiro de 1992, resultado del Informe Burtland. Como sea, las aportaciones acordadas para financiar la mitigación y la adaptación siempre estarán por debajo de los requerimientos reales.

Lo sustentable como ideología

Y es aquí, en el carácter de riesgo vital para la civilización donde estriba el énfasis que se otorga en este trabajo respecto a las implicaciones del cambio climático y, también, donde se llama la atención sobre la relevancia del discurso simplificador y la diseminación de la ideología de la sustentabilidad, en tanto mecanismo para adaptarse al potencial destructor del capitalismo basado en el patrón de quema de combustibles fósiles, atribuyendo a las actividades cotidianas de manejo del agua, de los deshechos e inclusive a las políticas “empresariales sustentables” el poder para transformar y revertir los daños que ha provocado la exacerbación de los problemas ambientales provocados por la existencia de un patrón de acumulación de capital, de suyo destructor por definición.

No es gratuito que al amparo de la magnitud de los problemas derivados de los fenómenos naturales que se manifiestan como cambios acelerados en el clima mundial, así como la presencia de lluvias, ciclones y otros procesos meteorológicos extremos, la agenda global haya abordado, por lo menos discursivamente, la pertinencia de adoptar medidas de mitigación orientadas a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y, también, de adaptación a sus efectos, particularmente en el caso de los países periféricos, lo que se configura el centro de la perspectiva –o mejor dicho la ideología–¹⁰ de la sustentabilidad,¹¹ que ha ganado terreno sin vislumbrar, en ninguna de las dos vertientes señaladas, la causa del deterioro climático ni del agotamiento y afectación del medio ambiente: el sistema capitalista como totalidad. El discurso de la sustentabilidad, muy a tono con la

10 La acepción de ideología se vincula con lo que se entiende como conjunto de creencias socialmente aceptadas y compartidas, sin un asidero en evidencia científica o por lo menos con una evidencia insuficiente para generar criterios sólidos de causalidad.

11 De hecho, en la Cumbre de Río de 1992 se habla de “sociedad sustentable” y no de sostenibilidad, que pareciera ser el concepto que mejor se ajusta al sentido del problema, en la dimensión que asimila la complejidad y profundidad del cambio climático y de la consecuente necesidad de adaptación, <https://jlinor.org.mx/wp-content/uploads/2021/06/DECLARACION-DE-RIO-DE-JANEIRO.pdf>

perspectiva del imperativo individualista del neoliberalismo, vincula las acciones de las empresas, las familias y de los individuos con el compromiso social por abatir los efectos del cambio climático.

Dentro de las perspectivas que asumen el problema del deterioro del medio ambiente se encuentra también a las diversas expresiones ecológicas, que pese a su orientación “crítica” no deja de ser una vertiente que adolece de un referente metodológico y conceptual suficientemente sólido para representar una alternativa que no caiga en el simplismo o en la simple retórica que por igual puede aplicarse a cientos de las nuevas “interpretaciones” de fenómenos naturales, sociales y culturales:

Tal perspectiva ha propiciado la proliferación de lo sustentable o de lo sostenible en toda una agenda “progresista” comprometida con el cuidado del medio ambiente, desvirtuando así las implicaciones de riesgo civilizatorio que subyace en el fenómeno del cambio climático. Sin el entendimiento de que el incremento de la temperatura a nivel planetario involucra, de manera integral, una actitud de transformación en lo económico, lo ambiental y lo social, lo sustentable –precedido por el concepto de desarrollo– tiene esa implicación más amplia, pero está desprovista de la perspectiva de largo plazo y de la dimensión sistémica; al integrar dichas perspectivas puede establecerse el concepto de desarrollo sustentable en una visión más precisa que no deja de prescindir de lo local y del corto plazo:

El desarrollo sustentable, como una de las vertientes en las que se sintetiza la adaptación al cambio climático, delega en las víctimas del fenómeno la responsabilidad de modificar sus condiciones de vulnerabilidad y diluye en la adopción de actitudes voluntaristas una parte de la solución del problema. La reiterada referencia al corto plazo se vincula con el hecho de que, aunque la variación del clima planetario, y su efecto observable en el desajuste de energía de la atmósfera, ha acontecido en diversas ocasiones en la vida de la

Tierra, no fue sino hasta hace unos cuantos años –desde 1972–¹² que se ha reconocido la importancia del medio ambiente y los efectos de su deterioro como consecuencia de la actividad económica, que se plasmó en la primera reunión ad hoc–en Estocolmo, Suecia–. Y 16 años después (1988), el Informe Burtland adquirió relevancia cuando, frente a la evidencia de que es resultado del calentamiento global era de orden antropogénico, y derivado de esa causa, se estableció una meta concreta para limitar por parte de los países firmantes (o las Partes) el incremento de la temperatura promedio en el mundo.

Como ha sucedido con otros problemas ambientales y, más específicamente, con cuestiones asociadas con el daño a la salud pública, existe una suerte de relativización de los alcances explicativos de la ciencia institucionalizada, situación que se entiende pero no se justifica por la relevancia mercantil de la gestión, creación y difusión del conocimiento científico, promovido y cobijado por los “científicos” y “expertos” que trabajan en las principales universidades privadas, particularmente en las universidades de los Estados Unidos, con poca distancia numérica de aquellos que se encuentran en la universidades chinas.

La perspectiva mercantil que subyace en la explicación, más que en el entendimiento de las causas y consecuencias de los fenómenos que afectan a la vida en sus diversas manifestaciones, se comprende, además, por la sólida capacidad de manipulación y cabildeo de las empresas multinacionales de las que reiteradamente emergen justificaciones para dar el estatus de “natural” a los procesos alterados

12 En la década de los setenta del siglo XX se hicieron las primeras declaraciones de preocupación por la contaminación del agua y del aire generadas por el transporte y por algunas industrias. La principal razón de estas expresiones era el evidente descuido en el manejo de los residuos y la poca tecnología para procesar emisiones contaminantes. No obstante la creciente importancia del tema, aspectos como la eficiencia energética aún no adquirirían en México la relevancia que tuvieron al amparo del tema del cambio climático. La Conferencia sobre el Medio Ambiente Humano, realizada en 1972, fue la primera conferencia global sobre este tema, en la que se decidió incluir conjuntamente los temas de desarrollo, y los compromisos principales se contienen en la Declaración sobre el Medio Ambiente Humano, el Plan de Acción para el Medio Ambiente Humano y en la Resolución de Arreglos Institucionales y Financieros <https://www.un.org/es/conferences/environment/stockholm1972>

de equilibrios climáticos y, también, a las soluciones simplistas y de corto plazo que bien pueden ubicarse en el abanico que va de los “sostenible”, lo “sustentable”, pasando por la creación de nuevas vetas explicativas como la “ecología política”:

La ecología política construye su campo de estudio y de acción en el encuentro y a contracorriente de diversas disciplinas, pensamientos, éticas, comportamientos y movimientos sociales. Allí colindan, confluyen y se confunden las ramificaciones ambientales y ecológicas de nuevas disciplinas: la economía ecológica, el derecho ambiental, la sociología política, la antropología de las relaciones cultura-naturaleza, la ética política. (Leff, 2006, p. 22)

El desarrollo sustentable parte de la idea de que la satisfacción de las necesidades y aspiraciones de las sociedades actuales debe lograrse sin que se comprometa la capacidad de que las generaciones futuras para su disfrute. Los objetivos establecidos en la Cumbre de 2015 de Nueva York, atribuyó la insuficiencia de resultados al hecho de que “las medidas políticas necesarias fracasaron porque no eran lo suficientemente ambiciosas o no se aplicaron adecuadamente” (Tosun & Leininger, 2017, p. 1), es decir a un problema de diseño o ejecución y no a un problema de origen, sistémico. La paradoja cambio climático-sustentabilidad radica en que aun si todas las sociedades del mundo implementan acciones de mitigación y logran mantener o reducir las emisiones, la estabilización de la temperatura global tardaría varios siglos en lograrse.

Conclusiones

Desde la Revolución Industrial de finales del siglo XVIII hasta el presente, la variación del clima ha provocado fenómenos meteorológicos que se expresan en todo el mundo, con una magnitud

y alcances inusitados. No hay duda de que el cambio climático es consecuencia de la dinámica expansiva del capitalismo, sustentada en la explotación de los combustibles fósiles. Dado que el sistema en su conjunto es el causante del problema, entonces no hay un responsable; de ahí la premisa que se establece el Panel Intergubernamental para el Cambio Climático (IPCC) en cada una de las Conferencias de las Partes: responsabilidades comunes pero compartidas. Esta postura ha jugado una condición de principio rector de las negociaciones en materia de reducción de emisiones.

De cada una de las 28 Conferencias realizadas emana un conjunto de resoluciones y declaraciones que reiteran los lugares comunes de preocupaciones y llamados de urgencia, que reiteradamente solo quedan en calidad de expresiones retóricas. Por igual, en los Compromisos de las cumbres para el “Desarrollo Sostenible” se omite que se habla del desarrollo capitalista, es decir, de un desarrollo incompatible con el cuidado del medio ambiente. La métrica de las especies de plantas y animales que diariamente desaparecen es relegada a espacios irrelevantes, si es que se les considera. La proliferación de reconocimientos a la “sustentabilidad” tanto para individuos, como para comunidades y empresas no distingue entre el mérito de la preocupación –que cae en el ámbito de lo moral– y el compromiso por detener efectivamente la profundización del daño ambiental, que indudablemente no recae en individuos o en colectividades que pueden ser progresistas, pero cuya capacidad de acción no se vincula con el cuestionamiento del sistema depredador.

Sobra decir que en ningún caso existe una alusión directa al patrón de quema intensiva de combustibles fósiles como causa primigenia del cambio climático; en ausencia de un diagnóstico de ese talante no existe la posibilidad de plantearse siquiera una respuesta o una solución imaginable y, lo que parece más probable, es que la crisis civilizatoria que está provocando el cambio climático sea, en efecto, la crisis terminal no del capitalismo, sino de la civilización humana tal y como la conocemos. El cambio climático se ha reconocido como una

condición propia de la evolución climática del planeta, lo que no debe confundir con el impacto de la actividad humana, específicamente la expansión industrial asociada con el capitalismo.

Esta condición se encuentra en un espacio temporal de largo plazo, es decir de centurias y milenios. La reversión del incremento sostenido de la temperatura no puede realizarse sobre la base de acciones humanas, lo que se pretende con las estrategias de mitigación es reducir el incremento adicional provocado por la actividad humana, que no ha ocurrido con las herramientas multilaterales disponibles.

Por otra parte, y derivado del reconocimiento de las dimensiones del problema climático, que se asume solamente como ambiental, sale a la luz una nueva manera de enfrentar los efectos del cambio climático, por la vía de acciones cobijadas bajo un enfoque de sustentabilidad o sostenibilidad. Como se anotó, esta perspectiva se sitúa en la vertiente de la adaptación al cambio climático; su espacio temporal se sitúa en el corto plazo y se ha asignado al individuo social y a las empresas la responsabilidad de adoptar medidas para enfrentar el cambio climático. Dada la limitación de este enfoque y el reducido o nulo impacto de sus medidas, se considera esta perspectiva como una suerte de ideología ambiental, expresada en enfoques como la ecología política.

La conclusión obligada de esta argumentación, en función de la validez de las premisas enunciadas, consiste en lo siguiente: no se puede llegar a ninguna acción conducente a mitigar o adaptarse los efectos del cambio climático porque, en lo concerniente al aporte antropogénico, la quema intensiva de los combustibles fósiles es parte de la dinámica del capitalismo y, partiendo del axioma de que no hay capitalismo verde, cualquier diagnóstico y propuesta de acciones estarán condenadas invariablemente al fracaso.

El cambio climático es un hecho que se constata tanto por la reiteración de un proceso propio del planeta y, además acelerado por la actividad humana. El cambio climático tiene dimensiones claras

en términos de elevación de la temperatura promedio de la superficie terrestre y del volumen de emisiones de gases de efecto invernadero, que permiten prever la profundidad del fenómeno y el riesgo para la sobrevivencia de todas las formas de vida. Para enfrentar sus consecuencias se han establecido medidas de tipo acuerdos voluntarios y aportaciones económicas para “abatir” las emisiones de GEI; el gasto a todas luces resulta insuficiente al igual que el alcance de los acuerdos. La arquitectura del sistema multilateral está desfasada de los propósitos que persigue y de la profundidad de los problemas. Como correlato a la insuficiente atención desde lo sistémico y lo multilateral se ha erigido un discurso voluntarista, basado en el principio de que la acción individual puede tener efectos para detener el deterioro climático e, inclusive, revertirlo. Ambas perspectivas, la primera de largo plazo y la segunda de corto plazo actúan como ejes articuladores de una narrativa que pierde de vista que el propio sistema, por su naturaleza, atenta contra el medio ambiente y cuestiona la viabilidad de la civilización.

Referencias

- Arriaga, L., y Gómez, L. (2007). Posibles efectos del cambio climático en algunos componentes de la biodiversidad de México. En J. Martínez, y A. Fernández, (comp.). *Cambio Climático: una visión desde México* (pp. 255-266). Instituto Nacional de Ecología.
- Cuatecontzi, D. H., y Gasca, J. (2007). Los gases regulados por la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. En J. Martínez, y A. Fernández, (comp.). *Cambio Climático: una visión desde México* (pp. 87-98). Instituto Nacional de Ecología.
- Crutzen, P. J. y Stoermer, E. F. (2000). The “Anthropocene”. *Global Change Newsletter*, 41, 14-17.
- Foladori, G. (2002). Avances y límites de la sustentabilidad social. *Economía, sociedad y territorio*, 3(12), 621-637.
- Fondo Monetario Internacional. (2023, 27 de noviembre). *El mundo necesita más ambición política, fondos privados e innovación para alcanzar los objetivos climáticos*. <https://n9.cl/9ggyu>
- Leff, E. (2006). La ecología política en América Latina. Un campo en construcción. En H. Alimonda, (comp.). *Los tormentos de la materia. Aportes para una ecología política latinoamericana* (pp. 21-40). CLACSO.
- Monterroso, A., Conde, C., Gay, C., & Gómez, D. (2013). *Vulnerabilidad y adaptación a los efectos del cambio climático en México*. Universidad Autónoma de Chapingo, Centro de Ciencias de la Atmósfera-UNAM.
- Naciones Unidas. (s. f.). *Desarrollo Sostenible*. <https://n9.cl/pvxz>
- Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático. (2015). *Preguntas frecuentes*.
- Tosun, J., & Leininger, J. (2017). Governing the interlinkages between the sustainable development goals: Approaches to attain policy integration. *Global Challenges*, 1(9). <https://doi.org/10.1002/gch2.201700036>
- Wadhwa, D., Mani, M., Hussein, Z., & Narayanan Gopalakrishnan, B. (2018). *Paris Climate Agreement and the Global Economy: Winners and Losers*. Banco Mundial.

Climate change and sustainability: Two sides of the capitalism crisis

Mudança climática e sustentabilidade: dois lados da crise do capitalismo

Francisco Javier Caballero Anguiano

Universidad Autónoma de Zacatecas | Zacatecas | México

<https://orcid.org/0000-0001-6502-6234>

francisco.caballero@uaz.edu.mx

caballerofoj@gmail.com

Doctor en Estudios del Desarrollo por la Unidad Académica de Estudios del Desarrollo de la Universidad Autónoma de Zacatecas. Investigador en la Unidad Académica en Estudios del Desarrollo, reconocimiento en el Sistema Nacional de Investigadoras en Investigadores

José Erik Gómez Cruz

Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo | Hidalgo | México

<https://orcid.org/0009-0004-4535-4520>

jose_gomez@uaeh.edu.mx

jegc85@gmail.com

Doctor en Estudios del Desarrollo por la Universidad Autónoma de Zacatecas. Actualmente está realizando su Estancia Posdoctoral en la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo (UAEH). Cuenta con una Especialidad en Migración Internacional, y otra en Desarrollo Social. Cursó una Maestría en Estudios de Población, y la Licenciatura en Sociología, también por la UAEH.

Abstract

Climate change is a proven fact due to the increase in the average temperature of the planet in the last 200 years. Beyond the recurrence of this process in planetary history, capitalist production has been its main driver and the cause of an eventual crisis in the reproduction of life. The aim of this article is to analyze the strategy of the international community, to achieve a sustained reduction in greenhouse gas (GHG) emissions and allow peripheral countries to have the resources to adapt to climate change and slow down global warming. It is argued that, by resorting to voluntary agreements to mitigate emissions and, by integrating a sustainable perspective, which attributes to individuals and companies the primary role in reversing warming, they result in an ideological proposal that hides the problem: there is no green capitalism, and any way out is impossible within this system.

Keywords: Climate change; Sustainability; Mitigation; Adaptation; Crisis

Resumo

A mudança climática é um fato comprovado, evidenciado pelo aumento da temperatura média do planeta nos últimos 200 anos. Para além da recorrência deste processo na história planetária, a produção capitalista tem sido o seu principal impulsor e a causa de uma potencial crise na reprodução da vida. Este artigo tem como objetivo analisar as estratégias da comunidade internacional para alcançar uma redução sustentada das emissões de gases de efeito estufa (GEE) e permitir que os países periféricos possuam os recursos para se adaptarem à mudança climática e desacelerarem o aquecimento global. Afirma-se que, ao recorrer a acordos voluntários para mitigar as emissões e ao integrar uma perspectiva de sustentabilidade que atribui a indivíduos e empresas o papel primordial na reversão do aquecimento, resulta numa proposta ideológica que oculta o problema: não há capitalismo verde e qualquer saída é impossível dentro deste sistema.

Palavras-chave: Mudança Climática; Sustentabilidade; Mitigação; Adaptação; Crise

Capítulo 3

Inteligencia artificial y nanotecnologías en el contexto de la transformación digital y el desarrollo

Betiana Elizabeth Vargas

Resumen

El presente estudio examina el impacto de la convergencia entre las nanotecnologías y la inteligencia artificial (IA) en la transformación digital global, haciendo especial énfasis en sus implicaciones sociales y económicas. A través de una revisión bibliográfica exhaustiva, se analizan las aplicaciones emergentes de estas tecnologías disruptivas, sus efectos en la economía global y su relación con la economía política. El análisis detecta cómo, a pesar de ofrecer oportunidades de desarrollo, la integración de la IA y las nanotecnologías tiende a profundizar las desigualdades entre el Norte y el Sur Global. Los hallazgos sugieren que, si bien estas tecnologías pueden fomentar el desarrollo, también refuerzan estructuras de dependencia tecnológica y perpetúan diversas formas de colonialismo. Asimismo, se subraya la importancia de que el Estado impulse políticas públicas específicas, marcos regulatorios y sistemas de innovación adaptados a las condiciones locales para abordar los desafíos y problemas particulares de los países periféricos. En este contexto, se resalta el papel de las Universidades como puentes entre el Estado y las organizaciones sociales y la necesidad de una estrategia política centrada en la justicia social y ambiental que permita a las economías emergentes aprovechar las oportunidades sin quedar atrapadas en dinámicas de dependencia estructural.

Palabras clave:
Inteligencia Artificial (IA);
nanotecnologías;
transformación digital;
desarrollo.

Vargas, B. E. (2026). Inteligencia artificial y nanotecnologías en el contexto de la transformación digital y el desarrollo. En J. Martínez Pérez, M. Hernández Ortiz, & I. Ortiz Medina, (Coords). *Desafíos contemporáneos. Un análisis multiescalar de la tecnología, la sociedad y el territorio*. (pp. 90-113). Religación Press. <http://doi.org/10.46652/religacionpress.363.c785>



Introducción

La inteligencia artificial (IA) y las nanotecnologías se encuentran entre las tecnologías emergentes más promocionadas en la actualidad, pero, paradójicamente, son también algunas de las menos comprendidas. Aunque comúnmente se estudian de manera separada, existe una superposición natural entre ambas que impulsa su desarrollo conjunto. Estas tecnologías permiten, por un lado, la manipulación precisa de la materia a escala nanométrica y, por otro, el procesamiento avanzado de grandes volúmenes de datos, lo que da lugar a la creación de nuevas realidades tanto en los sectores industriales como en otros ámbitos sociales y políticos. Si bien su implementación promete aumentar la productividad y abrir nuevas oportunidades de desarrollo, también plantea retos significativos en términos de desigualdad y dependencia tecnológica, especialmente para las economías emergentes.

El presente estudio tiene como objetivo examinar y problematizar las implicaciones sociales y económicas de la convergencia entre la IA y las nanotecnologías en el contexto de transformación digital y el desarrollo global, desde una perspectiva de la economía política. El análisis se centra en las desigualdades emergentes, particularmente aquellas que afectan a los países del Sur Global, a raíz de intercambios desiguales y de nuevas formas de colonialismo. A través de una revisión detallada de estudios académicos, informes especializados y proyecciones de mercado, se busca comprender cómo estas tecnologías pueden afectar las desigualdades existentes y cómo la intervención del Estado, mediante políticas públicas y marcos regulatorios adecuados, puede ser fundamental para reducir la brecha tecnológica entre el Norte y el Sur.

En este contexto, se introduce al tema comenzando por una exploración de los conceptos fundamentales de nanotecnologías e IA. Posteriormente, se analiza la convergencia de ambas tecnologías, haciendo especial énfasis en los semiconductores y su impacto en

la geopolítica actual. A continuación, se repasan avances en los nanosensores y sus aplicaciones actuales. Finalmente, se plantea reflexión crítica sobre el desarrollo desde la perspectiva del Sur Global, abordando tanto los factores objetivos como subjetivos implicados en los intercambios desiguales, además de discutir los riesgos emergentes y sus implicaciones. El capítulo se cierra con una serie de conclusiones.

Metodología

La metodología se basa en una revisión bibliográfica exhaustiva que permite contextualizar y analizar las implicaciones sociales y económicas de la relación entre nanotecnologías e IA frente a la transformación digital y el desarrollo. A través de la recopilación y el análisis de fuentes académicas y documentos especializados, se identificaron aplicaciones y avances clave en el campo de las tecnologías emergentes, su impacto económico y su relación con la economía política. Esta revisión incluye estudios de caso y proyecciones futuras, como valorizaciones de mercado, que permiten evaluar las implicaciones tanto para economías desarrolladas como para países menos avanzados dentro del marco del avance científico global.

A partir de este análisis, se busca examinar cómo las tecnologías emergentes afectan las desigualdades preexistentes y amplían las brechas entre el Norte y el Sur Global. Además, se realiza una reflexión crítica sobre las dinámicas de poder en el contexto de la Industria 4.0, con especial atención a la dependencia tecnológica, el colonialismo digital y los riesgos sociales y ambientales emergentes relacionados con la implementación de estas tecnologías. La hipótesis central del trabajo plantea que, aunque las nanotecnologías y la IA pueden generar oportunidades de desarrollo, su integración tiende a reforzar estructuras de desigualdad, particularmente en territorios periféricos. Los hallazgos subrayan la necesidad de la intervención

del Estado para fortalecer las políticas educativas y de formación especializadas, así como para diseñar políticas de innovación y marcos regulatorios adaptados a las condiciones locales, que no sólo respondan a las tendencias mundiales, sino que también aborden de manera efectiva los problemas y prioridades locales.

¿Qué son las nanotecnologías y la IA?

Cuando se mencionan las nanotecnologías y nanociencia, se hace referencia a la habilidad de manipular y controlar la materia a escala atómica y molecular. Tal como sostiene Villa Vázquez (2022), hoy en día ningún sector económico es ajeno a incorporar la nanotecnología en sus procesos productivos. En tal sentido, el desarrollo de este tipo de tecnologías necesitó del avance en las técnicas de microscopía. Según Emergen Research (2023), tanto el microscopio de efecto túnel de barrido (STM) como el microscopio de fuerza atómica (AFM) fueron los que dieron inicio a esta una nueva era nano.

La nanotecnología implica la manipulación de la materia a escala nano. De acuerdo con el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología de Estados Unidos (National Science and Technology Council o NSTC, por sus siglas en inglés), la nanotecnología permite aprovechar las capacidades físicas de la materia: “Nanotechnology, which involves the manipulation of matter at the ‘nano’ scale, is a necessary enabling technology that takes advantage of the different quantum physical capabilities of matter by creating new structures with new molecular features” (National Science and Technology Council [NSTC], 2009, citado en Zayago Lau, 2024, p. 127).

Por lo tanto, la nanotecnología se define como el estudio, la comprensión y el control de la materia a escala nanométrica, con dimensiones que varían entre aproximadamente 1 y 100 nanómetros. Tal como señala DayOne (2021), es importante aclarar que un nanómetro equivale a una milmillonésima parte de un metro (0,000000001 m), lo que corresponde al ancho de entre

tres y cinco átomos. Para ponerlo en perspectiva, un nanómetro es aproximadamente 100.000 veces más pequeño que el grosor de un cabello humano, que generalmente mide entre 80.000 y 100.000 nanómetros. Esta comparación permite tomar dimensión la pequeña escala en la que opera la nanotecnología.

Las estructuras a escala nanométrica posibilitan la realización de procesos que otras tecnologías no pueden llevar a cabo. Esto incluye la creación de materiales con características superiores, con mayor resistencia, reducción de peso, control avanzado sobre el espectro de luz y una reactividad química ampliada en comparación con sus equivalentes a mayor escala. De acuerdo con un informe de Emergen Research (2023), se proyecta que el mercado global de la nanotecnología alcance un valor de 290,93 mil millones de dólares para el año 2028.

En relación con la Inteligencia Artificial (IA), McCarthy (2007), la define como una disciplina dedicada al estudio y desarrollo de sistemas diseñados para realizar tareas especializadas, tales como programas informáticos avanzados. Según Porcelli (2020), el término IA fue introducido en 1956 por un grupo de científicos, entre los que se encontraban McCarthy, Minsky, Rochester y Shannon, quienes dieron inicio al proyecto de investigación denominado “Inteligencia Artificial” en Dartmouth College (Estados Unidos). El propósito de este proyecto era describir de manera tan precisa la inteligencia humana que se pudiera replicar en una máquina. Esta concepción se conoció como Inteligencia Artificial Genérica, refiriéndose a una IA capaz de igualar o incluso superar la capacidad cognitiva humana promedio.

De acuerdo con IBM (2023), existen tres tipos de IA, según capacidades y alcance:

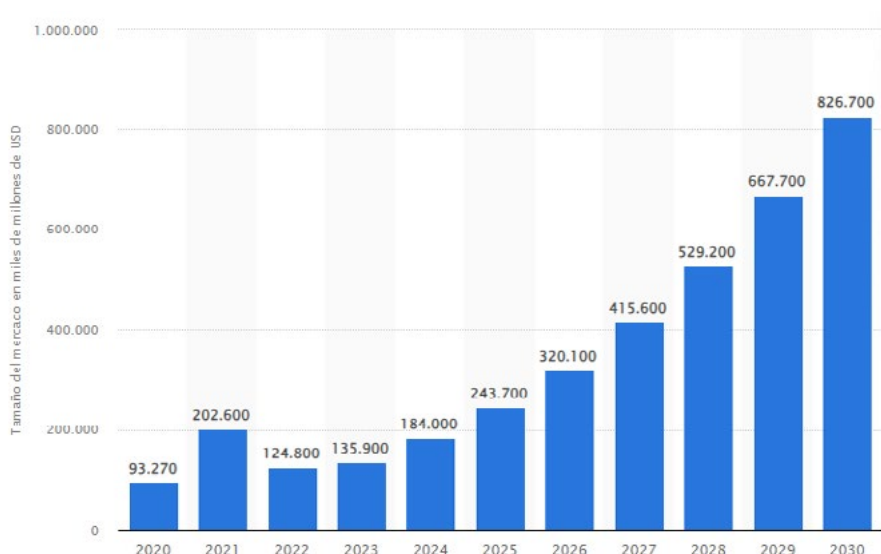
1. IA Artificial Estrecha, este es el único tipo de IA que existe actualmente. Puede programarse para realizar una sola tarea, con mayor rapidez y eficiencia que la mente humana. Sin

embargo, solo puede actuar dentro de la tarea definida. Los asistentes inteligentes como Alexa, Siri y Watson, o ChatGPT de OpenAI, son algunos ejemplos de esta IA limitada.

2. IA General (AGI), o IA fuerte, continúa siendo un concepto teórico. Su objetivo es desarrollar máquinas que puedan adquirir conocimientos y habilidades a través de experiencias previas, para resolver nuevos retos en diversos entornos sin necesidad de intervención humana.
3. Superinteligencia artificial, o super IA, este concepto sigue siendo estrictamente teórico. En caso de lograrse, la Super AI tendría capacidades cognitivas superiores a las de los seres humanos, como pensar, razonar, aprender y emitir juicios.

La IA se perfila como una de las áreas tecnológicas con mayor proyección económica a corto y mediano plazo. Según Statista (2024), se espera que el valor de mercado de la IA supere los 300.000 millones de dólares en 2026, alcanzando más de 800.000 millones de dólares en 2030. En 2021, se observó un pico de inversión de 202.600 millones de dólares, justo antes del lanzamiento de ChatGPT a fines de 2022, lo que desató un “nuevo boom” en la IA (véase figura 1).

Figura 1. Tamaño del mercado de la inteligencia artificial a nivel mundial de 2020 a 2030 (en miles de millones de dólares)



Fuente: Statista (2024).

Tanto la IA como las nanotecnologías son consideradas tecnologías disruptivas de la Cuarta Revolución Industrial (Schwab, 2017) o Industria 4.0 (Basir et al., 2019; Foladori & Ortiz-Espinoza, 2022). Ambas tecnologías destacan por su capacidad para transformar rápidamente numerosos sectores, desde la industria hasta la educación, contribuyendo a la reconfiguración del capital global y dando paso a una “nueva fase digital” (Aguilera, 2023).

Convergencia entre IA y nanotecnologías

Aunque la integración esperada entre IA y nanotecnologías todavía está en marcha, la idea de que ambas tecnologías converjan y que la investigación multidisciplinaria crezca ha estado en marcha durante más de una década. Si se logra establecer un puente entre la IA actual, las nanociencias y las nanotecnologías, esto podría impulsar la investigación en estos campos y ofrecer a las nuevas generaciones

tecnologías con un impacto profundo en diversos sectores, ya sea productivos, sociales, políticos, biológicos y de desarrollo.

Varios esfuerzos de investigación en nanociencia tanto básica como aplicada, junto con el uso de herramientas de IA, facilitan la interpretación de técnicas experimentales y la colaboración en el diseño de dispositivos y nanomateriales. Los avances en nanoinformática, nanodispositivos y nanomateriales proporcionan plataformas eficientes que facilitan la implementación de métodos de aprendizaje automático e IA potenciando las capacidades computacionales.

En el mundo digital, los materiales semiconductores desempeñan un papel crucial, ya que son la base para el funcionamiento de dispositivos como computadoras, smartphones, paneles solares y muchos otros dispositivos electrónicos. La capacidad de los semiconductores para adaptarse a diferentes aplicaciones ha transformado múltiples campos de la tecnología. Además, su capacidad para miniaturizar continuamente las estructuras subraya la relevancia de la convergencia entre la IA y la nanotecnología.

En términos generales, los semiconductores son materiales cuya conductividad eléctrica se encuentra en un punto intermedio, entre la de un conductor (como el cobre) y un aislante (como el vidrio). Algunos de los semiconductores más comunes incluyen el silicio (Si), el germanio (Ge) y compuestos tales como el GaAs o el GaN. Según Sánchez Martínez & Cruz Hernández (s.f.), las nanoestructuras están transformando la industria de los semiconductores. Un ejemplo claro de esta revolución es su aplicación en LEDs (diodos emisores de luz) y láseres. Las nanoestructuras permiten que los LEDs ofrezcan una luz más brillante y eficiente. En el caso de los láseres, mejoran el control y la precisión de la emisión de luz, lo que los convierte en herramientas fundamentales en sectores como la medicina, las comunicaciones y la manufactura, donde la precisión en la emisión de luz es esencial.

En el ámbito de la IA, se utilizan circuitos integrados especializados para optimizar las tareas de aprendizaje automático, las cuales dependen de semiconductores y nanoestructuras semiconductoras. Estos circuitos son vitales para el funcionamiento eléctrico de diversas tecnologías, como los vehículos autónomos. De acuerdo con Sánchez Martínez & Cruz Hernández (s.f.), la escasez de semiconductores tuvo un impacto tan significativo en la industria automotriz en México que, en junio de 2021, casi 34.000 vehículos no pudieron ser ensamblados. Para julio del mismo año, la cifra de autos sin ensamblar aumentó a 81.671, según reportes de la Industria Nacional de Autopartes (INA). La geopolítica de los semiconductores alcanzó su punto crítico tras la Pandemia por COVID-19 y el avance acelerado de la digitalización global.

Según Basir et al. (2019), hay tres fases en la conectividad. La primera es la físico-química inmediata, la segunda es la fase de redes, y la tercera la de aplicaciones inteligentes. Este desarrollo ha sido posible gracias a la consolidación de la Industria 4.0, que aboga por la completa automatización de procesos y una mayor flexibilidad y anticipación en relación con los comportamientos de consumidores y productores (Eslava, 2021, en Foladori & Ortiz-Espinoza, 2022). Una de las características fundamentales de la Industria 4.0 es la integración de tecnologías y la creciente dependencia entre ellas, una tendencia que sigue avanzando sin señales de desaceleración. A medida que las revoluciones tecnológicas progresan, las tecnologías se vuelven más multipropósito y capaces de facilitar muchas otras innovaciones (Bresnahan & Trajtenberg, 1995; Shea et al., 2011). Por eso, tanto la IA como las nanotecnologías son consideradas Tecnologías de Propósito General (TPG).

Con el crecimiento de la demanda de aplicaciones de IA, también surge la necesidad de disponer de hardware especializado que apoye estas tecnologías. Según la Semiconductor Industry Association (SIA), citada por Bravo (2024), el valor de mercado global de chips se aproximó a los 524 mil millones de dólares en 2023. Sin embargo,

Allien Market Research proyecta que, para 2031, el mercado de los chips se reducirá a 263 mil millones de dólares, es decir, la mitad de lo calculado para 2023 (Almario, 2023). El sector de semiconductores está dominado por TSMC, compañía taiwanesa asociada con Nvidia, que controla cerca del 80% del sector. No obstante, como señala Bravo (2024), Estados Unidos posee alrededor del 50% del mercado global de semiconductores. Según Almario (2023), los chips de IA están desempeñando un papel esencial en la mejora de la capacidad de procesamiento y el rendimiento de los sistemas de IA. Los principales países fabricantes de chips para la IA incluyen a Estados Unidos, China, Corea del Sur e Israel (véase figura 2).

Figura 2. Mercado global de chips



Fuente: Almario (2023).

Como se observa en la Figura 2, empresas líderes como Nvidia, Intel y AMD están destinando recursos significativos al desarrollo de chips que mejoren el rendimiento de los sistemas de IA. Según Almario (2023), China ha emergido como un competidor relevante en este sector con gigantes como Huawei, Tencent y Baidu realizando inversiones destacadas. La combinación de apoyo estatal y talento local ha sido fundamental para el progreso en la fabricación de chips de IA en el país. Asimismo, empresas como Samsung y SK Hynix de Corea del Sur, junto con Mobileye de Israel, están demostrando un gran potencial tanto en el desarrollo como en la producción de tecnologías avanzadas en este campo.

El lugar de los nanosensores

La convergencia de la nanotecnología y la IA ha dado lugar a la miniaturización de los dispositivos electromecánicos, un proceso que se materializó en el contexto de la Industria 4.0 (Zayago Lau, 2024). En la segunda década de este siglo, las propiedades dinámicas de la nanotecnología han permitido que los sensores alcancen tamaños inferiores a los 10 nanómetros, lo que ha posibilitado su aplicación en todos los sectores económicos. Los MEMS (sistemas microelectromecánicos) están evolucionando hacia NEMS (sistemas nanoelectromecánicos) (Foladori & Ortiz-Espinoza, 2022).

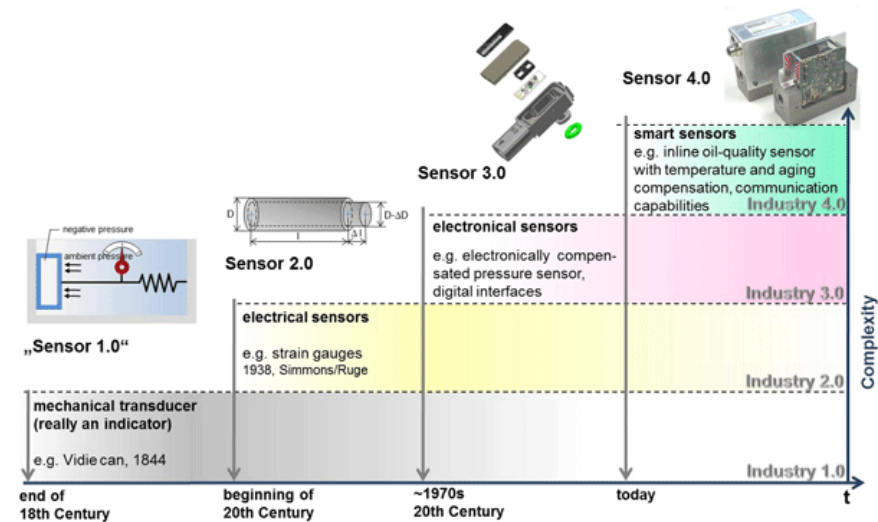
Los nanosensores se han transformado en componentes esenciales de la Industria 4.0, con las nanotecnologías como su base fundamental. Tecnologías emergentes como la IA, el IoT, el big data, el blockchain, la 5G, la impresión 3D, la robótica, los drones, la edición genética y la energía solar fotovoltaica (United Nations Conference on Trade and Development [UNCTAD], 2021), permiten digitalizar, almacenar, establecer interfases entre datos y materia, y conectar usuarios (Foladori & Ortiz-Espinoza, 2022).

Como señalan Zarepour et al. (2014, citado en Zayago Lau, 2024):

MEMS and NEMS are compact devices incorporating electronic, mechanical, and electrical components. Their size can range from a few tenths of a micrometer to several millimeters or some nanometers, and they can interact with physical, chemical, and biological processes at the microscopic level. (p.134)

En otras palabras, los NEMS aprovechan las propiedades fisicoquímicas únicas de los materiales a escala nanométrica, lo que les permite detectar o manipular parámetros físicos específicos a microescala e incluso generar efectos detectables a mayor escala. Aunque los sensores inteligentes (smart sensors) tienen una larga trayectoria, su aplicación actual responde a las necesidades de interconectividad y automatización de la Industria 4.0 (véase figura 3).

Figura 3. Evolución histórica de los sensores según tipo



Fuente: Schütze et al. (2018).

Los nanosensores se utilizan ampliamente en diversas industrias, incluyendo electrónica, atención médica, manufactura, aeroespacial y

defensa, ya que son capaces de recopilar datos a nanoescala que serían difíciles de manejar con sensores más grandes (Mordor Intelligence, s.f.). Un ejemplo tangible de nanosensores son los smartphones, que muchas industrias utilizan para hacer un seguimiento del ciclo de vida del proceso productivo. Cada vez más, las grandes empresas están transformando sus dispositivos para hacerlos más inteligentes, es decir, conectados, autónomos e interactivos (Castillo, 2017, citado en Foladori & Ortiz-Espinoza, 2022). Otro ejemplo importante de nanosensores se encuentra en el ámbito de la salud, donde se están desarrollando nuevas formas de monitorización remota de pacientes. Estos dispositivos portátiles tienen nanosensores instalados en el tejido, lo que les permite registrar datos médicos como la presión arterial, el ritmo cardíaco y los componentes del sudor, y advertir a los usuarios o profesionales médicos sobre cualquier cambio adverso en el cuerpo.

En 2019, Nanowear, empresa startup con sede en Estados Unidos, lanzó NanoSENSE, un ensayo clínico de validación diagnóstica de alerta y gestión de insuficiencia cardíaca. En el marco del estudio, desarrollaron SimpleSENSE, una prenda interior de monitoreo, y una plataforma de aprendizaje automático de circuito cerrado. La prenda utiliza nanosensores de tela patentados y aprobados por la Administración de Alimentos y Medicamentos de Estados Unidos (Food and Drug Administration [FDA] por sus siglas en inglés) para registrar fonocardiografía, gasto cardíaco y volumen sistólico, y que puede incluir tecnología de evaluación de ECG multicanal que monitorea la postura, la variabilidad de la frecuencia cardíaca, la actividad, la impedancia torácica y la frecuencia respiratoria (DayOne, 2021). En enero de 2024, Nanowear recibió la autorización de la FDA para el uso de IA en el control de la presión arterial. La compañía recibió la autorización 510(k) de la FDA para el programa SimpleSense-BP, lo que constituye la cuarta autorización otorgada a la empresa. Este programa tiene como objetivo respaldar el diagnóstico de la hipertensión tanto en el hogar como en centros de atención médica o estudios clínicos (Hale, 2024).

Otras aplicaciones en nanomedicina incluyen el diagnóstico y tratamiento de diversas enfermedades mediante el uso de nanopartículas en herramientas médicas, nanotecnología molecular y biosensores nanoelectrónicos. La nanomedicina se utiliza para desarrollar píldoras inteligentes y tratamientos contra el cáncer. También se emplean nanobots para realizar cirugías oculares o despejar obstrucciones arteriales. En este contexto, el término “píldoras inteligentes” se refiere a dispositivos electrónicos a escala nanométrica que, con la forma de píldoras farmacéuticas, ofrecen funciones avanzadas como administración de fármacos, detección y obtención de imágenes. Los nanobots, por su parte, son robots que operan a escala microscópica y pueden ser insertados en el cuerpo para reparar estructuras intracelulares, corregir deficiencias genéticas o eliminar enfermedades al eliminar partículas de ADN. Actualmente, su tamaño varía entre 0,1 y 10 micrómetros, por lo que no son exactamente de escala nanométrica. La intersección entre robótica y mecatrónica a nanoescala está facilitando estas aplicaciones en el campo de la medicina, aunque aún se encuentran en pleno desarrollo (DayOne, 2021).

En resumen, los nanosensores son posibles gracias a los NEMS, que se interconectan con la IA para recopilar, analizar y proporcionar información sobre datos específicos. No obstante, el hardware, a través de supercomputadoras y centros de procesamiento de datos avanzados, es determinante en su efectividad (Zayago Lau, 2024). Los nanosensores tienen aplicaciones en una amplia gama de sectores. Se espera que el mercado de nanosensores alcance los 0,88 billones de dólares en 2024 y llegue a los 1,51 billones de dólares en 2029, con un crecimiento anual compuesto del 11,35% durante este período (Mordor Intelligence, s.f.).

Dependencia tecnológica y riesgos emergentes

Existen condiciones estructurales que obstaculizan la investigación de tecnologías en países fuera del Norte Global, lo que

actúa como una barrera para su aplicación y desarrollo. Por lo tanto, es crucial analizar tanto la nanotecnología como la IA en la lógica de la acumulación global, considerando tanto las relaciones objetivas como a las subjetivas, y cómo ambas contribuyen a configurar las desigualdades.

En cuanto a la acumulación y los aspectos objetivos, tanto en las nanotecnologías como en la IA, un indicador clave para medir la importancia de un país son las patentes, las cuales evidencian el liderazgo en la formalización y monopolización de los conocimientos relacionados con cierta tecnología. Tomando el caso de las nanotecnologías, Zayago Lau (2024), indica que, aunque Estados Unidos lidera el mercado mundial de nanoproductos, China supera a Estados Unidos en publicaciones científicas, manteniendo una ventaja competitiva. En 2023, China registró 938.217 artículos científicos, mientras que Estados Unidos alcanzó solo 437.679, lo que equivale a casi la mitad de lo publicado por el gigante asiático.

No obstante, países como Estados Unidos, Japón y Corea del Sur han logrado mantener su liderazgo en la fabricación de productos nanotecnológicos con 69.100, 11.440 y 11.224 patentes, respectivamente. En cambio, China presentó 7.032 patentes, ubicándose en el quinto lugar, justo después de Taiwán con 7.305. En el caso de América Latina, Brasil, México y Argentina son los países líderes en publicaciones, patentes, empresas e infraestructura en nanotecnología (Foladori et al., 2018). Hasta 2023, Brasil había registrado 45.760 publicaciones de nanotecnología, con 1.085 compañías; México alcanzó 20.945 publicaciones y 138 compañías; y Argentina registró 9.808 publicaciones y 43 compañías (Zayago Lau, 2024). En este contexto, competir con los países centrales resulta impensable sin el apoyo en innovación tecnológica por parte de políticas públicas específicas y la integración a las cadenas globales de valor.

Desde una perspectiva subjetiva, es fundamental partir de dos proposiciones: en primer lugar, las relaciones sociales que intervienen

en el desarrollo de la tecnología en el capitalismo juegan un papel fundamental en la organización de la sociedad; y, en segundo lugar, la tecnología, dentro del marco de las relaciones capitalistas, constituye uno de los factores más relevantes para la acumulación, ya que incrementa la competitividad y los beneficios. La llegada de personal altamente cualificado, o cuadros técnicos, a los centros de producción en los países más desarrollados es, en parte, facilitada por sistemas educativos que forman a individuos con habilidades que posteriormente son absorbidas para mejorar las condiciones de producción y generar mayor competitividad, beneficiando a los sectores concentrados que lideran la innovación a escala global. Según Zayago Lau (2024), este fenómeno refuerza la dependencia tecnológica de los países del Sur Global. Además, como argumentan Foladori & Ortiz-Espinoza (2022), desde los años 90 ha crecido la tendencia hacia la precarización del empleo no calificado, un proceso que, con la llegada de la Industria 4.0, se ha intensificado debido a la creciente y acelerada sustitución de trabajo humano por maquinaria.

En cuanto a las condiciones de desigualdad, la acumulación de conocimientos, la financiación, las infraestructuras, las patentes y la monopolización de beneficios determinan en gran medida la trayectoria de la dependencia tecnológica del Sur Global. Un claro ejemplo de esto es la brecha digital, con disparidades en conectividad a Internet que alimenta las desigualdades tanto dentro de los países como entre naciones. Esta tendencia se ha intensificado desde la pandemia de COVID-19, dejando a los países del Sur Global en una posición tecnológica vulnerable (Mena Roa, 2021; Mishi & Anakpo, 2022, en Zayago Lau, 2024).

De acuerdo con Zayago Lau (2024), es posible superar algunas barreras tecnológicas mediante estrategias como inversiones en educación y desarrollo de competencias, la promoción de la innovación, el fomento de la colaboración internacional y el aprovechamiento de la inversión extranjera directa. En este marco, desde la década de 2000, países como India y China se han convertido en centros de

subcontratación tecnológica y fabricación, aprovechando su gran volumen de mano de obra y las oportunidades de expansión de los mercados nacionales.

Finalmente, a medida que la ciencia y la tecnología contribuyen al desarrollo capitalista, surgen riesgos como el desplazamiento de trabajadores, el incremento de la explotación, el crecimiento del monopolio. Además, las implicaciones para la salud y el ambiente a menudo son ignoradas. La implementación de programas nanotecnológicos en países desarrollados ha evidenciado riesgos ambientales derivados de los nanomateriales, lo que ha generado que algunas ONGs y sindicatos emitan comunicados en contra del desarrollo de estas tecnologías (Invernizzi y Foladori, 2013, en Villa Velázquez, 2022). Esto mismo podría empezar a ocurrir con las aplicaciones de IA, particularmente respecto al consumo desproporcionado de agua y de energía (Wu et al., 2022; Crawford, 2024; Lagos, 2024; Pascual, 2024; Retamar, 2024). Sin embargo, también surgen estudios que destacan el potencial de la IA para cuidar el ambiente, como un estudio que utiliza la robótica y el aprendizaje automático para acelerar el descubrimiento de sustitutos de plásticos naturales con propiedades ópticas, térmicas y mecánicas programables (Chen et al., 2024).

Más allá de estos aportes, es fundamental entender que las acciones voluntarias no son suficientes para contrarrestar la creciente dependencia y los riesgos asociados. Reducir los impactos de las tecnologías digitales y la brecha tecnológica entre los países del Norte y del Sur Global requiere revisar las bases estructurales que convierten a una tecnología en fuerza productiva del capital y reafirmar el carácter no neutral de la ciencia y la tecnología. Reducir la brecha tecnológica exige un esfuerzo concertado de gobiernos, empresas, organizaciones sociales y sociedad civil, con el objetivo de promover un desarrollo inclusivo y una justicia social y climática que permita a las economías del Sur Global alcanzar su máximo potencial. Para lograr esto, es esencial que los gobiernos inviertan en

programas educativos orientados a fortalecer las capacidades de sus comunidades, así como en el fortalecimiento de sistemas nacionales de innovación alineados con las prioridades locales, en un proceso en el que las universidades públicas desempeñan un papel central.

Conclusiones

La convergencia de la IA y las nanotecnologías constituye un proceso esencial para la configuración de la Industria 4.0, al generar nuevas capacidades para transformar la productividad a escala global. Al combinar el procesamiento masivo de datos con la manipulación precisa de la materia a escala nanométrica, estas tecnologías están redefiniendo los límites de lo posible en sectores clave como la manufactura, la medicina, la energía y las comunicaciones. Ejemplos claros de transformación incluyen la miniaturización de los dispositivos electromecánicos y la creación de nanosensores, los cuales muestran cómo la convergencia de estas tecnologías puede revolucionar industrias enteras.

No obstante, el desarrollo de estas tecnologías no es neutral. A medida que avanza la IA y las nanotecnologías, también se profundizan las desigualdades estructurales entre el Norte Global y el Sur Global. Los países del Norte, con infraestructuras tecnológicas avanzadas, mayor acceso a financiamiento e influencia sobre las patentes y la propiedad intelectual, continúan liderando la innovación. Por el contrario, los países del Sur enfrentan barreras significativas para acceder a estas tecnologías, lo que perpetúa una dependencia tecnológica que se agrava por el intercambio desigual, el monopolio del conocimiento y la fuga de talento -o, individuos altamente calificados- hacia economías más avanzadas.

Los casos de China e India muestran que, bajo condiciones locales favorables, es posible que los países periféricos se inserten en las cadenas globales de valor, aprovechando el potencial de su fuerza de trabajo y mercados nacionales en expansión. Sin embargo, las

desigualdades tecnológicas persisten y se intensifican, especialmente debido a la falta de soberanía tecnológica, políticas públicas y marcos regulatorios robustos en muchos países del Sur Global.

La convergencia entre estas dos tecnologías también da lugar a nuevos fenómenos de colonialismo digital. Mientras ciertos países y grandes corporaciones controlan la innovación y la propiedad intelectual, los países del Sur Global no solo enfrentan dificultades para acceder a estas tecnologías, sino que también se ven expuestos a nuevas formas de explotación derivadas de la automatización y la precarización laboral asociada a la Industria 4.0.

La brecha tecnológica tiene una dimensión subjetiva. Es crucial que los países del Sur Global inviertan en educación, formación de científicos y científicas y políticas de innovación que no solo responda a las necesidades globales, sino que también aborden de manera efectiva los problemas y prioridades locales. Las universidades públicas juegan un papel fundamental en este proceso, ya que pueden contribuir al fortalecimiento de los sistemas nacionales de innovación y servir como puentes entre el Estado y las organizaciones sociales. Si las políticas no incluyen un enfoque de justicia y no consideran las realidades locales, se corre el riesgo de reforzar las estructuras de poder existentes, perpetuando una perspectiva de desarrollo tecnológico que favorece a un puñado de empresas que dominan el sector.

En este contexto, la necesidad de una estrategia política situada y con perspectiva de integración regional se vuelve cada vez más urgente para los países del Sur Global, que buscan aprovechar las oportunidades ofrecidas por la IA y las nanotecnologías, sin caer en nuevas, ni tan nuevas, dinámicas de dependencia e intercambio desigual.

Referencias

- Aguilera, L. (2023). Nueva fase. Trabajo, valor y tiempo disponible en el capitalismo del siglo XXI. Editorial Punto de Encuentro.
- Almario, M. A. (2023, 1 de julio). Estados Unidos, China y Corea, los que lideran la industria de IA en fabricación de chips. La República. <https://n9.cl/pspj8>
- Basir, R., Qaisar, S., Ali, M., Aldwairi, M., Ashraf, M. I., Mahmood, A., & Gidlund, M. (2019). Fog computing enabling industrial internet of things: State-of-the-art and research challenges. *Sensors*, 19(21). <https://doi.org/10.3390/s19214807>
- Bravo, J. (2024, 30 de agosto). El futuro de los semiconductores. *El Economista*. <https://n9.cl/dq46l4>
- Bresnahan, T. F., & Trajtenberg, M. (1995). General purpose technologies ‘Engines of Growth’? *Journal of Econometrics*, 65(1), 83-108. [https://doi.org/10.1016/0304-4076\(94\)01598-T](https://doi.org/10.1016/0304-4076(94)01598-T)
- Chen, T., Pang, Z., & He, S. (2024). Machine intelligence-accelerated discovery of all-natural plastic substitutes. *Nature Nanotechnology*, 19, 782–791. <https://doi.org/10.1038/s41565-024-01635-z>
- Crawford, K. (2024, 22 de febrero). Generative AI is guzzling water and energy. *Nature*. <https://www.nature.com/articles/d41586-024-00478-x.pdf>
- DayOne. (2021, 16 de julio). AI and nanotechnology in healthcare. <https://n9.cl/pgocl>
- Emergen Research. (2023, 20 de junio). Empresas de nanotecnología a tener en cuenta en el futuro cercano. <https://n9.cl/7r7qo>
- Foladori, G., Invernizzi, N., Osma, J. F., & Zayago, E. (2018). Cadenas de producción de las nanotecnologías en América Latina: Argentina, Brasil, Colombia y México. Universidad de los Andes.
- Foladori, G., & Ortiz-Espinoza, Á. (2022). La relación capital-trabajo en la Industria 4.0. *Íconos. Revista de Ciencias Sociales*, 73, 161-177.
- Hale, C. (2024, 5 de enero). Smart clothing maker Nanowear collects FDA AI clearance for cuffless blood pressure monitoring. *Fiercebio-tech*. <https://n9.cl/ku5h5>
- IBM. (2023, 12 de octubre). Understanding the different types of artificial intelligence. <https://n9.cl/gvsio>

- Lagos, A. (2024, 20 de septiembre). La IA ahora va por tu agua: ¿Por qué deberíamos preocuparnos por la instalación de centros de datos en el Sur Global?. Wired. <https://n9.cl/79qwx>
- McCarthy, J. (2007, 11 de noviembre). What is artificial intelligence. Stanford University. <https://n9.cl/2p5w7>
- Mena Roa, M. (2021, 19 de febrero). El desigual acceso a Internet en el mundo. Statista. <https://n9.cl/9o6w9>
- Mordor Intelligence. (s.f.). Tamaño del mercado de nanosensores y análisis de participación tendencias de crecimiento y pronósticos (2024-2029). <https://n9.cl/7eeor>
- Nanografi. (s.f.). Artificial intelligence integration with nanotechnology. <https://n9.cl/rodpe>
- Pascual, M. (2024, 16 de julio). La inteligencia artificial ya es un problema medioambiental. El País. <https://n9.cl/gyrock>
- Porcelli, A. M. (2020). La inteligencia artificial y la robótica: sus dilemas sociales, éticos y jurídicos. Derecho global. Estudios sobre derecho y justicia, 6(16), 49-105.
- Retamar, N. (2024, 19 de julio). Consumo elevado de agua y energía: la otra cara de la inteligencia artificial. Agencia de Noticias Científicas. <https://agencia.unq.edu.ar/?p=21309>
- Sánchez Martínez, E., & Cruz Hernández, E. (s.f.). Semiconductores y Nanotecnología: Héroes Silenciosos de la Tecnología Moderna. CIACYT - Universidad Autónoma de San Luis Potosí. <https://n9.cl/rokkt>
- Schütze, A., Helwig, N., & Schneider, T. (2018). Sensors 4.0 – Smart sensors and measurement technology enable Industry 4.0. Journal of Sensors and Sensor Systems, 7(1), 359-371. <https://doi.org/10.5194/jsss-7-359-2018>
- Schwab, K. (2017). La cuarta revolución industrial. Printing Books S. A.
- Shea, C. M., Grinde, R., & Elmslie, B. (2011). Nanotechnology as general-purpose technology: Empirical evidence and implications. Technology Analysis & Strategic Management, 23(2), 175-192. <https://doi.org/10.1080/09537325.2011.543336>
- Statista. (2024). Tamaño del mercado de la inteligencia artificial a nivel mundial de 2020 a 2030. <https://n9.cl/a19xf>
- United Nations Conference on Trade and Development (UNCTAD). (2021). Technology and innovation report. United Nations. <https://n9.cl/kfcf6k>

- Villa Vázquez, L. (2022). Educación de las nanotecnologías en México y las implicaciones sociales, riesgos y medio ambiente. *TECHNO REVIEW. International Technology, Science and Society Review/Revista Internacional de Tecnología, Ciencia y Sociedad*, 11(3), 1-12. <https://doi.org/10.37467/revtechno.v11.3812>
- Wu, C. J., Raghavendra, R., Gupta, U., Acun, B., Ardalani, N., Maeng, K., & Hazelwood, K. (2022). Sustainable AI: Environmental implications, challenges and opportunities. *Proceedings of Machine Learning and Systems*, 4, 795-813. <https://arxiv.org/abs/2111.00364>
- Zayago Lau, E. (2024). Nanotechnology and AI as a challenge for development in semi-peripheral and peripheral countries. En M. Erdoğan, E. Alaverdov, A. García, Ö. B. Gürsoy, & N. Çankır, (eds.). *Inflation, Inequality, Nanotechnology, and Development* (pp. 119-143). IJOPEC Publication Limited.

Artificial Intelligence and Nanotechnologies in the Context of Digital Transformation and Development

Inteligência Artificial e Nanotecnologias no Contexto da Transformação Digital e do Desenvolvimento

Betiana Elizabeth Vargas

Universidad Autónoma de Zacatecas | Zacatecas | México

<https://orcid.org/0000-0002-1727-0483>

betiana.vargas@uaz.edu.mx

betianaevargas@gmail.com

Doctoranda en Estudios del Desarrollo de la Universidad Autónoma de Zacatecas (UAZ). Becaria SECIHTI, México. Mg. en Ciencias Sociales. Esp. en Educación y Nuevas Tecnologías. Lic. en Psicopedagogía.

Abstract

This study examines the impact of the convergence between nanotechnologies and artificial intelligence (AI) on global digital transformation, with special emphasis on its social and economic implications. Through a comprehensive literature review, the analysis explores the emerging applications of these disruptive technologies, their effects on the global economy, and their relationship with political economy. The analysis identifies how, despite offering development opportunities, the integration of AI and nanotechnologies tends to deepen inequalities between the Global North and the Global South. The findings suggest that while these technologies can foster development, they also reinforce structures of technological dependence and perpetuate various forms of colonialism. Furthermore, the study underscores the importance of the State in promoting specific public policies, regulatory frameworks, and innovation systems tailored to local conditions to address the particular challenges and problems of peripheral countries. In this context, the role of Universities as bridges between the State and social organizations is highlighted, as well as the need for a political strategy focused on social and environmental justice. This approach would enable emerging economies to harness the opportunities without becoming trapped in dynamics of structural dependency.

Keywords: Artificial Intelligence (AI); Nanotechnologies; Digital Transformation; Development.

Resumo

O presente estudo examina o impacto da convergência entre as nanotecnologias e a inteligência artificial (IA) na transformação digital global, com especial ênfase em suas implicações sociais e econômicas. Por meio de uma revisão bibliográfica abrangente, analisam-se as aplicações emergentes dessas tecnologias disruptivas, seus efeitos na economia global e sua relação com a economia política. A análise detecta como, apesar de oferecer oportunidades de desenvolvimento, a integração da IA e das nanotecnologias tende a aprofundar as desigualdades entre o Norte e o Sul Global. Os achados sugerem que, embora essas tecnologias possam fomentar o desenvolvimento, elas também reforçam estruturas de dependência tecnológica e perpetuam diversas formas de colonialismo. Da mesma forma, sublinha-se a importância de o Estado impulsionar políticas públicas específicas, marcos regulatórios e sistemas de inovação adaptados às condições locais para abordar os desafios e problemas particulares dos países periféricos.

Nesse contexto, ressalta-se o papel das Universidades como pontes entre o Estado e as organizações sociais, e a necessidade de uma estratégia política centrada na justiça social e ambiental que permita às economias emergentes aproveitar as oportunidades sem ficarem presas em dinâmicas de dependência estrutural. Palavras-chave: Inteligência Artificial (IA); Nanotecnologias; Transformação Digital; Desenvolvimento.

Capítulo 4

Análisis de tendencias en el mercado bursátil utilizando el proceso estocástico de Wiener y simulaciones de Monte Carlo

Akidel Novella Guerrero, Marlen Hernández Ortiz, Héctor Antonio Durán Muñoz

Resumen

El trabajo analiza la dinámica de precios de acciones y su aplicación en contratos forwards utilizando el Proceso Estocástico de Wiener y simulaciones Monte Carlo. Se estudian seis empresas del S&P 500 Apple, Meta, Visa, Coca-Cola, Starbucks y Nike por su representatividad sectorial, alta capitalización bursátil y disponibilidad de datos confiables. Estas compañías abarcan sectores clave como tecnología, consumo y servicios financieros, lo que permite analizar la variabilidad de precios en distintos contextos de mercado. El periodo 2019–2024 fue elegido por incluir eventos relevantes como la pandemia, la recuperación económica y cambios en tasas de interés, brindando un marco adecuado para evaluar el comportamiento estocástico de los precios y la utilidad de las simulaciones en escenarios de alta incertidumbre.

Palabras clave:
Estocástico;
Estadística;
Modelo Matemático;
Extrapolación;
Simulación.

Guerrero, A. N., Hernández Ortiz, M., & Durán Muñoz, H. A. (2026). Análisis de tendencias en el mercado bursátil utilizando el proceso estocástico de Wiener y simulaciones de Monte Carlo. En J. Martínez Pérez, M. Hernández Ortiz, & I. Ortiz Medina, (Coords). *Desafíos contemporáneos. Un análisis multiescalar de la tecnología, la sociedad y el territorio*. (pp. 115-142). Religación Press. <http://doi.org/10.46652/religacionpress.363.c786>



Introducción

En el mundo de las finanzas, la predicción de precios de activos es una tarea crucial tanto para individuos como para instituciones financieras. En este trabajo, se han utilizado dos herramientas matemáticas avanzadas, el proceso estocástico de Wiener y la simulación de Monte Carlo, para realizar predicciones de precios de acciones del índice S&P 500 y así crear contratos de equity forwards para seis de sus acciones (Christoffersen & Mazzotta, 2023). El valor agregado de este estudio radica en la conjunción sistemática del proceso de Wiener y Monte Carlo para calibrar forwards sobre acciones de alta liquidez, algo no explorado en trabajos previos que se han centrado en mercados menos líquidos o instrumentos estandarizados.

Estas técnicas son fundamentales para modelar la incertidumbre y la volatilidad inherente a los mercados financieros (Fernández et al., 1997). El proceso estocástico de Wiener permite capturar los movimientos aleatorios en los precios de las acciones, mientras que la simulación de Monte Carlo se emplea para generar una amplia gama de posibles escenarios futuros. Al combinar estas herramientas, es posible obtener estimaciones precisas de los precios de las acciones bajo diferentes condiciones de mercado, facilitando así la toma de decisiones más informada (Hernández Vargas, 2023). Esta aproximación metodológica aporta pertinencia al análisis, permite cuantificar la exposición al riesgo en escenarios extremos, algo crucial en entornos de elevada volatilidad como los vividos tras la pandemia del COVID-19.

En este análisis, se aplicaron estas metodologías a seis empresas del S&P 500 —Apple, Meta, Visa, CocaCola, Starbucks y Nike— por su representatividad sectorial, alta capitalización bursátil y disponibilidad de datos confiables. Estas compañías abarcan sectores clave como tecnología, consumo y servicios financieros, lo que permite estudiar la variabilidad de precios en distintos contextos

de mercado (Damghani & Kos, 2020). El periodo 2019–2024 fue elegido por incluir eventos relevantes como la pandemia de COVID19, la recuperación económica y cambios en tasas de interés, brindando un marco adecuado para evaluar el comportamiento estocástico de los precios y la utilidad de las simulaciones en escenarios de alta incertidumbre.

Por tanto, este trabajo no solo extiende la literatura sobre valoración de forwards con simulaciones estocásticas, sino que ofrece a inversores y gestores una herramienta práctica para diseñar estrategias de cobertura y especulación basadas en datos cuantitativos robustos, reforzando su toma de decisiones en mercados complejos.

Empresas analizadas

A continuación, se describe la importancia de cada una de las empresas consideradas en este estudio de tendencias de inversión en el mercado bursátil mediante su respectivo modelo de negocio (Damghani & Kos, 2020).

- Apple Inc. es una empresa tecnológica multinacional fundada en 1976 y con sede en Cupertino, California. Se dedica al diseño, fabricación y venta de dispositivos electrónicos, software y servicios digitales. Entre sus productos más icónicos se encuentran el iPhone, iPad, MacBook y Apple Watch, los cuales han transformado la industria de la tecnología y han establecido a Apple como un líder en innovación. El modelo de negocio de Apple es una combinación de ventas de hardware, software y servicios. La compañía se enfoca en crear una experiencia de usuario integrada y coherente, lo que significa que el hardware y el software están diseñados para trabajar en conjunto. Además de los ingresos por venta de dispositivos, Apple genera ingresos significativos a través de su ecosistema de servicios, como iCloud, Apple Music, Apple TV+, y el App Store. Estos

servicios no solo proporcionan un flujo constante de ingresos por suscripción, sino que también fomentan la lealtad del cliente al integrar todos los aspectos de su vida digital en una única plataforma. Apple se destaca por sus elevados márgenes de beneficio, impulsados en gran parte por su estrategia de diferenciación.

- Meta Platforms, Inc., anteriormente conocida como Facebook, Inc., es una empresa de tecnología y redes sociales fundada en 2004 y con sede en Menlo Park, California. Meta opera algunas de las redes sociales más populares del mundo, incluyendo Facebook, Instagram y WhatsApp. En 2021, la empresa cambió su nombre a Meta para reflejar su enfoque en el metaverso, una visión de un entorno de realidad virtual y aumentada donde las personas pueden interactuar digitalmente. El modelo de negocio de Meta se basa fundamentalmente en la publicidad digital. La empresa ofrece a los anunciantes la posibilidad de dirigirse a usuarios altamente segmentados mediante el análisis de datos demográficos, intereses y comportamientos en línea. Meta utiliza sofisticados algoritmos de inteligencia artificial para personalizar la experiencia publicitaria, permitiendo a las empresas llegar a audiencias específicas con anuncios relevantes. Aunque su principal fuente de ingresos es la publicidad, Meta también ha comenzado a explorar nuevas oportunidades de negocio en el ámbito de la realidad virtual y aumentada con productos como Oculus y Horizon Worlds, con la intención de crear un ecosistema digital inmersivo.
- Visa Inc. es una empresa líder en servicios financieros que facilita pagos electrónicos mediante su red global de pagos, conectando a bancos, comercios y consumidores. Fundada en 1958 y con sede en Foster City, California, Visa no emite tarjetas de crédito o débito directamente a los consumidores, sino que ofrece servicios de procesamiento

de pagos a instituciones financieras. El modelo de negocio de Visa se basa en los ingresos generados por las tarifas que cobra por procesar transacciones. Estas tarifas pueden dividirse en dos categorías principales: tasas de intercambio, que los comercios pagan a los bancos emisores, y tasas de procesamiento, que Visa cobra por autorizar y liquidar las transacciones. La compañía se beneficia de cada transacción realizada a través de su red, lo que significa que sus ingresos están directamente relacionados con el volumen de pagos electrónicos. Además, esta invierte significativamente en la mejora de su infraestructura tecnológica y en la seguridad de sus transacciones, lo que refuerza su posición como líder en pagos seguros y rápidos a nivel global.

- Coca-Cola es una de las empresas de bebidas más grandes y reconocidas a nivel mundial. Fundada en 1886 y con sede en Atlanta, Georgia, Coca-Cola produce y comercializa una amplia gama de bebidas, incluyendo refrescos, jugos, aguas embotelladas, bebidas energéticas y té. Su producto principal, Coca-Cola, es una de las marcas más valiosas del mundo y se ha convertido en un símbolo de la cultura popular global. El modelo de negocio de Coca-Cola se basa en una red global de embotelladoras y en un sistema de franquicias que le permite distribuir sus productos en más de 200 países. La compañía fabrica concentrados y jarabes, que vende a sus embotelladoras franquiciadas, quienes a su vez producen y distribuyen las bebidas bajo la marca Coca-Cola. Este enfoque de negocio permite a Coca-Cola mantener altos márgenes de beneficio al tiempo que reduce los costos y riesgos asociados con la producción y distribución directa. Además, Coca-Cola realiza importantes inversiones en marketing para fortalecer la lealtad del consumidor y ampliar su presencia de marca en todo el mundo.

- Starbucks Corporation es una cadena de cafeterías multinacional fundada en 1971 y con sede en Seattle, Washington. La compañía se especializa en la venta de café, bebidas artesanales y productos alimenticios, y es reconocida por su ambiente acogedor y su enfoque en la experiencia del cliente. Starbucks ha redefinido el concepto de cafetería, convirtiéndolo en un espacio de encuentro y trabajo para millones de personas alrededor del mundo. El modelo de negocio de Starbucks se basa en una combinación de tiendas operadas por la empresa y franquicias. La compañía se diferencia al ofrecer productos de alta calidad y al crear un ambiente que invita a los clientes a quedarse y disfrutar de su tiempo en el lugar. Starbucks también cuenta con un sólido programa de fidelización que permite a los clientes acumular puntos y recibir beneficios, lo que contribuye a la repetición de visitas. Además, Starbucks se ha expandido a la venta de productos en supermercados y en su tienda en línea, diversificando así sus fuentes de ingresos y fortaleciendo su presencia en el mercado global.
- Nike, Inc. es una empresa multinacional dedicada al diseño, fabricación y comercialización de ropa, calzado y equipamiento deportivo. Fundada en 1964 y con sede en Beaverton, Oregó. Nike es una de las marcas más reconocidas en la industria deportiva. Sus productos están orientados a una amplia gama de deportes y actividades físicas, y se dirigen tanto a atletas profesionales como a consumidores comunes. El modelo de negocio de Nike se centra en la innovación en diseño y tecnología, así como en una poderosa estrategia de marketing que incluye el patrocinio de deportistas y equipos de renombre. Además de sus ventas al por mayor a través de minoristas, Nike también se enfoca en ventas directas al consumidor mediante sus tiendas propias y su plataforma en línea. La compañía ha adoptado una estrategia de digitalización, con aplicaciones

que proporcionan experiencias personalizadas, fortaleciendo la relación con sus clientes y fomentando la lealtad a la marca. Nike ha establecido un modelo de negocio robusto que combina la producción de alta calidad con una marca fuerte y altamente reconocida en todo el mundo.

Por lo tanto, las empresas seleccionadas son diversas en su área de servicio y su similitud se caracteriza por la popularidad que presentan en el mercado internacional.

Modelos estocásticos y matemáticos

En este apartado se presentan los métodos utilizados en el estudio. La extracción de los precios de la acción en el mercado de cada una de las empresas es realizada del 30 de septiembre de 2019 al 30 de septiembre del 2024, periodo de tiempo reciente considerando los últimos 5 años al momento de recopilar la información. Las técnicas utilizadas en este trabajo se realizaron con el software R-Studio Versión 4.4.1 con el apoyo de R Core Team (2023).

Proceso Wiener

Un proceso estocástico o función aleatoria describe la evolución temporal de una variable aleatoria. En este trabajo se presentará, de forma intuitiva, uno de los procesos estocásticos más importantes en estadística, y que se denomina el Movimiento Browniano o proceso estocástico de Wiener estándar y que desempeña un papel muy importante en la modelización de la dinámica de activos subyacente en finanzas fue escogido por su simplicidad y precisión en las estimaciones de fenómenos aleatorios. El Movimiento Browniano es un proceso estocástico (o función aleatoria) que toma valores continuos y depende de una variable independiente, que por conveniencia denota el tiempo, el cual también se considera como variable continua. El Movimiento Browniano ha resultado adecuado

para describir el comportamiento de variables económico-financieras (Vives Santa-Eulàlia, 1993).

El Movimiento Browniano en Finanzas se representa con un modelo Lognormal, formulado mediante una ecuación diferencial denominada estocástica de tipo Itô para describir la dinámica de un subyacente (ver ecuación 1).

$$\frac{ds}{s} = \mu \cdot \Delta t + \sigma \cdot \epsilon_t \cdot (\Delta t)^{\frac{1}{2}}$$

Ecuación 1

Donde:

- ds/s : variación del subyacente
- μ : media de los rendimientos históricos
- σ : volatilidad de los rendimientos históricos
- Δ_t : variación del tiempo
- ϵ_t : ruido blanco (comportamiento normal)

La solución de la Ecuación 1, se presenta en la Ecuación 2 la cual se aplica para realizar el proceso Wiener para predecir el precio de las acciones al tiempo t partiendo del tiempo anterior ($t-1$).

$$S_t = S_{t-1} + S_{t-1}(\mu \cdot \Delta t + \sigma \cdot \epsilon_t \cdot (\Delta t)^{\frac{1}{2}})$$

Ecuación 2

Simulación Monte Carlo

Para complementar los resultados que se presentan a partir de las distintas trayectorias que puede tomar el precio de una acción mediante el Proceso Weiner, se realizaron 10,000 simulaciones del

Proceso Weiner de cada una de las seleccionadas, mediante el uso de la simulación Monte Carlo. Este método consiste en realizar múltiples simulaciones aleatorias que generan diferentes posibles caminos que los precios de los activos podrían seguir en el futuro, basándose en su comportamiento histórico y en la volatilidad observada en los mercados (Buraschi & Whelan, 2021).

Estos precios simulados serán comparados con un precio teórico forward, calculado utilizando fórmulas financieras estándar que consideran el costo de oportunidad de mantener una posición en el activo a lo largo del tiempo.

Contratos Forwards

Los acuerdos de un precio de acción deben derivarse de la cotización a partir del uso de uno o más modelos. Una opción más para determinar el precio de las acciones correspondientes a las empresas mencionadas es el precio forward o tasa forward. Que se conceptualiza como el precio acordado entre dos partes para una transacción futura (Merino, 2021).

Se calcula en función del precio actual del activo subyacente, el tiempo hasta la fecha de vencimiento y las tasas de interés (ver ecuación 3).

$$F(t, T) = S_t e^{r(T-t)}$$

Ecuación 3

Donde:

- S_t es el activo con valor actual t .
- T tiempo de vencimiento.
- r es la tasa libre de riesgo.

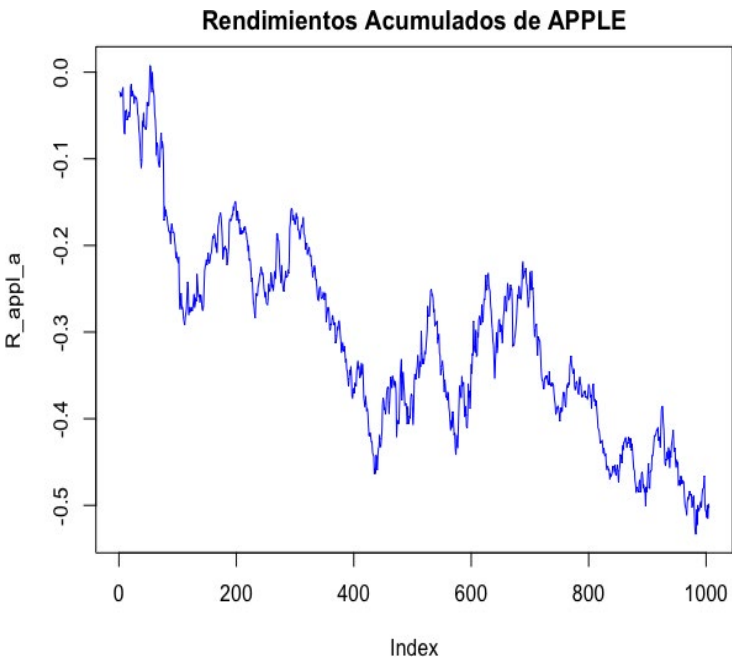
Resultados y discusiones

Precios obtenidos mediante el proceso Wiener

El análisis del comportamiento de los precios que presentan las acciones en las fechas mencionadas (30/09/19 - 30/09/24), se muestra a continuación para cada una de las empresas ya descritas, mediante los resultados obtenidos con el proceso Wiener.

La figura 1 presenta el gráfico que relaciona el rendimiento acumulado de APPLE con el índice temporal. Se observa que a lo largo de los 5 años estudiados hay una tendencia a decaer el rendimiento. Sin embargo, a continuación, se analiza el comportamiento de los precios usando la Ecuación 2.

Figura 1. Rendimientos acumulados de APPLE respecto al índice temporal obtenida de R-Studio.



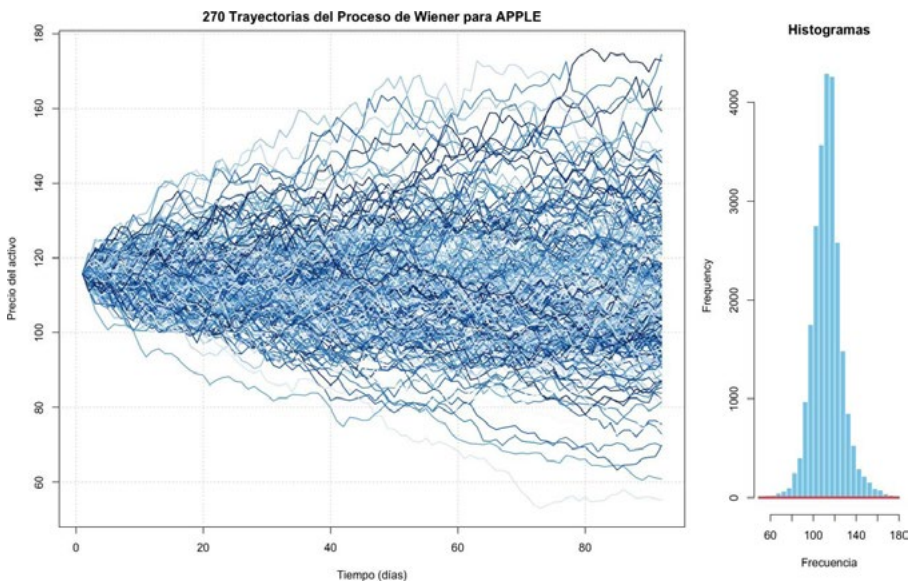
Fuente:

Para el primer valor de precio del día siguiente (t) de la acción se obtiene como:

$$S_t = 115.81 + 115.81 (0.0005447516 \cdot 1 + 0.01735643 \epsilon_t (1)^{\frac{1}{2}})$$

por lo tanto, se puede realizar esta iteración para los demás días, 270 veces, con lo que se obtienen las trayectorias del comportamiento de los precios del activo respecto al tiempo (ver figura 2). La media del precio correspondiente a los activos de APPLE es de 111.17 con desviación estándar de 18.79.

Figura 2. Precios del activo respecto al tiempo correspondiente a APPLE (270 trayectorias). Y su respectivo histograma (derecha).



Fuente:

La extracción de los precios de la acción en el mercado de META, en el periodo establecido se muestra en el gráfico de la figura 3.

Figura 3. Rendimientos acumulados versus índice temporal de META.

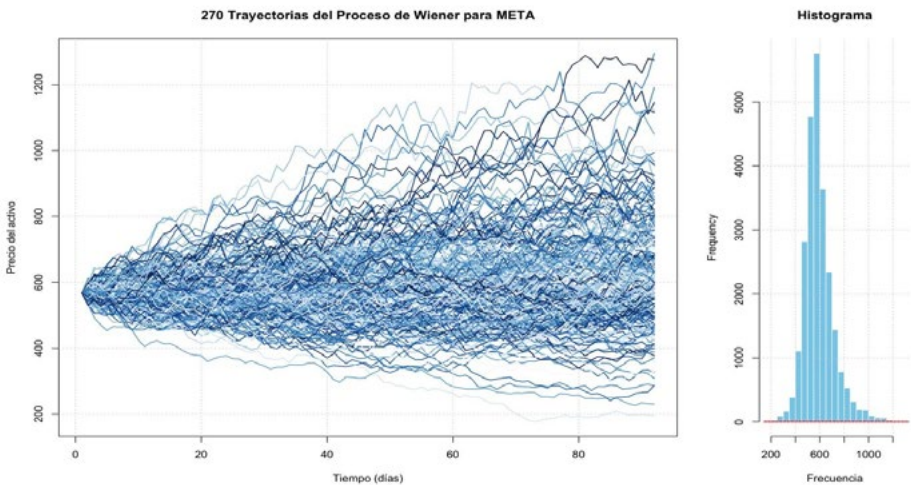


Fuente:

De tal manera, que el precio de la acción del primer valor día siguiente se presenta en a continuación de tal manera que se aplican 270 iteraciones del modelo y se obtiene una media en precio de 625.99 ± 174.91 (ver figura 4).

$$S_t = 567.36 + 567.36 (0.0009211138 \cdot 1 + 0.02850864 \epsilon_t (1)^{\frac{1}{2}})$$

Figura 4. Proceso de Wiener aplicado 270 veces para META. Precio del activo respecto al tiempo (izquierda) y su histograma (derecha).



Fuente:

En la figura 5 se presenta el comportamiento de los precios acumulados en el mercado de VISA conforme avanza el tiempo.

Figura 5. Rendimientos acumulados de VISA respecto al periodo de tiempo establecido.

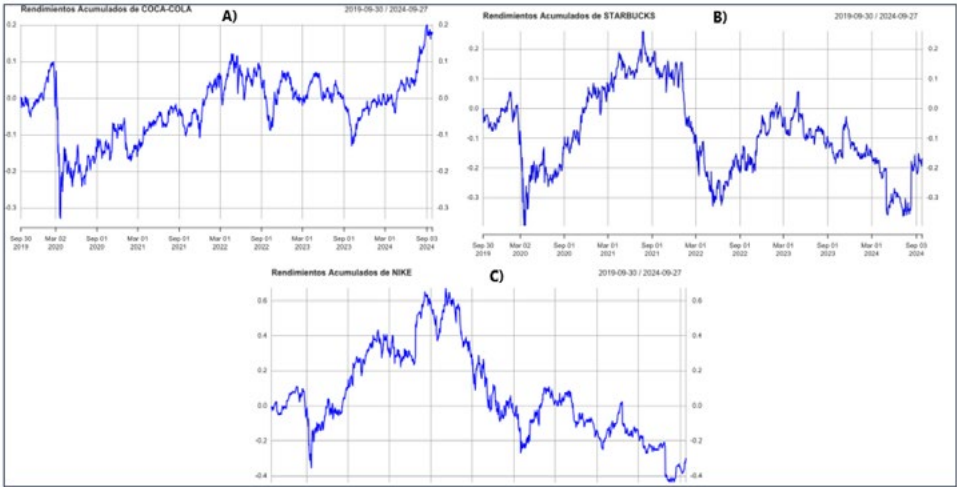


Fuente:

Para el primer valor de precio del día siguiente se aplica la Ecuación 2 y de la misma manera, se vuelve a realizar el proceso 270 veces, obteniendo un precio medio de 283.74 con desviación estándar de 47.54.

Procedimiento similar se realiza para obtener los precios de los activos de Coca-Cola, Starbucks y Nike. Cuyos precios promedio de las acciones son: 73.28 ± 8.49 , 98.02 ± 18.27 y 89.09 ± 17.19 . El comportamiento de los rendimientos acumulados de estas 3 empresas se muestra en la figura 6.

Figura 6. Rendimientos acumulados de Coca-Cola, Starbucks y Nike.



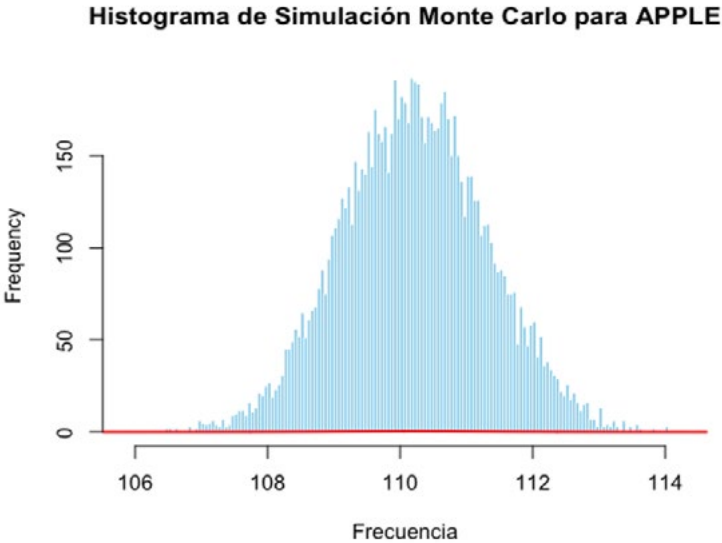
Fuente:

Precios por simulación Monte Carlo

Dado que las distintas trayectorias que puede tomar el precio de una acción, presentadas en la sección anterior, no son suficientes para estimar el comportamiento de precio al periodo que se necesita, se realizaron 10,000 simulaciones del Proceso Weiner de cada una de las seleccionadas, esto con el afán de mejorar el pronóstico de precio forward.

En la figura 7 se puede observar la distribución de los precios predichos para la acción de Apple. Los intervalos de confianza correspondientes a los percentiles 5 y 95 reflejan la variabilidad esperada en los precios, mientras que los valores de Var_20 y Var_80 proporcionan una estimación del rango intercuartil más conservador (ver Tabla 1). Esto permite visualizar el comportamiento del modelo bajo distintos escenarios. A su vez, se presenta como precio teórico de la acción un valor de 110.2907, considerando su desviación estándar de 18.36 este precio medio coincide con el obtenido mediante el proceso Wiener.

Figura 7. Simulación de precios predichos para la acción APPLE.



Fuente:

Tabla 1. Resultados de la Simulación Monte Carlo para Apple.

Media	Sigma	Var_20	Var_80	Var_05	Var_95
110.2107	18.35934	94.64617	124.8903	83.02116	142.3393

Fuente:

En la Tabla 2 se muestran los intervalos de confianza correspondientes a la variabilidad esperada en los precios (Var_05 y Var_95), y proporcionan una estimación del rango intercuartil más conservador (Var_20y Var_80). Sin embargo, el valor al que se le da más realce para la toma de decisiones es el de la media, el cual nos dice que el precio representativo de la acción META tiene un valor de 616.9238 ± 170.48 ; coincidente con el obtenido anteriormente.

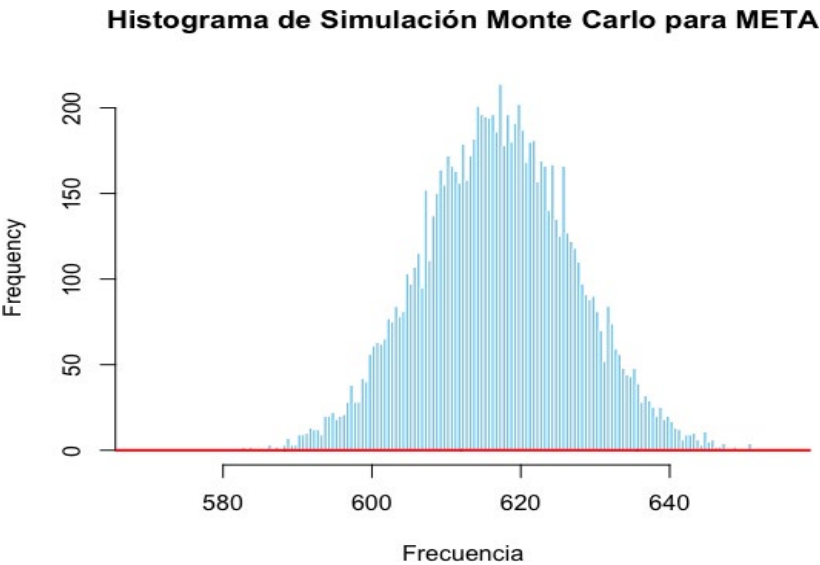
Tabla 2. Resultados de la Simulación Monte Carlo para META.

Media	Sigma	Var_20	Var_80	Var_05	Var_95
616.9238	170.4783	473.6985	746.7051	382.1068	925.6767

Fuente:

En la figura 8 se puede observar la distribución de los precios predichos para la acción de META. Mediante el método gráfico se puede observar una simetría en la parábola.

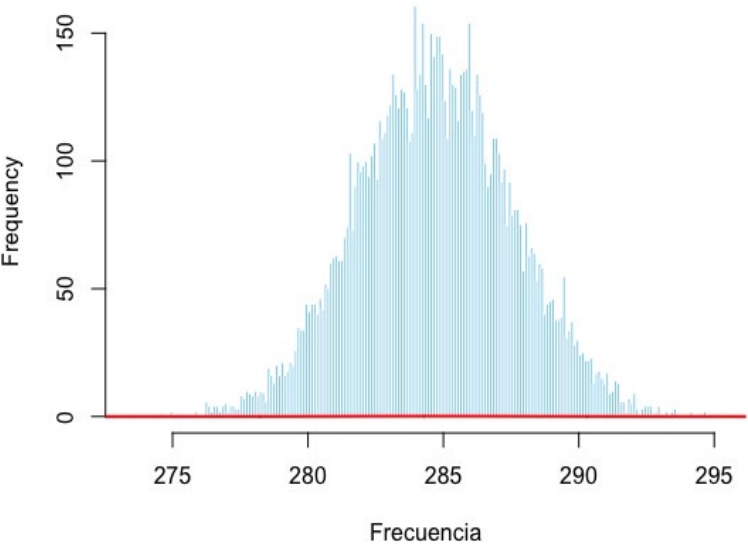
Figura 8. Distribución de los precios predichos para META con simulación Monte Carlo.



Fuente:

La distribución de los precios predichos para la acción de VISA se muestra en el histograma de simulación Monte Carlo de la figura 9. Con cálculos complementarios se confirma que el precio teórico de la acción da un valor de 284.69 con desviación estándar 47.87, resultado estadísticamente igual que el precio de esta acción calculado con el Proceso Wiener.

Figura 9. Distribución de la Simulación Monte Carlo para VISA.
Histograma de Simulación Monte Carlo para VISA



Fuente:

La Tabla 3 se pueden observar los intervalos de confianza correspondientes a los percentiles 05 y 95 de los precios predichos para la acción de Coca-Cola, Starbucks y Nike. Los cuales reflejan la variabilidad esperada en los precios, mientras que los valores de Var_20 y Var_80 proporcionan una estimación del rango intercuartil más conservador. Esto permite visualizar el comportamiento del modelo bajo distintos escenarios. Sin embargo, el precio promedio de las tres empresas es que el que se considera más representativo. Por lo tanto, la media de los precios de cada acción, respectivamente, son 73.24 ± 9.21 ,

98.04 ± 19.96 y 89.13 ± 18.78 . Estos precios estadísticos son iguales a los obtenidos anteriormente.

Tabla 3. Resultados de la Simulación Monte Carlo para Coca-Cola, Starbucks y Nike.

Media	Sigma	Var_20	Var_80	Var_05	Var_95
73.24259	9.214996	65.42992	80.71807	59.2507	89.12349
98.04416	19.95639	81.15312	113.7652	69.17508	133.4082
89.12761	18.78291	73.2375	103.8787	62.08235	122.4885

Fuente:

Hasta el momento no hay una diferencia estadística fundamental en los precios promedio, calculados con ambos métodos: Proceso Wiener y Simulación Monte Carlo. Esto indica que el precio considerado como representativo es más confiable para la toma de decisiones. Pero, esto no termina aquí, es importante determinar los precios forwards.

Colocación de Precios Forwards

En la figura 10 se muestran los valores de los precios y límites de confianza para los precios forward de APPLE. Dado que el precio teórico forward 110.21 es inferior al precio actual del activo 115.81, se recomienda asegurar un mejor precio hoy para una compra futura. Esto puede ser ventajoso si se espera a que los precios caigan, permitiendo al inversionista beneficiarse de un precio más bajo en el futuro.

Figura 10. Valores de precios y límites de confianza para los precios forward correspondientes a APPLE.

Fecha	Precio	Lim Inf 20%	Lim Sup 80%	Lim Inf 5%	Lim Sup 95%
30/09/2024	115.8100				
30/12/2024	110.2107	473.70	746.71	382.11	925.68

Parámetro	Valor
Precio inicial (S_0)	115.81
Títulos	1,000.00
Modelo de Interés	Continuo
TASA R diaria	-0.0005448
Tasa de plusvalía	-13.73 %
Tiempo (días)	91
Precio Teórico Forward	110.21
Monto del Contrato (Forward)	110,209.00
Precio Wiener	110.2107
Monto del Contrato (Wiener)	110,210.70

Fuente:

Dado que el precio teórico forward (\$616.97) de la acción META es ligeramente superior al precio inicial (\$567.36), la compra de contratos forward podría ser beneficiosa (ver figura 11). Esto permite fijar el precio de compra a futuro, protegiéndose contra aumentos de precios que podrían ocurrir antes de que se efectúe la transacción. Además, el monto del contrato forward (\$616,966.90) sugiere una inversión significativa, lo que puede resultar en un impacto positivo en la rentabilidad si el precio del activo sigue la tendencia alcista proyectada.

Figura 11. Valores de precios y límites de confianza para los precios forward de META.

Fecha	Precio	Lim Inf 20%	Lim Sup 80%	Lim Inf 5%	Lim Sup 95%
30/09/2024	567.36				
30/12/2024	616.92	473.6985	746.7051	382.1068	925.6767

Parámetro	Valor
Precio inicial (S_0)	567.36
Títulos	1,000.00
Modelo de Interés	Continuo
$TASA R_{diaria}$	0.000921114
Tasa de plusvalía	23.21 %
Tiempo (días)	91
Precio Teórico Forward	616.97
Monto del Contrato (Forward)	616,966.90
Precio Wiener	616.92
Monto del Contrato (Wiener)	616,923.80

Fuente:

Para el caso VISA, el precio teórico forward (\$284.68) es ligeramente superior al precio inicial (\$275.17). Esta situación sugiere que los contratos forward podrían ser una buena opción, ya que permiten fijar el precio de compra a futuro, protegiéndose de aumentos en el precio del activo. Con un monto del contrato forward de \$284,682.83, esta estrategia puede resultar ventajosa si se espera que el activo aumente su valor. Esta recomendación es más clara en la figura 12.

Figura 12. Valores de precios y límites de confianza para los precios forward de la acción VISA.

Fecha	Precio	Lim Inf 20%	Lim Sup 80%	Lim Inf 5%	Lim Sup 95%
30/09/2024	275.1700				
30/12/2024	284.69	244.1088	322.9415	213.8658	368.5064

Parámetro	Valor
Precio inicial (S_0)	275.1700
Títulos	1,000.00
Modelo de Interés	Continuo
TASA R_{diaria}	0.000373479
Tasa de plusvalía	9.41 %
Tiempo (días)	91
Precio Teórico Forward	284.68
Monto del Contrato (Forward)	284,682.83
Precio Wiener	284.69
Monto del Contrato (Wiener)	284,689.50

Fuente:

Dado que el precio forward (\$73.24) de la empresa Coca-Cola es superior al precio inicial (\$71.79), comprar un contrato forward podría ser adecuado. Esto permitiría asegurar un precio de compra para el futuro a un costo predecible, especialmente si se espera que el precio del activo aumente. Por otro lado, si ya se poseen títulos, se pueden usar contratos forward para protegerse contra caídas en el precio al fijar el precio de venta (ver figura 13).

Figura 13. Valores de precios y límites de confianza para los precios forward (Coca-Cola).

Fecha	Precio	Lim Inf 20%	Lim Sup 80%	Lim Inf 5%	Lim Sup 95%
30/09/2024	71.79				
30/12/2024	73.24	65.42992	80.71807	59.2507	98.12349

Parámetro	Valor
Precio inicial (S_0)	71.79
Títulos	1,000.00
Modelo de Interés	Continuo
TASA R_{diaria}	0.000219909
Tasa de plusvalía	5.54 %
Tiempo (días)	91
Precio Teórico Forward	73.2411151
Monto del Contrato (Forward)	73.24112
Precio Wiener	73.24
Monto del Contrato (Wiener)	73.24259

Fuente:

Compra de Contratos Forward de Starbucks, se observa en la figura 14 que el precio teórico forward \$98.04 es superior al precio inicial \$97.36, comprar un contrato forward podría ser una estrategia adecuada. Esto permitiría asegurar un precio de compra en el futuro, protegiéndose contra posibles aumentos en el precio del activo. Si ya se poseen títulos, considerar el uso de contratos forward para proteger las inversiones que se tienen puede ser prudente. Esto permite fijar un precio de venta en caso de que el mercado se vuelva desfavorable.

Figura 14. Valores de precios y límites de confianza para los precios forward de la acción Starbucks.

Fecha	Precio	Lim Inf 20%	Lim Sup 80%	Lim Inf 5%	Lim Sup 95%
30/09/2024	97.36				
30/12/2024	98.04	81.15312	113.7652	69.17508	133.4082

Parámetro	Valor
Precio inicial (S_0)	97.36
Títulos	1,000.00
Modelo de Interés	Continuo
TASA R_{diaria}	0.000076563
Tasa de plusvalía	1.93%
Tiempo (días)	91
Precio Teórico Forward	98.04070566
Monto del Contrato (Forward)	98,040.71
Precio Wiener	98.04
Monto del Contrato (Wiener)	98.04416

Fuente:

En la figura 15 el precio inicial \$89.44 es superior al precio forward \$89.13 y Wiener \$89.09, se podría considerar vender cualquier posición que se tenga en este activo. Esto permitirá evitar pérdidas adicionales, especialmente si se anticipa que el precio seguirá cayendo. Así mismo no se recomienda adquirir nuevos contratos forward o títulos de este activo en este momento, ya que las expectativas de devaluación son negativas.

Figura 15. Valores de precios y límites de confianza para los precios forward de la empresa Nike.

Fecha	Precio	Lim Inf 20%	Lim Sup 80%	Lim Inf 5%	Lim Sup 95%
30/09/2024	89.440				
30/12/2024	89.13	73.2375	103.8787	62.08235	122.4885

Parámetro	Valor
Precio inicial (S_0)	89.44
Títulos	1,000.00
Modelo de Interés	Continuo
TASA R_{diaria}	-0.00003885
Tasa de plusvalía	-0.98%
Tiempo (días)	91
Precio Teórico Forward	89.12
Monto del Contrato (Forward)	89.12434
Precio Wiener	89.13
Monto del Contrato (Wiener)	89.12761

Fuente:

Conclusiones

Este trabajo ha demostrado que la integración del proceso estocástico de Wiener con simulaciones de Monte Carlo constituye un enfoque robusto para la valoración de contratos forward sobre acciones de alta liquidez del S&P 500. Al comparar sistemáticamente los precios forwards teóricos con las distribuciones generadas por más de 200 trayectorias simuladas, se ha puesto de manifiesto la capacidad de este método para capturar la variabilidad intrínseca de los precios y ofrecer estimaciones fundamentadas en escenarios de mercado realistas.

Los resultados obtenidos permiten identificar, para cada una de las seis empresas estudiadas, los puntos de inflexión en los que conviene adoptar una estrategia de compra, venta o mantenimiento del activo. Estas discrepancias entre las cotas simuladas y el precio forward teórico ofrecen a los gestores de portafolio señales

cuantitativas precisas para diseñar coberturas adaptativas y optimizar el rendimiento frente a distintos regímenes de volatilidad.

No obstante, el modelo presenta limitaciones derivadas de suposiciones como la continuidad del movimiento browniano y la omisión de eventos extremos —crisis sistémicas, choques geopolíticos o saltos de volatilidad súbitos— que pueden alterar drásticamente la dinámica de precios. Además, la dependencia de parámetros históricos para calibrar volatilidades y tasas libres de riesgo puede reducir la capacidad predictiva en periodos de tensión financiera no contemplados en el horizonte de datos.

Por ello, se recomienda complementar esta metodología cuantitativa con un seguimiento constante del análisis fundamental de las empresas, así como la incorporación de indicadores macroeconómicos y de sentimiento de mercado en tiempo real. La combinación de simulaciones estocásticas con enfoques híbridos —por ejemplo, modelos de salto-difusión o redes neuronales para detección de regime changes— podría mejorar la adaptabilidad del modelo a entornos altamente inciertos.

Finalmente, el marco desarrollado sienta las bases para futuras investigaciones que exploren correlaciones intersectoriales, efectos de liquidez y mecanismos de retroalimentación entre variables de mercado. Al dotar a inversores e instituciones de herramientas más precisas para gestionar riesgos y tomar decisiones proactivas, este enfoque contribuye a un uso más eficiente del capital y a la construcción de carteras resilientes frente a la complejidad y la volatilidad del mercado de acciones.

Referencias

- Buraschi, A., & Whelan, P. (2021). Dynamic risk management for equity portfolios: A Monte Carlo approach. *Journal of Financial Markets*, 54. <https://doi.org/10.1016/j.finmar.2021.100678>
- Christoffersen, P., & Mazzotta, S. (2023). The impact of risk-free rate uncertainty on derivative pricing. *Journal of Derivatives*, 30(4), 45-61. <https://doi.org/10.3905/jod.2023.1.045>
- Damghani, B. M., & Kos, A. (2020). Forward pricing in equity markets: A stochastic volatility framework. *Quantitative Finance*, 20(9), 1421-1440. <https://doi.org/10.1080/14697688.2020.1750672>
- Fernández, P. L., Ramos, J. A. S., & García, A. H. D. C. (1997). Cálculo estocástico y finanzas: Modelos de dinámica estocástica de tipos de interés. *Boletín de Estudios Económicos*, 52(1), 77.
- Glasserman, P. (2023). *Monte Carlo methods in financial engineering*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-1-0716-1454-5>
- Hernández Vargas, A. (2023). *Modelo estocástico de la evolución fenotípica: Un acercamiento desde la teoría de juegos y el cálculo estocástico* [Tesis de licenciatura, Universidad de los Andes].
- Hull, J. C. (2022). *Options, futures, and other derivatives*. Pearson. <https://doi.org/10.12987/9780300231349>
- Merino, R. (2021). La fórmula de descomposición para la valoración de opciones de compra bajo el modelo de Heston. *Revista Metropolitana de Matemáticas*, 12(1), 81-97. <https://doi.org/10.24275/uami/dcbi/mix/v12n1/rmerino>
- R Core Team. (2023). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing. <https://www.R-project.org>
- Vives Santa-Eulàlia, J. (1993). *Cálculo de variaciones estocásticas en los espacios de Wiener y de Poisson: Aplicación a la regularidad del supremo y del tiempo local* [Tesis doctoral, Universitat de Barcelona].

Trend Analysis in the Stock Market Using the Wiener Stochastic Process and Monte Carlo Simulations

Análise de Tendências no Mercado Acionário Utilizando o Processo Estocástico de Wiener e Simulações de Monte Carlo

Akidel Novella Guerrero

Universidad Autónoma de Zacatecas | Zacatecas | México

<https://orcid.org/0009-0009-0759-1820>

38197140@uaz.edu.mx

akdielng@gmail.com

Estudiante de la Licenciatura en Actuaría en la Universidad Autónoma de Zacatecas(UAZ). Cursos Python, Machine Learning, Power BI y Tecnologías Emergentes a través de Open Academic Santander. Un capítulo del libro relacionado con inversiones.

Marlen Hernández Ortiz

Universidad Autónoma de Zacatecas | Zacatecas | México

<https://orcid.org/0000-0003-2428-9016>

marlen.hernandez@uaz.edu.mx

marlen.hernandez@uaz.edu.mx

Licenciada en Matemáticas y Maestra en Ciencias Nucleares en la Universidad Autónoma de Zacatecas (UAZ); Doctora en Ciencia de los Materiales por la Universidad de Sonora. Es SNI 1 y Perfil PRODEP.

Héctor Antonio Durán Muñoz

Universidad Autónoma de Zacatecas | Zacatecas | México

<https://orcid.org/0000-0002-7190-3528>

hectorduranm@uaz.edu.mx

hectorduran3@gmail.com

Licenciado en Matemáticas y Maestro en Ciencias Nucleares en la Universidad Autónoma de Zacatecas (UAZ); Doctor en Ciencia de los Materiales por la Universidad de Sonora. Es SNI 1 y Perfil PRODEP.

Abstract

This study analyzes stock price dynamics and their application in forward contracts using the Wiener stochastic process and Monte Carlo simulations. Six S&P 500 companies Apple, Meta, Visa, Coca-Cola, Starbucks, and Nike were selected for their sectoral representativeness, high market capitalization, and availability of reliable data. These companies span key sectors such as technology, consumer goods, and financial services, allowing for the analysis of price variability across different market contexts. The 2019–2024 period was chosen as it includes significant events such as the COVID-19 pandemic, economic recovery, and interest rate shifts, providing a suitable framework to assess stochastic price behavior and the effectiveness of simulations under high uncertainty scenarios. Keywords: Stochastic; Statistics; Mathematical Model; Extrapolation; Simulation.

Resumo

Este trabalho analisa a dinâmica de preços de ações e sua aplicação em contratos a termo utilizando o Processo Estocástico de Wiener e simulações de Monte Carlo. Foram estudadas seis empresas do S&P 500—Apple, Meta, Visa, Coca-Cola, Starbucks e Nike—por sua representatividade setorial, alta capitalização de mercado e disponibilidade de dados confiáveis. Essas companhias abrangem setores-chave como tecnologia, consumo e serviços financeiros, o que permite analisar a variabilidade de preços em diferentes contextos de mercado. O período de 2019 a 2024 foi escolhido por incluir eventos relevantes como a pandemia, a

recuperação econômica e mudanças nas taxas de juros, fornecendo um quadro adequado para avaliar o comportamento estocástico dos preços e a utilidade das simulações em cenários de alta incerteza.

Palavras-chave: Estocástico; Estatística; Modelo Matemático; Extrapolação; Simulação.

Capítulo 5

Diseño generativo aplicado a la Arquitectura y su contribución a la sustentabilidad

Sara Cristina Solache de la Torre, Juan Carlos Arteaga Arcos, David Joaquín Delgado Hernández

Resumen

En la actualidad la construcción arquitectónica y civil es la actividad que genera más impacto ambiental pero también es necesaria para el desarrollo económico, por esta razón los sistemas constructivos y de diseño requieren modificaciones para aminorar el daño ambiental. El objetivo del escrito es la identificación de las principales ventajas que tiene al diseño sustentable la implementación de espacios arquitectónicos generativos. Mediante la utilización de la metodología histórica- comparativa se analizaron los sistemas constructivos que se han utilizado en la construcción y se compara con obras generativas desarrolladas en el mismo contexto. Los resultados que se obtuvieron son la identificación de las ventajas que tiene la utilización del diseño generativo en la arquitectura ya que permite la utilización de materiales innovadores y de menor impacto ambiental, se genera menor desperdicio, las obras se ejecutan a mayor velocidad y permite generar sistemas constructivos nuevos con el uso de la fabricación digital aditiva.

Palabras clave:
Diseño generativo;
sustentabilidad;
fabricación aditiva;
impresión 3D;
biomimética.

Solache de la Torre, S. C., Arteaga Arcos, J. C., & Delgado Hernández, D. J. (2026). Diseño generativo aplicado a la Arquitectura y su contribución a la sustentabilidad. En J. Martínez Pérez, M. Hernández Ortiz, & I. Ortiz Medina, (Coords). *Desafíos contemporáneos. Un análisis multiescalar de la tecnología, la sociedad y el territorio*. (pp. 144-166). Religación Press. <http://doi.org/10.46652/religacionpress.363.c787>



Introducción

A lo largo de la historia el diseño arquitectónico se ha desarrollado mediante procesos basados en la creatividad, lo que ha permitido la planificación de sistemas constructivos que combinan arte y ciencia para desarrollar soluciones funcionales, estéticas y sustentables que vayan en beneficio de la sociedad. Y esto se logra mediante los avances tecnológicos, que han permitido desarrollar herramientas capaces de automatizar procesos. Geoffrey Broadbent, director de la escuela de arquitectura de Portsmouth, menciona en su libro *Metodología del diseño arquitectónico* (1971), el proyecto de arquitectura difícilmente posee una secuencia única de tareas diferenciables y ordenadas, debido a que, entre el problema y la solución, normalmente, se mantiene una continuidad interactiva. El diseñador debe dejar de priorizar la forma como elemento principal del proceso de diseño, lo esencial que le da forma al proyecto son las relaciones lógicas que a partir de estas se constituyen las relaciones geométricas que se convertirán en variables, parámetros y algoritmos que generen soluciones a los problemas del proyecto.

Las técnicas generativas construyen en el diseño arquitectónico la definición de la forma que depende de ellos antecedentes, para conciliar aspectos formales, según criterios específicos y construir un sistema algorítmico que resuelva el proyecto. El gran potencial que tiene el diseño generativo mediante la fabricación digital y la construcción industrial a gran escala permite prever problemas que puedan suceder en la obra por lo que su ejecución es más precisa y sin contratiempos.

Diseño generativo

En la actualidad la construcción civil, social y urbana en el mundo es necesaria. La industria de la construcción es una gran oportunidad de desarrollo ya que la inversión en la construcción genera una gran

cantidad de empleos. En el año 2021-2022 en la industria de la construcción mundial se contabilizan 250 millones de trabajadores es decir 7.7% del total del empleo, específicamente por cada millón de dólares invertido se genera un promedio de 97 empleos en México (Arteaga, 2021).

Hoy en día se requiere el ahorro de recursos de todo tipo, no solamente en las etapas de uso, operación y mantenimiento de los edificios; sino también desde su diseño y construcción, por lo tanto, un diseño adecuado de las distintas partes de los edificios traerá como consecuencia mejores productos en cuanto a diseño y construcción.

El diseño generativo es un sistema relativamente nuevo, permite encontrar la mejor opción para un diseño que cumpla con los requisitos de desempeño esperados. Al diseño generativo actualmente se le conoce como el diseño del futuro, ya que al utilizarlo se proporcionan diseños innovadores, añadiendo valor, reducción de peso, volumen y costo; mejorando así su funcionalidad. Las tecnologías de diseño, análisis y fabricación que existen actualmente potencian los procesos integrados entre arquitectos e ingenieros; logrando que desde la fase inicial de un proyecto se vincule la generación de formas y la evaluación de comportamientos estructurales, estableciendo una nueva metodología proyectual interdisciplinaria.

Mediante el uso de algoritmos se pueden generar formas, especialmente de orden estético, por lo que se le conoce como un sistema formal. El diseño generativo abre la posibilidad de utilizar nuevas herramientas como modelos de manufactura, la fabricación aditiva (impresión 3D), permite tener acceso a recursos de producción más eficientes. Las construcciones serán más eficientes ya que tiene un equilibrio el tipo de material, resistencia y consumo de energía generando menor desperdicio y a largo plazo menor costo en su mantenimiento.

Diseño generativo en la arquitectura

El diseño generativo inició con los arquitectos Félix Candela y Gaudí, comenzaron a romper la rigidez de la arquitectura y a utilizar formas orgánicas. Desde finales de los años sesenta se empezaron a desarrollar los primeros sistemas gráficos computarizados CAD (diseño asistido por ordenador), a partir de este invento los arquitectos se han apoyado en la informática, la inteligencia artificial y las estrategias de resolución de problemas, basados en la optimización del diseño, automatización de las tareas de diseño y generación creativa en todos los campos de diseño.

A partir de 1990 es donde se inicia a desarrollar el diseño generativo. Se crearon obras que al público le gustaron y se hicieron sinónimo de una arquitectura de vanguardia, Y no es hasta el año 2006 con el ingeniero Toyo Ito en su obra Hachiko dome; con la que se utiliza una técnica llamada scripting (o programación) para capturar la geometría creada por las computadoras y manipularla de nuevas formas, dando origen a una nueva generación en el diseño y construcción de edificios. Los principales arquitectos de esta época fueron Rem Koolhaas, Peter Eisenman y Zaha Hadid.

La obra más representativa de esta época es el centro Heydar Aliyev, el uso de la computación avanzada permitió la construcción de una estructura de forma libre ya que consiste en una estructura de concreto con fibra de vidrio y reforzado con poliéster ya que permiten plasticidad en el diseño del edificio (ArchDaily, 2013).

Figura 1. Centro Heydar Aliev. Estructura. Arquitecta: Zaha Hadid



Fuente: Coarins (2013).

Figura 2. Centro Heydar Aliev. fachada, Arquitecta: Zaha Hadid



Fuente: Coarins (2013).

La Arquitectura ya no queda en un espacio utópico, sino que las ideas desarrolladas a través de la programación y diagramas en la computadora pueden ser construidas a través de fabricación digital, además el arquitecto ya no solo piensa en construir con materiales tradicionales sino con múltiples materiales con diferentes características; ejemplo, la nanotecnología, los biomateriales ampliando con ello los aspectos formales (Ortega, 2009).

En la actualidad el concepto de sustentabilidad es un concepto que se está aplicando en muchas áreas ya que el daño ecológico es altamente visible. Por esta razón el impacto que tiene en la arquitectura ha ido evolucionando.

El diseño generativo es un proceso de creación que le permite al diseñador definir los objetivos del proyecto mediante la utilización de algoritmos, dando paso a tener mayor control de las variables lo que nos permite desarrollar obras arquitectónicas en favor a las tres esferas que abarca la sustentabilidad, una obra arquitectónica en favor de la sociedad, dando un desarrollo económico mediante la infraestructura social y cuidando el medio ambiente.

Arquitectura biomimética

A partir de la evolución de la arquitectura mediante los avances tecnológicos la arquitectura se desarrolla de forma multidisciplinaria, permite desarrollar proyectos con mayor control, precisión y con mejor funcionamiento. El diseñador es más observador lo que permite observar a detalle cómo funciona la naturaleza, lo que le permite analizar cómo sus formas tienen un funcionamiento y una razón de ser. Y a partir de este pensamiento surge el concepto Biomimética, estilo arquitectónico que combina la biología y la tecnología imitando los principios básicos de los esquemas estructurales anatómicos presentes en los seres vivos o incluso los fenómenos naturales para transformarlos en soluciones que satisfagan las necesidades humanas (Construcía, 2018).

Los métodos digitales de diseño que se utilizan tienen como objetivo generar formas mediante los principios de evolución y organización de los seres vivos desde el punto de vista de la ingeniería. (Sasaki, 2005).

Un ejemplo es el “Nature Boardwalk at Lincoln Park Zoo” (figuras 3), es un pabellón fabricado de madera que muestra la unión

de la arquitectura con el hábitat natural y las personas, es un destino popular al aire libre con un paisaje de aprendizaje para los residentes de la ciudad, su diseño está tan completo que es totalmente funcional y autosuficiente para la infraestructura de aguas pluviales de Chicago.

En conjunto, el diseño mejora la calidad del agua y la variedad de plantas para un hábitat animal mejor y más diverso. Reduce la dependencia de la infraestructura de la ciudad que envejece y crea un entorno educativo experimental al aire libre (Gang, 2015).

Figura 3. Nature Boardwalk at Lincoln Park Zoo



Fuente: Gang (2015).

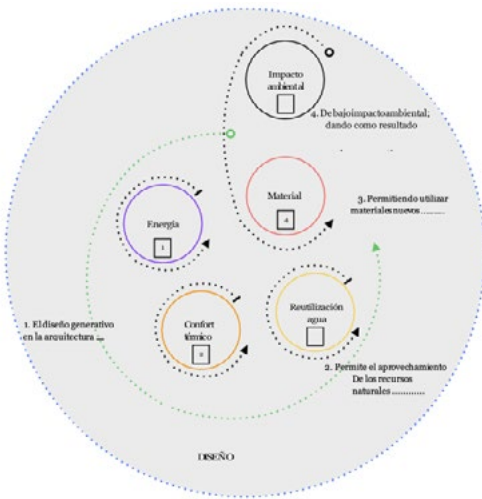
Al generar espacios optimizados, se mejora la arquitectura ya que habrá una reducción de residuos, se obtiene mayor calidad en la obra, con un mantenimiento más sencillo. Se realiza un estudio energético permitiendo el aprovechamiento de los recursos naturales y brindando un espacio más confortable al usuario.

En la naturaleza, los seres que han sobrevivido hasta hoy en día tienen una forma adaptada a las condiciones del entorno. Esta adaptación significa menos gasto de material y de energía. Todas las especies de la naturaleza no gasta más de lo necesario. Ahorro del

material y ahorro de la energía, estos son los dos conceptos básicos de la arquitectura Biomimética.

El uso del diseño generativo desde la etapa del diseño ofrece una visión temprana de la forma óptima de la estructura para la definición de una máxima resistencia con una reducción de uso de material considerable.

Figura 4. Diseño generativo sustentable en la arquitectura.



Fuente: elaboración propia

En general el diseño generativo permite al diseñador desarrollar un sistema codificado (adaptable y modificable) capaz de evaluar y dar alternativas a problemas planteados. De acuerdo con parámetros preestablecidos (sistema constructivo, orientación, adecuación al terreno, etc.). La utilización de algoritmos facilita el análisis, ajusta el espacio dentro de una nueva visión del mundo. No tiene como objetivo solo desarrollar formas complejas, sino que busca la eficiencia en el desarrollo del proyecto.

Proceso del diseño generativo

El proceso generativo consiste en crear formas geométricas a partir de datos numéricos, es decir, de parámetros. El conjunto de todos estos datos forma un algoritmo, el cual será modificado con el fin de generar infinitas soluciones para las mismas condiciones iniciales.

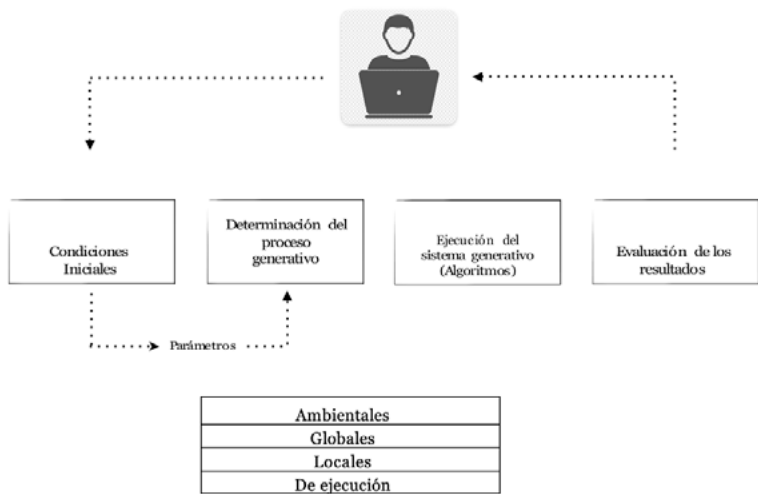
Para ello, se necesita una herramienta que sea capaz de modificar en cualquier momento los parámetros que definen el modelo y que, al mismo tiempo y de manera inmediata, muestre los efectos de estos cambios en la representación.

Actualmente existen programas que utilizan un lenguaje de programación de tipo visual (visual programming language, VPL), los elementos que compone el algoritmo se representan mediante nodos, y cada componente tiene entradas y salidas (inputs / outputs) para conectarse entre ellos e ir dando forma a la red algorítmica.

Los algoritmos son considerados una forma de inteligencia artificial definida como metaheurística. Los algoritmos heurísticos siguen un conjunto sencillo de reglas para devolver en un tiempo de cálculo mínimo una solución acertada y lo más precisa posible a un problema de diseño (Fasoulaki, 2008).

El proceso del diseño generativo varía en algunos aspectos con respecto al proceso de diseño clásico; el cual parte de una idea, seguido por la definición de las reglas o parámetros iniciales, en esta parte de proceso se inicia con la formulación de los algoritmos mediante la utilización de un software de computadora. Después mediante esta programación se desarrolla la estructura genética del diseño o proyecto, que dará forma a la idea y finalmente se obtiene una solución para su aplicación en la construcción. A partir del análisis de la bibliografía sobre el diseño generativo se propone el siguiente proceso de diseño generativo:

Figuras 5. Proceso de diseño generativo.



Fuente: elaboración propia

El proceso del diseño generativo da como resultado varias soluciones modificables que evita que el diseñador tenga que volver al principio, es decir, a la idea que se aproxima más al resultado deseado se requiere modificar el conjunto de reglas o algoritmos y cambiar los diferentes parámetros, para generar una nueva solución.

Actualmente existen programas que utilizan un lenguaje de programación de tipo visual (visual programming language, VPL), los elementos que compone el algoritmo se representan mediante nodos, y cada componente tiene entradas y salidas (inputs / outputs) para conectarse entre ellos e ir dando forma a la red algorítmica.

Los algoritmos son considerados una forma de inteligencia artificial definida como metaheurística. Los algoritmos heurísticos siguen un conjunto sencillo de reglas para devolver en un tiempo de cálculo mínimo una solución acertada y los más precisa posible a un problema de diseño (Fasoulaki, 2008).

Algunas de las cualidades que nos aporta el uso del diseño generativo en la arquitectura son:

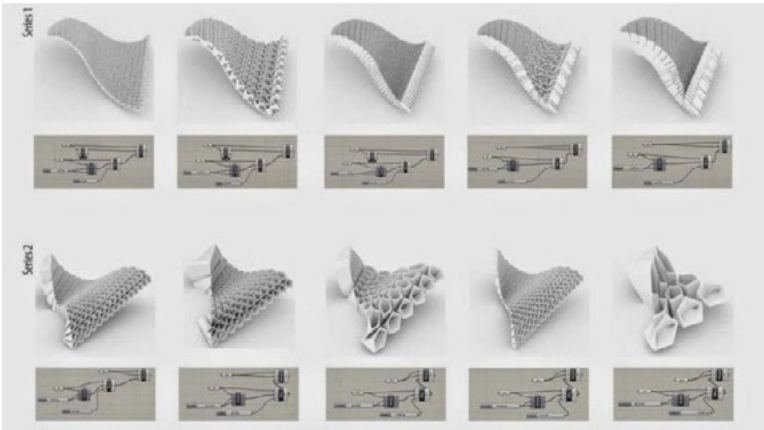
- Rapidez en la modificación del proyecto: al elaborar el diseño como un sistema interrelacionado, el cambio de un parámetro afecta y actualiza todo el modelo.
- Gestión de información a gran velocidad: la definición algorítmica del diseño y la ayuda de la computadora, hacen que el diseño pueda desarrollarse mediante una gran cantidad de datos de diversas fuentes.
- Generación y comprobación de gran cantidad de resultados: un mismo algoritmo tiene la capacidad de generar múltiples resultados con diferentes características, en función de la información de entrada.
- Análisis y evaluación de la validez de esos resultados: gracias al trabajo conjunto del diseño generativo con otros softwares (estructural, energético, ambiental, etc.) se pueden establecer parámetros que validen o no los diseños.
- Optimización de diseños: mediante la aplicación de algoritmos y procesos generativos, se puede encontrar una solución optimizada para unos factores concretos.

En base al proceso del diseño generativo las estrategias más utilizadas en la arquitectura generativa son:

- **FORM-FINDING**

La forma del edificio se determina mediante un concepto basado en la naturaleza, su objetivo es lograr diseñar la forma óptima que sea adaptable al entorno donde se desarrolla, estructura funcional y sustentable. La forma es el resultado de un estado de equilibrio estático, el funcionamiento estructural es el que define la forma. Este equilibrio se encuentra a través de estructuras colgantes invertidas, o una estructura de tela bajo pretensado. La creciente demanda energética y la sustentabilidad del edificio ya no solo es una estructura es una envolvente que funciona con el edificio, como iluminación, ventilación, etc. (Acosta, 2009).

Figura 6. Proceso Form- Finding en Arquitectura.



Fuente: Thet (2023).

• **FREE-FORM**

La forma se desarrolla por curvas que son independientes al funcionamiento estructural. El diseño se basa en el componente estético. Digitalmente se definen mediante polinomios conocidos como las curvas NURBS, estas curvas se definen mediante un grado y puntos de control (Raposo, 2021).

Figura 7. Casa impresa en 3D, WATG arquitectos, Chattanooga, TN, Estados Unidos.

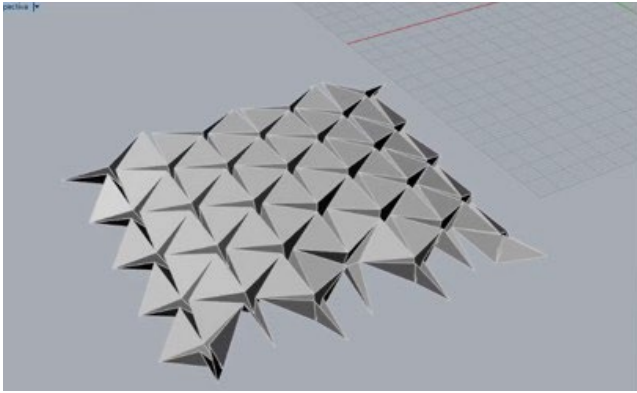


Fuente: Vilar (2016).

- **PLEGADO**

Se desarrolla mediante el concepto del origami que es el plegado de una hoja de papel para lograr figuras que representan la naturaleza. La arquitectura de formas plegadas reside en crear elementos utilizando la menor cantidad de material, desarrollado con piezas móviles y flexibles (Echeverri, 2020).

Figura 8. Ejemplo pabellón plegado.

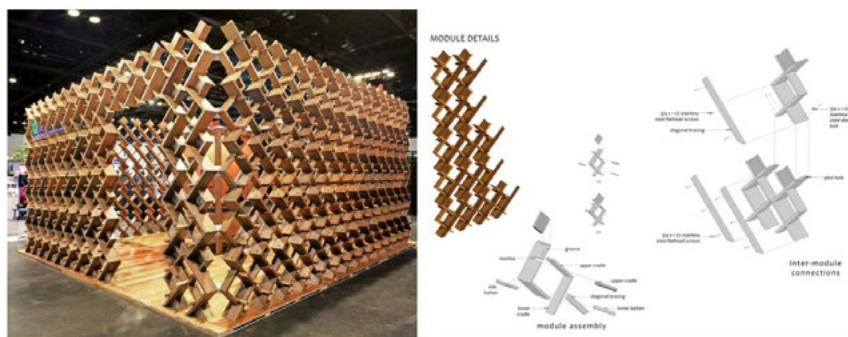


Fuente: Echeverri (2020).

- **PANELADO**

La forma del diseño se racionaliza para que la superficie esté formada por paneles con las mismas características que al unirse den lugar a una forma más compleja, pero que al estar formada por piezas iguales hace más fácil, rápida y viable su construcción (Beatriz, 2022).

Figura 9. Pabellón modular desmontable, exhibición del Consejo de Madera de Malasia, Orlando, Florida



Fuente: Thomas (2017).

El proceso del diseño generativo varía en algunos aspectos con respecto al proceso de diseño clásico; el cual parte de una idea, seguido por la definición de las reglas o parámetros iniciales, en esta parte de proceso se inicia con la formulación de los algoritmos mediante la utilización de un software de computadora. Después mediante esta programación se desarrolla la estructura genética del diseño o proyecto, que dará forma a la idea y finalmente se obtiene una solución para su aplicación en la construcción.

La parte más importante y que diferencia ambos procesos; es que en el diseño generativo se obtiene una solución modificable que evita que el diseñador tenga que volver al principio, es decir, a la idea, para generar una nueva solución. Ya que solo se requiere de modificar el conjunto de reglas o algoritmos y cambiar los diferentes parámetros.

Este trabajo de investigación nos muestra como los proyectos arquitectónicos actuales muestran únicamente el resultado final del proceso de diseño, pero no el proceso de modelado mediante el cual se ha llegado a esa representación lo cual impide su automatización. Como consecuencia de este proceso lineal cada modificación conlleva una reconstrucción de la representación. El diseño generativo permite la creación de diversos diseños adaptables a diferentes situaciones (Velasco, 2015).

Fabricación aditiva

La tecnología ha revolucionado el mundo y por lo tanto ha permitido que se desarrollen sistemas de representación más sofisticados en la arquitectura. La impresión 3D, cortadora láser, utilización de brazos robóticos han permitido la creación de nuevos sistemas constructivos.

Los avances tecnológicos han propiciado que las industrias desarrollen gran variedad de técnicas de robótica y de diseño de piezas con softwares como CAD (Computer-Aided Design o Diseño Asistido por Ordenador), o CAM (Computer-Aided Manufacturing o Fabricación Asistida por Ordenador), CNC (Computer Numerical Control o Control Numérico Computarizado) y CATIA (Computer-Aided Three dimensional Interactive Application), que han utilizado para la posterior producción de piezas (Torres, 2016).

Este tipo de industrias han revolucionado los procesos de producción mediante la Fabricación Aditiva o Rapid Manufacturing, Rapid Prototyping, Solid Freeform Fabrication Additive Manufacturing Technologies, que consisten en la producción directa de componentes por la adición de material, para formar un objeto o pieza para uso final directo a través de la utilización de softwares. El mejor ejemplo de este tipo de fabricación es la impresión 3D.

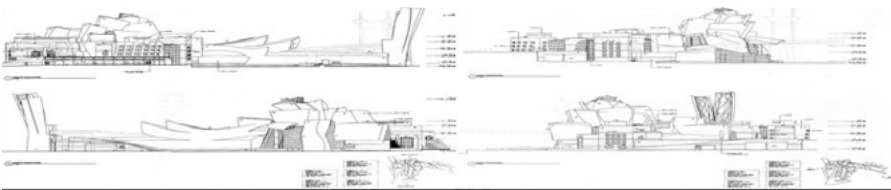
Un ejemplo muy conocido de este tipo de construcción es el Museo Guggenheim de Bilbao. Obra del arquitecto Frank O Gehry; en su obra su despacho de diseño utilizó el software CATIA, en el cual diseñó las finas placas de titanio que dieron la forma del museo.

Figura 29. Museo Guggenheim de Bilbao



Fuente: Brian (2023).

Figura 30. Planos arquitectónicos Museo Guggenheim.



Fuente: Brian (2023).

Impresión de concreto 3D

El concreto armado es y seguirá siendo el material más utilizado en la industria de la construcción, debido a las ventajas que tiene como es rentabilidad, adaptabilidad de forma y resistencia. En el área de la construcción las estructuras de concreto en México se han desarrollado de manera tradicional (utilizando encofrado, armado, curado, etc.) de manera conservadora sin alguna forma de innovación (DOMAT, 2023).

En la actualidad existe mucha información sobre el mejoramiento del concreto, la utilización de fibras, nanomateriales, aceleradores de fraguado y superplastificantes. Han mostrado mejoras en las propiedades y la calidad del concreto. La fabricación Aditiva,

concretamente la impresión algunas empresas como Contour Crafting, Concrete Printing y la empresa líder APIS COR.

La impresión 3D de concreto es una técnica constructiva que no está muy difundida, pero lo que se ha construido muestra que trae grandes beneficios como el ahorro de un 30 a 60% en los residuos, disminución de tiempo de producción de un 70% y reducción de costos de mano de obra de un 80% (Valdés, 2022).

La impresión 3D de concreto tiene las siguientes ventajas en su utilización para el desarrollo de obras arquitectónicas:

- Libertad de Diseño: diseño de formas orgánicas que permitan el desarrollo de sistemas estructurales innovadores.
- Automatización: la obra se ejecuta con mayor precisión, menor coste de mano de obra (se requiere menos volumen de trabajadores, pero se requiere mano de obra calificada)
- Sustentabilidad: reducción de residuos, se utilizan materiales innovadores y eficientes. Se ahorra hasta un 70%. Se genera menos residuo ya que se imprime sólo lo necesario, en cuanto a la plomería y electricidad ya son modelos prefabricados (Martín, 2017).
- Menos refuerzo: se requiere de menor cantidad de acero.
- Diseño eficiente: se reduce la cantidad de material requerida ya que en el diseño se aplica topología optimizada que permite soluciones de diseño.
- Permite utilizar nuevos materiales.
- Velocidad: la obra se ejecuta en menor tiempo

Figura 10. Impresora 3D de concreto.



Fuente: Apiscor (2024).

Conclusiones

El diseño generativo sustentable al aplicarse en la arquitectura conlleva al desarrollo de un proceso multidisciplinario el cual requiere de una selección de materiales de bajo impacto, tener funciones en el diseño en beneficio de la sustentabilidad como captación de agua, captación de energía solar, confort térmico y utilizar un sistema constructivo mediante la fabricación aditiva. Y todos estos aspectos se cubren en los parámetros que definen el algoritmo del diseño generativo.

Las principales ventajas que da este tipo de diseño a la sustentabilidad son:

- Libertad geométrica del diseño, con pocas restricciones espaciales.
- Rapidez, automatización y optimización del proceso.
- Independencia de la mano de obra humana durante la ejecución.

- Se reducen los costos y riesgos laborales.
- Diseño innovador disruptivo
- No se utilizan moldes encofrados, lo que permite que se reduzca el material y costos

El diseño generativo en la sustentabilidad permite la innovación; desarrollo de nuevos sistemas constructivos y la utilización de materiales innovadores, abriendo paso un nuevo lenguaje visual en el diseño arquitectónico. El uso del diseño generativo desde la etapa del diseño ofrece una visión temprana de la forma óptima de la estructura para la definición de una máxima resistencia con una reducción de masa considerable donde a partir de una forma básica se definen las condiciones reales.

En general el diseño generativo permite al diseñador desarrollar un sistema codificado (adaptable y modificable) capaz de evaluar y dar alternativas a problemas planteados. De acuerdo con parámetros preestablecidos (sistema constructivo, orientación, adecuación al terreno, etc.). La utilización de algoritmos facilita el análisis, ajusta el espacio dentro de una nueva visión del mundo. No tiene como objetivo solo desarrollar formas complejas, sino que busca la eficiencia en el desarrollo del proyecto.

Referencias

- Acosta, D. (2009). Arquitectura y construcción sostenibles: Conceptos, problemas y estrategias. *DEARQ - Revista de Arquitectura*, (4), 14-23.
- Apis-cor. (2024). *Construction with robotic precision*. <https://apis-cor.com>
- Arteaga, J. (2021). *Construcción, un potencial multiplicador de empleos en México*. Forbes México. <https://n9.cl/q91io9>
- Beatriz, D. R. (2022). *El planteamiento sistémico del proceso constructivo*. Universidad Politécnica de Madrid.
- Coarins. (2022). *Análisis del Centro Cultural Haydar Aliyev*. <https://n9.cl/d5og2>
- Construcía. (2018). *Arquitectura biónica, de la naturaleza a la edificación*. <https://n9.cl/db9s6g>
- DOMAT. (2023). *¿Qué es el concreto y por qué es esencial en la construcción?* <https://n9.cl/73c9n>
- Echeverri, P. (2020, noviembre). *Arquitectura de formas plegadas en las estructuras modernas*. <https://n9.cl/x7ihu>
- Fasoulaki, E. (2008). *Integrated design: Generative multi-performative design approach*. MIT Libraries.
- Gang, S. (2015). *Nature Boardwalk at Lincoln park Zoo*. Studio Gang Design. <https://studiogang.com/studio/advocacy>
- Gruss, B. N. (2017). *Mercados emergentes y economías en desarrollo*. IMF Blog. <https://n9.cl/d2ao7>
- Hernández, M. S. (2015). *Vida útil en el diseño sustentable de edificios, Teoría y práctica*. Trillas.
- Martín, J. (2017). *Fantasía o realidad, la construcción a través de la impresión 3D* [Tesis de grado, Universidad Politécnica de Madrid].
- Ortega, L. (2009). El ordenador en el estudio del diseño. En *En la digitalización toma el mando* (pp. 121-122). Editorial GG.
- Raposo, J. (2021). *Diseño generativo, algoritmos como método de diseño* [Tesis de maestría, Universidad Politécnica de Madrid].
- Sasaki, M. (2005). *Flux Structure*. TotoShuppan.
- Thet, H. (2023). *The introductory guide to form-finding in architecture: Getting the best building form with technology*. Novatr. <https://n9.cl/q6ipy>

- Thomas. (2017). *Pabellón desmontable evidencia resistencia y adaptabilidad de la madera*. ArchDaily. <https://n9.cl/cj73q>
- Vilar, I. (2016). *WATG presenta su diseño de casa impresa en 3D*. ArchDaily. <https://n9.cl/ps3zh>
- Villas, B. (1995). *Sustainable development and the advanced materials*. Johnson Editor.

Generative Design Applied to Architecture and its Contribution to Sustainability Design Generativo Aplicado à Arquitetura e sua Contribuição para a Sustentabilidade

Sara Cristina Solache de la Torre

Universidad Autónoma del Estado de México | Toluca | México

<https://orcid.org/0000-0003-4833-6892>

scsolache@gmail.com

Arquitecta egresada del Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey. Tiene una Maestría y Doctorado en Diseño de la Universidad Autónoma del Estado de México. Sus áreas de investigación son la tecnología de la construcción, materiales, sustentabilidad, diseño generativo y diseño biomimético.

Juan Carlos Arteaga Arcos

Universidad Autónoma del Estado de México | Toluca | México

<https://orcid.org/0000-0003-0689-4239>

jcarteaga_mx@yahoo.com.mx

Profesor de la Facultad de Ciencias de la Universidad Autónoma del Estado de México desde 2011. Su área de especialidad es ciencias de materiales y análisis estructural. Actualmente está enfocado en el desarrollo de materiales de construcción sustentables, biomateriales e innovación tecnológica.

David Joaquín Delgado Hernández

Universidad Autónoma del Estado de México | Toluca | México

<https://orcid.org/0000-0001-9752-7367>

delgadoh01@yahoo.com

Tiene un doctorado en ingeniería de la Universidad de Birmingham, Inglaterra. Es autor de cuatro libros y más de 100 artículos técnicos, y ha liderado diez proyectos de investigación científica en ingeniería. Ha trabajado para la Comisión Federal de Electricidad, una empresa mexicana que genera electricidad. Actualmente es profesor asociado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma del Estado de México.

Abstract

Currently, architectural and civil construction generates the greatest environmental impact, but it is also essential for economic development. Therefore, construction and design systems require modifications to minimize ecological damage. The objective of this paper is to identify the main advantages that the implementation of generative architectural spaces offers to sustainable design. Using a historical-comparative methodology, the construction systems used in construction were analyzed and compared with generative projects developed in the same context. The results obtained identify the advantages of using generative design in architecture, as it allows for the use of innovative materials with a lower environmental impact, generates less waste, allows for faster construction, and allows for the development of new construction systems through the use of additive digital manufacturing.

Keywords: generative design; sustainability; additive manufacturing; 3D printing; biomimicry.

Resumo

Atualmente, a construção civil e arquitetônica é a atividade que gera o maior impacto ambiental, mas também é necessária para o desenvolvimento econômico. Por esta razão, os sistemas construtivos e de design requerem modificações para minimizar os danos ambientais. O objetivo deste escrito é a identificação das principais vantagens que a implementação de espaços arquitetônicos ge-

nerativos traz para o design sustentável. Por meio da utilização da metodologia histórico-comparativa, foram analisados os sistemas construtivos utilizados na construção e comparados com obras generativas desenvolvidas no mesmo contexto. Os resultados obtidos são a identificação das vantagens da utilização do design generativo na arquitetura, uma vez que permite a utilização de materiais inovadores e de menor impacto ambiental, gera menos desperdício, as obras são executadas com maior velocidade e permite gerar novos sistemas construtivos com o uso da fabricação digital aditiva.

Palavras-chave: Design generativo; sustentabilidade; fabricação aditiva; impressão 3D; biomimética.

Capítulo 6

El análisis de riesgo como eje rector en la regulación de las sustancias químicas y los nanomateriales en México

Ruth Robles

Resumen

La regulación de las sustancias químicas y los nanomateriales es una labor que presenta grandes retos. Los gobiernos han desarrollado políticas públicas para gestionar las sustancias químicas y los nanomateriales, empero, muchas de ellas no han tenido el éxito esperado a tal punto que, la contaminación continúa incrementándose. La presente investigación analiza el grado en que la regulación ambiental mexicana ha adoptado el análisis de riesgo y el principio de precaución en la regulación de las sustancias químicas y los nanomateriales; dos grandes paradigmas. Los resultados indican que, la supremacía que se le otorga al análisis de riesgo es contundente, no obstante, esta metodología es limitada y deja sin caracterización alguna a la gran mayoría de las sustancias químicas en el mercado incluyendo a los nanomateriales.

Palabras clave:
principio de
precaución;
análisis del riesgo;
regulación;
sustancias
químicas;
nanomateriales.

Robles, R. (2026). El análisis de riesgo como eje rector en la regulación de las sustancias químicas y los nanomateriales en México. En J. Martínez Pérez, M. Hernández Ortiz, & I. Ortiz Medina, (Coords). *Desafíos contemporáneos. Un análisis multiescalar de la tecnología, la sociedad y el territorio*. (pp. 168-181). Religación Press. <http://doi.org/10.46652/religacionpress.363.c788>



Introducción

El presente artículo, en un primer momento, puntualiza las principales características de dos de los principales instrumentos de política pública utilizados a nivel mundial para regular las sustancias químicas en general, el análisis de riesgo (AR) y el principio de precaución (PP). Posteriormente, en un segundo momento, se analiza el grado en que la legislación ambiental mexicana ha adoptado el AR y el PP en la gestión de las sustancias químicas y los nanomateriales; dos grandes paradigmas.

Como preámbulo se menciona que en la sociedad moderna los riesgos son utilizados para generar más recursos económicos (Beck, 1998, p. 29). La emisión de sustancias químicas al ambiente forma parte de estos riesgos, incluyendo nuevos materiales de naturaleza desconocida, denominados nanomateriales. La Comisión Europea denomina nanomateriales a las partículas y compuestos con alguna dimensión externa entre 1 y 100 nm (nanómetros) (EC, 2022); los cuales están siendo utilizados en diversas ramas productivas.¹ En la actualidad, no existen muchas fuentes de información que indiquen la cantidad de sustancias químicas que se producen a nivel mundial; la Comunidad Económica Europea es de las pocas regiones en el mundo donde se tienen estadísticas al respecto. Esta organización constantemente publica informes, en uno de ellos menciona que en el mercado europeo existen aproximadamente 100,000 sustancias químicas conocidas, de las cuales, el 70 % ha sido poco caracterizada

1 "Nanomaterial means a natural, incidental or manufactured material consisting of solid particles that are present, either on their own or as identifiable constituent particles in aggregates or agglomerates, and where 50 % or more of these particles in the number-based size distribution fulfil at least one of the following conditions:
(a) one or more external dimensions of the particle are in the size range 1 nm to 100 nm;
(b) the particle has an elongated shape, such as a rod, fibre or tube, where two external dimensions are smaller than 1 nm and the other dimension is larger than 100 nm;
(c) the particle has a plate-like shape, where one external dimension is smaller than 1 nm and the other dimensions are larger than 100 nm" (EC, 2022, p. 4).

(EEA, 2019, p. 239)². En el caso de los nanomateriales, su producción mundial neta también es desconocida (OECD, 2022, p. 19); empero, Allied Market Research menciona que el valor global del mercado de nanomateriales tiene una tendencia al alza, para el 2021 fue de 16.3 billones (US) y se espera que este aumente a 62.8 billones (US) para el 2031, con una tasa anual de crecimiento compuesta de 14.6 % del 2022 al 2031 (Allied Market Research, 2023).

Las consecuencias de la producción y emisión ilimitada de sustancias químicas tóxicas en el ambiente son muchas. Existen muchos ejemplos de lo dañino que puede ser este suceso, como el hecho de que muchos seres vivos se están extinguiendo por causa de este suceso³. Sin mencionar que también se pueden acarrear una serie de accidentes, en el caso de los nanomateriales, la OECD publicó recientemente un informe al respecto⁴.

Fundamentos de la gestión del riesgo a nivel mundial

En el mundo en general no existe una política que realmente prevenga los riesgos (Beck, 1998, p. 54); a lo más que se ha aspirado es a controlarlos. Este control ha sido liderado por el AR; la mayoría de los países y de las corporaciones aceptan este paradigma como su principal instrumento para la gestión de las sustancias químicas. Contrariamente, el PP no tiene mucha resonancia en la mayoría de las regulaciones; a pesar de que, ha sido validado internacionalmente en el principio 15 de la Declaración de Río sobre Medio Ambiente y

2 Recientemente la Agencia Europea de Químicos publicó un informe sobre las áreas clave de desafío regulatorio, siendo una de ellas la necesidad de comprender aún más los modos de acción toxicológicos para gestionar mejor los riesgos (ECHA, 2024).

3 Ver Worldwide decline of the entomofauna: A review of its drivers (Sánchez-Bayo & Wyckhuys, 2019).

4 Ver Chemical Accidents Involving Nanomaterials: Potential Risks and Review of Prevention, Preparedness and Response Measures – Project Report. Series on Chemical Accidents No. 34 (OECD, 2022).

Desarrollo (1992) (UN, 1992)⁵. Un principio que se identifica porque considera las percepciones de los ciudadanos y la manera como ellos explican los problemas (Eizagirre, 2011, p. 311).

Ambos instrumentos de política han sido utilizados para enfrentar los riesgos. El modo en que opera el AR en la mayoría de los países es que permite contaminar siempre y cuando no se excedan los límites establecidos en las regulaciones (Thornton, 2000, p. 138). El AR es una metodología que evalúa el nivel de toxicidad y exposición de una determinada sustancia química. Su principal objetivo es determinar la probabilidad de ocurrencia de un evento (Stirling, 2007, p. 309). Sin embargo, en muchas ocasiones durante el desarrollo de esta metodología, se asumen incertidumbres ante la falta de datos de naturaleza diversa, lo cual debilita el carácter racional, riguroso y robusto del AR (Stirling, 2007, p. 312). Las dificultades que se tienen en la evaluación del riesgo de los nanomateriales son mayores dado que su toxicidad y exposición no permanecen invariables en el tiempo (Reimhult, 2017, p. 283).

El AR ha sido objeto de grandes críticas debido principalmente a que los problemas los aborda desde un punto netamente técnico. Por su parte, el PP reconoce que la ciencia tiene grandes restricciones; considera que existen campos que aún no son cognoscibles por el ser humano (Eizagirre, 2011, pp. 319-320). Tal es el caso del comportamiento fisicoquímico de los materiales a escala nano. La mayoría de los países no han aceptado el PP dentro de sus regulaciones, también ha sido objeto de muchas críticas, simplemente por el hecho de no poseer reglas claras para su aplicación, aparte de que sus resultados no son de tipo numérico como pueden ser en el AR. La Agencia Europea de Medio Ambiente (EEA por sus siglas en inglés) publicó dos libros para dar a conocer las lecciones que se

5 "Con el fin de proteger el medio ambiente, los Estados deberán aplicar ampliamente el criterio de precaución conforme a sus capacidades. Cuando haya peligro de daño grave o irreversible, la falta de certeza científica absoluta no deberá utilizarse como razón para postergar la adopción de medidas eficaces en función de los costos para impedir la degradación del medio ambiente" (UN, 1992).

han aprendido de la aplicación del PP⁶. Una cuestión sobresaliente es que en muchos de los casos estudiados se analizan las relaciones subyacentes en los conflictos ambientales (EEA, 2013b, p. 7).

La gestión del riesgo en México

En México, según información de Carabias y Rabasa, el desarrollo legislativo ambiental ha pasado por seis etapas⁷. El primer periodo de 1917 a 1934, se caracteriza porque las políticas se centraron en la formación del Estado. Las políticas de protección al ambiente no tenían la fortaleza que en la actualidad tienen. Sin embargo, es en este periodo que se promulga el artículo 27 constitucional, cuyo fundamento sustenta a diversas leyes constitucionales actuales.

Las bases de la política ambiental actual se sientan durante el quinto periodo 1982–1994 con el inicio de las políticas neoliberales en México, donde se establecieron conceptos más complejos como el de equilibrio ecológico. Durante el último periodo, de 1994 en adelante, la legislación comenzó a incorporar elementos de los convenios y tratados internacionales, siendo uno de ellos el Acuerdo de Cooperación Ambiental de América del Norte (ACAAN). Dentro de las medidas gubernamentales impulsadas en el artículo 5 se propone promover las auditorías ambientales (DOF, 1993); uno de los principales instrumentos de la política ambiental actual donde se gestionan diversos aspectos como los impactos y riesgos ambientales de los establecimientos.

En general, las autoridades para gestionar los riesgos pueden actuar a través de dos vías; la primera de ellas denominada “ex post”, es no hacer nada hasta que se tenga evidencia de que existe un daño al ambiente o la salud, en este caso, los tribunales aplicaran

6 El primero de ellos, se publicó en el año 2001, y se titula: *Late lessons from early warnings: the precautionary principle 1986–2000*. El segundo libro se publicó en el año 2013, y lleva por nombre: *Late lessons from early warnings: science, precaution, innovation*.

7 Ver *Cien años de políticas y normatividad ambiental* (Carabias & Rabasa, 2017).

las sentencias conducentes y el infractor hará las medidas de remediación y control conducentes. La segunda vía “ex ante” evita acciones cuyos efectos en la salud o en el ambiente se desconocen donde se consideran principios como el PP (Wiener & Rogers, 2002, p. 320).

A nivel federal, la estructura de la legislación ambiental en México es jerárquica; en la cima se encuentra la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos (CPEUM), luego, se encuentran los acuerdos y tratados internacionales y, posteriormente, las leyes constitucionales, los reglamentos y las normas. Analizando la principal norma del sistema jurídico mexicano, la CPEUM, se observa, que en toda su estructura no habla de la adopción del PP. Uno de los principios a los que más se recurre es él que se establece en el artículo 4, el cual dice: “el daño y deterioro ambiental generará responsabilidad para quien lo provoque en términos de lo dispuesto por la ley” (DOF, 2024). Esto indica que la regulación ambiental en México está más enfocada en tomar acciones hasta que se presentan los problemas ambientales. En este mismo sentido, el artículo 5 punto 3 del ACAAN menciona que, para la reparación de las leyes y reglamentos ambientales, las autoridades pueden dictar medidas precautorias (DOF, 1993). Estas medidas precautorias o preventivas no tienen el mismo sentido que el PP, pues muchas de estas se dan en la etapa “ex post” para prevenir que un determinado suceso riesgoso en curso no termine en accidentes fatales.

La regulación del riesgo en México se basa sobre todo en la aplicación del AR en diferentes ámbitos, por ejemplo, en materia ambiental, la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) dicta en sus disposiciones legales que si un establecimiento maneja una o varias sustancias químicas catalogadas como altamente riesgosas en su normatividad debe de presentar un estudio de riesgo ante las autoridades competentes (DOF, 2024)⁸. En materia de salud, la Secretaría de Salud (SA) posee la “NOM-048-

SSA1-1993, Que establece el método normalizado para la evaluación de riesgos a la salud como consecuencia de agentes ambientales” (DOF, 1996, p. 1); una norma muy poco aplicada en su competencia. En cuestiones laborales, la Secretaría del Trabajo y Previsión (STPS) tiene varias normas para evaluar el riesgo como la “NOM-010-STPS-2014, Agentes químicos contaminantes del ambiente laboral - reconocimiento, evaluación y control” (DOF, 2014, p. 1).

De manera general, un análisis de estas normas permite dimensionar que se trata de un AR limitado, porque solo se obliga a los sujetos que manejan sustancias químicas contenidas en listados normativos a presentar evaluaciones de riesgo (Robles, 2020). Por ejemplo, la SEMARNAT se limitan a las sustancias listadas en el Primer y Segundo Listado de Actividades Altamente Riesgosas. No obstante, si apareciera otra sustancia tentativamente peligrosa, no se podrían evaluar sus riesgos porque no está en los listados mencionados.

Si bien en México se gestiona el riesgo a través del AR, algunas leyes ambientales ya consideran el PP, tal es el caso de la Ley General de Cambio Climático y la Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable. Empero, su uso en la práctica es nulo, rara vez este es tomado en cuenta, sobre todo en la regulación de actividades riesgosas o relacionadas con el desarrollo de nuevas tecnologías.

La gestión de los nanomateriales en México

Una de las grandes preocupaciones que se tienen del desarrollo de las nanotecnologías, es que algunas instituciones han manifestado que algunos nanomateriales pueden ser nocivos para la salud y el ambiente (SCENIHR, 2009, p. 10). Se habla de partículas y compuestos que poseen por lo menos una o más dimensiones externas entre 1 y 100 nm (EC, 2022); cuyas leyes físicas y químicas intrínsecas a su comportamiento son diferentes a las de los materiales más grandes (Reimhult, 2017, p. 289). Estas nuevas características

han dificultado el establecimiento de regulaciones (Lai et al., 2018, p. 3060). Asimismo, existe una gran necesidad de generar información científica sobre estos nuevos nanomateriales (ECHA, 2024, p. 8). Además de que, habría que contextualizar que se entiende por riesgo a nanoescala (Reimhult, 2017, p. 289). Esto conduce a pensar que el paradigma del AR puede ser no suficiente para la regulación de estos nuevos materiales. Sin embargo, el AR sigue siendo una herramienta muy fuerte en el diseño de nanomateriales seguros en los países que liderean su desarrollo como es el caso de la Unión Europea (OECD, 2020, p. 26)⁹.

En el caso de México, la regulación de nanomateriales no se encuentra diferenciada de la regulación de sustancias químicas convencionales. Sin embargo, es posible identificar algunas normas que, aunque no se especifique la palabra nano, pueden ser aplicables en la regulación de estos materiales; tal es el caso de la “NOM-048-SSA1-1993, Que establece el método normalizado para la evaluación de riesgos a la salud como consecuencia de agentes ambientales” (DOF, 1996, p. 1). Esta norma define agente de una manera muy genérica que bien puede considerar a cualquier nanomaterial¹⁰.

En general, la regulación de los nanomateriales es incipiente y no se aprecia de manera contundente la aplicación del AR o del PP. Básicamente, se conforma de normas denominadas estándares que guían su gestión, empero no son consideradas obligatorias dentro del sistema jurídico mexicano (DOF, 2020 art. 4 inciso X). Tal es el caso de la “NMX-R-13830-SCFI-2014, Nanotecnologías-Guía para el etiquetado de nano-objetos manufacturados y de productos que contengan nano-objetos manufacturados” (DOF, 2015).¹¹

9 Ver la publicación Moving Towards a Safe(r) Innovation Approach (SIA) for More Sustainable Nanomaterials and Nano-enabled Products (OECD, 2020).

10 “Agente: Elemento con características físicas, químicas o biológicas, cuya presencia o ausencia en el medio interactúa con el organismo humano, causando efecto molecular, bioquímico, celular, en tejidos u órganos. Pueden o no ocasionar manifestaciones” (DOF, 1996, p. 3).

11 Ver el artículo Technical standards in nanotechnology as an instrument of subordinated governance: Mexico case study (Anzaldo & Chauvet, 2016).

Las regulaciones para los nanomateriales se gestan a una velocidad muy inferior a la que entran estos materiales al mercado. Sobre todo, en los países cuyas regulaciones no se encuentran aún bien estructuradas. Esto puede dar lugar a que no se tenga el conocimiento científico necesario para actuar en un percance dado, lo que puede ocasionar que el daño se extienda a las personas y al ambiente (EEA, 2013a, p. 39). Un ejemplo contundente es el uso indiscriminado de plaguicidas y fertilizantes; productos que no indican claramente que nanomateriales los componen por estar patentados, esto puede conducir a que sus riesgos no sean del todo explícitos, pero no por ello, no deben ser gestionados (Lead et al., 2018, p. 2054).

Conclusiones

Las políticas públicas relacionadas con la gestión de las sustancias químicas en México comenzaron a desarrollarse en los años noventa; una gestión que ha sido comandada por distintas secretarías en el ámbito de sus competencias. La base legislativa del manejo de las sustancias químicas es el AR; aunque se puede considerar que es un instrumento limitado, porque la legislación mexicana solo obliga a los sujetos que manejan sustancias químicas contenidas en listados normativos a presentar evaluaciones de riesgo.

Aunque la CPEUM no menciona el PP, algunas leyes constitucionales ya lo incluyen en su estructura como es la Ley General de Cambio Climático y la Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable. Aun así, su uso en la práctica es nulo, rara vez este es tomado en cuenta, sobre todo en la regulación de actividades riesgosas o relacionadas con el desarrollo de nuevas tecnologías.

En el caso de los nanomateriales, su regulación no se encuentra diferenciada de la de las sustancias químicas convencionales. Sin embargo, es posible identificar algunas normas que, aunque no se especifique la palabra nano, pueden ser aplicables en la regulación de estos materiales; tal es el caso de la “NOM-048-SSA1-1993, Que

establece el método normalizado para la evaluación de riesgos a la salud como consecuencia de agentes ambientales” (DOF, 1996, p. 1). En general, la regulación de los nanomateriales es incipiente y no se aprecia de manera contundente la aplicación del AR o del PP; básicamente se compone de normas denominadas estándares que guían su gestión, empero, no son consideradas obligatorias, tal es el caso de la NMX-R-13830-SCFI-2014 una guía para el etiquetado de nano-objetos manufacturados y de productos que contengan nano-objetos manufacturados.

Nota: Este texto es parte del proyecto de investigación Ciencia Frontera no. 304320, financiado por el Consejo Nacional de Humanidades, Ciencia y Tecnología (CONAHCYT) de México.

Referencias

- Allied Market Research. (2023). *Nanomaterials market*. <https://www.alliedmarketresearch.com/nano-materials-market>
- Anzaldo, M., & Chauvet, M. (2016). Technical standards in nanotechnology as an instrument of subordinated governance: Mexico case study. *Journal of Responsible Innovation*, 3, 1-34. <https://doi.org/10.1080/23299460.2016.1196098>
- Beck, U. (1998). *La sociedad del riesgo: Hacia una nueva modernidad*. Paidós.
- Carabias, J., & Rabasa, A. (2017). Cien años de políticas y normatividad ambiental. UNAM.
- Diario Oficial de la Federación (DOF). (1917, 5 de febrero). *Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos*. <https://n9.cl/w173y>
- Diario Oficial de la Federación (DOF). (1990, 28 de marzo). *Acuerdo por el que las Secretarías de Gobernación y Desarrollo Urbano y Ecología expiden el primer listado de actividades altamente riesgosas*. <https://n9.cl/4jfrq>
- Diario Oficial de la Federación (DOF). (1992, 4 de mayo). *Acuerdo por el que las Secretarías de Gobernación y Desarrollo Urbano y Ecología expiden el segundo listado de actividades altamente riesgosas*. <https://n9.cl/7weepg>
- Diario Oficial de la Federación (DOF). (1993, 21 de diciembre). *Acuerdo de Cooperación Ambiental de América del Norte*. <https://n9.cl/olc>
- Diario Oficial de la Federación (DOF). (1996, 9 de enero). NOM-048-SSA1-1993, Que establece el método normalizado para la evaluación de riesgos a la salud como consecuencia de agentes ambientales. <https://n9.cl/dc26pk>
- Diario Oficial de la Federación (DOF). (2014, 28 de abril). NOM-010-STPS-2014, Agentes químicos contaminantes del ambiente laboral—Reconocimiento, evaluación y control. <https://n9.cl/no5jp5>
- Diario Oficial de la Federación (DOF). (2015, 11 de agosto). DECLARATORIA de vigencia de la Norma Mexicana NMX-R-13830-SCFI-2014. <https://n9.cl/vcj2t>
- Diario Oficial de la Federación (DOF). (2020, 1 de julio). *Ley de Infraestructura de la Calidad*. <https://n9.cl/ofjrb>

- Diario Oficial de la Federación (DOF). (2024, 1 de abril). *Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente*. <https://n9.cl/mv4wr>
- Eizagirre, A. (2011). La precaución como principio de acción sostenible. *Isegoría*, (44), 303-324. <https://doi.org/10.3989/isegoria.2011.i44.732>
- European Commission (EC). (2022). *Commission Recommendation of 10 June 2022 on the definition of nanomaterial*. Official Journal of the European Union.
- European Chemicals Agency (ECHA). (2024). *Key areas of regulatory challenge*. <https://n9.cl/o9pgn>
- European Environment Agency (EEA). (2013). *Late lessons from early warnings: Science, precaution, innovation. Summary* (Report No. 1/2013). <https://n9.cl/9ovax>
- European Environment Agency (EEA). (2019). *The European environment—State and outlook 2020: Knowledge for transition to a sustainable Europe*. Publications Office of the European Union.
- Lai, R. W. S., Yeung, K. W. Y., Yung, M. M. N., Djurišić, A. B., Giesy, J. P., & Leung, K. M. Y. (2018). Regulation of engineered nanomaterials: Current challenges, insights and future directions. *Environmental Science and Pollution Research*, 25(4), 3060-3077. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-9489-0>
- Lead, J. R., Batley, G. E., Alvarez, P. J. J., Croteau, M.-N., Handy, R. D., McLaughlin, M. J., Judy, J. D., & Schirmer, K. (2018). Nanomaterials in the environment: Behavior, fate, bioavailability, and effects—An updated review. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 37(8), 2029-2063. <https://doi.org/10.1002/etc.4147>
- Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD). (2020). *Moving towards a safe(r) innovation approach (SIA) for more sustainable nanomaterials and nano-enabled products*. OECD Environment, Health and Safety Publications.
- Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD). (2022). *Chemical accidents involving nanomaterials: Potential risks and review of prevention, preparedness and response measures – Project report* (Series on Chemical Accidents, No. 34). OECD Environment, Health and Safety Publications. <https://acortar.link/qwelll>
- Reimhult, E. (2017). Nanoparticle risks and identification in a world where small things do not survive. *NanoEthics*, 11(1), 1-8. <https://doi.org/10.1007/s11569-017-0305-6>

- Robles, R. (2020). *Desarrollo tecnológico, legislación ambiental y degradación del ambiente de la minería de México durante las dos primeras décadas del siglo XXI* [Tesis de maestría, Universidad Autónoma de Zacatecas].
- Sánchez-Bayo, F., & Wyckhuys, K. A. G. (2019). Worldwide decline of the entomofauna: A review of its drivers. *Biological Conservation*, 232, 8-27. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2019.01.020>
- Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks (SCENIHR). (2009). *Risk assessment of products of nanotechnologies*.
- Stirling, A. (2007). Risk, precaution and science: Towards a more constructive policy debate. *EMBO Reports*, 8(4), 309-315. <https://doi.org/10.1038/sj.embor.7400953>
- Thornton, J. (2000). Beyond risk: An ecological paradigm to prevent global chemical pollution. *International Journal of Occupational and Environmental Health*, 6(4), 318-330. <https://doi.org/10.1179/oeh.2000.6.4.318>
- United Nations (UN). (1992). *Declaración de Río sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo*. Departamento de Asuntos Económicos y Sociales, División de Desarrollo Sostenible. <https://n9.cl/bzsbm>
- Wiener, J. B., & Rogers, M. D. (2002). Comparing precaution in the United States and Europe. *Journal of Risk Research*, 5(4), 317-349. <https://doi.org/10.1080/13669870210153684>

Risk Analysis as the Guiding Principle in the Regulation of Chemical Substances and Nanomaterials in Mexico

A Análise de Risco como Eixo Norteador na Regulação de Substâncias Químicas e Nanomateriais no México

Ruth Robles

Universidad Autónoma de Zacatecas | Zacatecas | México

<https://orcid.org/0000-0001-7982-7673>

rroblesb@uaz.edu.mx

rroblesb@uaz.edu.mx

Doctora en estudios del desarrollo por la Universidad Autónoma de Zacatecas. Candidata SNI. Profesora-investigadora de la Universidad Autónoma de Zacatecas. Investiga temas relacionados con la problemática ambiental y su impacto en el desarrollo.

Abstract

The regulation of chemicals and nanomaterials is a task that presents great challenges. Governments have developed public policies to manage chemicals and nanomaterials, however, many of them have not had the expected success to the point that pollution continues to increase. This research analyzes the degree to which Mexican environmental regulation has adopted risk analysis and the precautionary principle in the regulation of chemicals and nanomaterials; two major paradigms. The results indicate that the supremacy granted to risk analysis is overwhelming, however, this methodology is limited and leaves the vast majority of chemicals on the market, including nanomaterials, without any characterization.

Keywords: precautionary principle; risk analysis; regulation; chemicals; nanomaterials.

Resumo

A regulação de substâncias químicas e nanomateriais é uma tarefa que apresenta grandes desafios. Os governos desenvolveram políticas públicas para gerir substâncias químicas e nanomateriais; entretanto, muitas delas não tiveram o sucesso esperado, a ponto de a contaminação continuar a aumentar. A presente pesquisa analisa o grau em que a regulação ambiental mexicana adotou a análise de risco e o princípio da precaução na regulação de substâncias químicas e nanomateriais; dois grandes paradigmas. Os resultados indicam que a supremacia concedida à análise de risco é contundente; no entanto, esta metodologia é limitada e deixa sem caracterização alguma a grande maioria das substâncias químicas no mercado, incluindo os nanomateriais.

Palavras-chave: Princípio da precaução; Análise de risco; Regulação; Substâncias químicas; Nanomateriais.

Capítulo 7

Estudio demográfico de Luxemburgo: enfoque migratorio ucraniano

Enoé Rodríguez Jonguitud, Marlen Hernández Ortiz, Sandra Verónica García Cabrera

Resumen

Este estudio examina el impacto de la migración en la estructura poblacional de Luxemburgo, un país pequeño con una proporción de migrantes de 47.4% de su población total. A través de datos del Institute National De La Statistique Et Des Études Économiques (STATEC), se analizan los flujos migratorios, especialmente los derivados de eventos sociopolíticos como la invasión rusa de Ucrania, que ha generado un aumento significativo de migrantes ucranianos en el país. El análisis destaca cómo la migración ha sido un motor fundamental para el crecimiento demográfico y la expansión del mercado laboral luxemburgués, donde los migrantes, especialmente de la Unión Europea y de fuera de ella, desempeñan un papel crucial. Además, se examinan los desafíos que enfrentan los migrantes en su integración laboral.

Palabras clave:
migración;
Luxemburgo;
estructura
poblacional;
integración laboral.

Rodríguez Jonguitud, E., Hernández Ortiz, M., & García Cabrera, S. V. (2026). Estudio demográfico de Luxemburgo: enfoque migratorio ucraniano. En J. Martínez Pérez, M. Hernández Ortiz, & I. Ortiz Medina, (Coords). *Desafíos contemporáneos. Un análisis multiescalar de la tecnología, la sociedad y el territorio*. (pp. 183-209). Religación Press. <http://doi.org/10.46652/religacionpress.363.c789>



Introducción

Luxemburgo es uno de los países más pequeños de Europa, ocupando el puesto 167 a nivel mundial de los 195 países reconocidos. Conocido como el Gran Ducado, su territorio es mayormente montañoso, con extensas áreas boscosas que incluyen numerosas zonas naturales protegidas (Oficina de Información Diplomática, 2023). Con una superficie de 2,586 km², Luxemburgo es un país sin litoral. La capital, que lleva su nombre, cuenta con aproximadamente 76,000 habitantes (Oficina de Información Diplomática, 2023). A nivel administrativo, el país se organiza en 105 municipios. Los idiomas oficiales son el luxemburgués, el francés y el alemán, reflejando su rica diversidad cultural.

El Gran Ducado de Luxemburgo se ha distinguido en las últimas décadas por su extraordinario dinamismo demográfico y económico, cuyo principal motor ha sido y sigue siendo la migración (STATEC, 2023c). Si bien la llegada de población extranjera tiene antecedentes históricos, el flujo migratorio incrementó a partir de mediados de los años ochenta, coincidiendo con el auge del sector financiero y de servicios. La expansión de esta nueva base productiva generó una necesidad persistente de mano de obra que fue suplida, en su mayoría, por trabajadores de otras nacionalidades (STATEC, 2023c). Ello propició un flujo migratorio continuo y elevado que situó el saldo migratorio neto luxemburgués muy por encima del promedio de la UE-27 (STATEC, 2023a). Como resultado, la población del país se ha duplicado desde 1981 (STATEC, 2023a; STATEC, 2023b).

Además de la migración por motivos laborales, Luxemburgo acoge cada año entre 2.000 y 2.500 refugiados (Kuttler & Moraglio, 2021). En años recientes, los eventos geopolíticos como la guerra en Ucrania han tenido un impacto directo y visible en los flujos migratorios hacia Luxemburgo, con una llegada importante de nacionales ucranianos en 2022 que influyó en el saldo migratorio de ese año (STATEC, 2023a).

Estudio demográfico de Luxemburgo

Junto con la inmigración permanente, el mercado laboral luxemburgués ha captado, desde finales de la década de 1980, un flujo cada vez mayor y sostenido de trabajadores transfronterizos que ingresan diariamente desde los países vecinos. Al cierre del cuarto trimestre de 2022, estos asalariados representaban el 47 % de los 479.000 empleados registrados en Luxemburgo (STATEC, 2023c).

Esta historia migratoria ha forjado una población notablemente diversa, con una de las proporciones más altas de residentes extranjeros en Europa. Luxemburgo es descrito como un país con una amplia gama de nacionalidades, albergando hasta 180 diferentes (STATEC, 2023c). Hoy en día, alrededor del 50% de la población de Luxemburgo está compuesta por extranjeros, quienes desempeñan un papel crucial en la economía del país (STATEC, 2023a). Este flujo constante de migrantes ha sido un factor determinante en la dinámica poblacional y económica, aportando no solo a la fuerza laboral, sino también enriqueciendo el tejido social y cultural del Gran Ducado.

El objetivo del trabajo es exponer un análisis demográfico comparativo del cómo la inmigración ha influido en el crecimiento demográfico de Luxemburgo, utilizando datos desde 1981 enfatizando en los años 2022 y 2023. La contribución está dirigida a las investigaciones sociodemográficas de países relativamente pequeños (< 3,000 km²) y que inclusive son más pequeños que algunos estados, como es el caso de Tlaxcala, México.

Metodología

Los cálculos realizados se describen a continuación:

La tasa de crecimiento r .

$$r = \frac{P_{t+1} - P_t}{\frac{(P_t + P_{t+1})}{2}}$$

Ecuación 1

Donde:

P_t es la población en el año t .

P_{t+1} es la población en el año $t+1$.

- La tasa bruta de natalidad n .

$$n = \frac{N_{t,t+1}}{\frac{P_t + P_{t+1}}{2}}$$

Ecuación 2

Donde:

$N_{t,t+1}$ son los nacimientos entre los años t y $t+1$.

- La tasa bruta de mortalidad m .

$$m = \frac{D_{t,t+1}}{\frac{P_t + P_{t+1}}{2}}$$

Ecuación 3

Donde:

$D_{t,t+1}$ son las defunciones entre los años t y $t+1$.

- La tasa de crecimiento natural.

$$Tasa\ de\ crecimiento\ natural = n - m$$

Ecuación 4

- La tasa bruta de crecimiento migratorio a.

$$a = \frac{A}{\frac{P_t + P_{t+1}}{2}}$$

Ecuación 5

Donde:

A es la migración neta.

- El crecimiento migratorio neto.

$$I - E = A - (N - D)$$

Ecuación 6

El análisis adicional fue realizado a partir de datos e índices que se extrajeron directamente de la información publicada por el Instituto Nacional de Estadística y Estudios Económicos del Gran Ducado de Luxemburgo (STATEC, 2024).

Generalidades de la población

A principios de 2022, la población de Luxemburgo ascendía a aproximadamente 645,397 habitantes, cifra que se incrementó a 660,809 para el 1 de enero de 2023 (STATEC, 2024). Este aumento de 15,412 habitantes representa una tasa de crecimiento del 2.4% durante el año 2022. En ese mismo año, la tasa bruta de natalidad fue del 0.99%, mientras que la tasa bruta de mortalidad se situó en 0.68%. Aplicando la Ecuación 4, se obtiene una tasa de crecimiento natural de 0.31%. Este indicador refleja el balance entre nacimientos

y defunciones, muestra una ligera tendencia al crecimiento en la población luxemburguesa.

Sin embargo, al observar estas tasas, da indicios que el crecimiento poblacional no se debe exclusivamente al saldo natural entre nacimientos y defunciones. La diferencia entre la tasa de crecimiento total y la tasa de crecimiento natural sugiere que la migración u otro fenómeno demográfico ha jugado un papel fundamental en el aumento de la población.

En la Tabla 1 se muestra el total de la población de Luxemburgo por nacionalidad, donde el 47.4% de los habitantes del Gran Ducado son extranjeros a inicios del 2023. Este dato refleja el notable aumento de la proporción de residentes no nacionales a lo largo de las últimas décadas, una tendencia que ha sido constante desde 1981, cuando solo el 26.3% de la población era extranjera.

En la Tabla 1, se observa como el crecimiento de la población extranjera en Luxemburgo ha aumentado considerablemente. En 1981, el número de residentes extranjeros era de 95,789, mientras que para 2023, este número se ha triplicado, alcanzando los 313,407. Este incremento destaca la gran representación de la migración en la configuración demográfica del país. Comparativamente, la población luxemburguesa también ha crecido, pero a un ritmo mucho más lento. En 1981, había 268,813 luxemburgueses, y para 2023, este número ha aumentado a 347,402, lo que representa un crecimiento de aproximadamente el 29%. En contraste, la población extranjera creció un 227% en el mismo período.

Tabla 1. Total, población de Luxemburgo por nacionalidad

Año	1981	1991	2001	2011	2023
Total	364,602	384,634	439,539	512,353	660,809
Mujeres	186,733	196,064	222,998	257,386	332,444
Hombres	177,869	188,570	216,541	254,967	328,365
Por nacionalidad					
Luxemburgués	268,813	269,269	277,254	291,831	347,402
Extranjeros	95,789	114,152	162,285	220,522	313,407
Desconocido	-	1,213	-	-	-
Proporción de extranjeros	26.30%	29.40%	36.90%	43.00%	47.40%

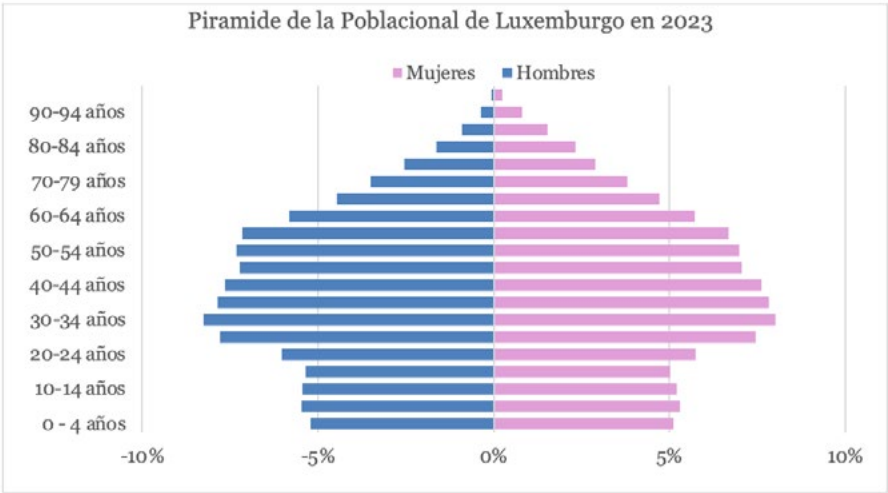
Fuente: STATEC (2023a).

El crecimiento demográfico impulsado por la migración se refleja también en la estructura demográfica del país. En los siguientes dos apartados se hace un análisis al respecto.

Pirámide poblacional

La pirámide de edades de 2023 se caracteriza principalmente por una base estrecha que se ensancha considerablemente en la parte media antes de estrecharse nuevamente en la cima (ver figura 1). Este fenómeno se explica en gran medida por los migrantes que se establecen en Luxemburgo por motivos profesionales. No obstante, la diferencia de proporción en los grupos de edad propone la idea de futuros desafíos, particularmente en lo que respecta al envejecimiento de la población y la necesidad de planificación para el cuidado de una población mayor, predominantemente femenina.

Figura 1. Pirámide poblacional de Luxemburgo (2023).

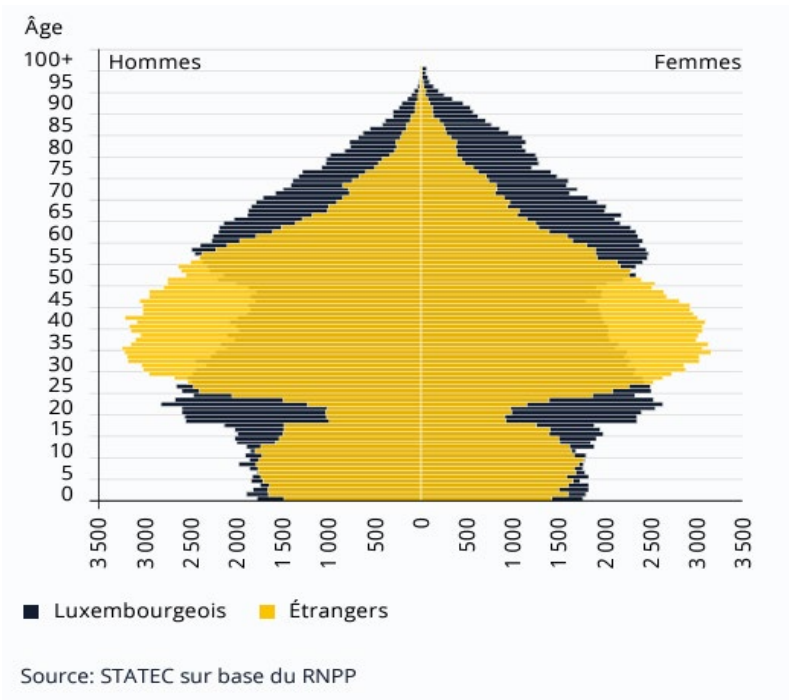


Fuente: STATEC (2024).

Al 1 de enero de 2023, la edad media de la población general es de 40.5 años para las mujeres y de 39.1 años para los hombres. Los habitantes extranjeros son más jóvenes que los luxemburgueses. La edad media de las mujeres luxemburguesas es de 42.3 años, en comparación con 38.4 años para las mujeres extranjeras. Para los hombres luxemburgueses, la edad media es de 40.0 años, frente a 38.1 años para los extranjeros (STATEC, 2023c).

En la figura 2, al superponer la pirámide de edades de los extranjeros y los nacionales, se observa que la proporción de extranjeros en los grupos de edad de 0 a 19 años es inferior. Posteriormente, para las clases de edad de 30 a 54 años, la población extranjera está sobrerrepresentada (el 60.8% de los individuos de 40-44 años son extranjeros). A partir de los grupos de edad de 55 años en adelante, la proporción de la población luxemburguesa vuelve a superar a la de los extranjeros. La proporción de población extranjera disminuye y se vuelve muy baja en edades muy avanzadas (30.7% de personas de nacionalidad extranjera a partir de los 65 años y solo el 18.8% a partir de los 90 años) (STATEC, 2023c; STATEC, 2023b).

Figura 2. Pirámide poblacional de Luxemburgo a 1 de enero 2023, por nacionalidad



Fuente: STATEC (2023c).

Flujo migratorio

El saldo migratorio es el principal motor del crecimiento demográfico en Luxemburgo. Durante los últimos diez años, la tasa de saldo migratorio neto en Luxemburgo (16.8% por año) ha sido superior a la media de la Unión Europea (UE) con 3.2%. Este saldo migratorio está estrechamente relacionado con el desempeño económico del país: los períodos de fuerte crecimiento económico, como en los años 60, 70 y a partir de los 80, han coincidido con altos saldos migratorios. Por otro lado, las recesiones económicas han reducido este saldo, como se vio durante las crisis de los años 70/80, 2001/2003 y, más recientemente, durante la pandemia de COVID-19 (STATEC, 2023a).

Desde 2004, el saldo migratorio en Luxemburgo ha mostrado una tendencia creciente, manteniéndose elevado a pesar de la crisis financiera de 2009. Después de una ligera disminución en 2009, el saldo migratorio volvió a subir, alcanzando 21.2% en 2011. Sin embargo, la pandemia afectó esta tendencia, reduciendo el saldo migratorio a 10.7% en 2020. A partir de 2022, el saldo migratorio aumentó de nuevo (STATEC, 2023a; STATEC, 2023b).

Por otro lado, la tasa de emigración también ha aumentado. Entre 2013 y 2022, el número de inmigrantes aumentó en un 49% (de 21,098 a 31,433), mientras que la emigración creció en un 60.3% (de 10,750 a 17,227) (STATEC, 2024).

En 2022, Luxemburgo recibió a 31,433 personas, simultáneamente, se registraron 17,227 salidas internacionales. El saldo migratorio, que es la diferencia entre el número de inmigrantes y emigrantes, fue de 14,206 personas. Los hombres son ligeramente más numerosos tanto en la inmigración a Luxemburgo (16,131, 51.3%) como en la emigración al extranjero (9,345, 54.2%). La ciudad de Luxemburgo alberga la mayor proporción de nacidos en el extranjero: en 2021 el 72,7 % de sus residentes procedía de otros países. Este núcleo urbano concentra sobre todo inmigrantes de los Estados vecinos y de diversos países europeos, atraídos por la oferta de empleo y los servicios que se concentran en la capital (Docquier et al., 2024).

Origen de los migrantes

Al 1 de enero de 2023, la cantidad de personas extranjeras que residían en Luxemburgo fue de 313,407, representando el 47.4% de la población total del país. Este grupo diverso se compone principalmente de ciudadanos de los Estados miembros de la Unión Europea (UE), quienes constituyen el 78.4% de la población extranjera.

Los portugueses son la comunidad extranjera más grande en Luxemburgo, seguidos por los franceses y los italianos. Además, los

ciudadanos de otros países europeos constituyen el segundo grupo más grande de extranjeros en el país, representando el 7.4% de la población extranjera, con los ucranianos y británicos a la cabeza.

El tercer grupo más grande de extranjeros proviene de países asiáticos, representando el 6.4% de la población extranjera en Luxemburgo, con los indios y chinos como las nacionalidades más presentes. Los ciudadanos de África y América ocupan el cuarto (5.0%) y quinto (2.6%) lugar, respectivamente, entre los grupos extranjeros más representados. Dentro de estos grupos, los caboverdianos y eritreos destacan en la población africana, mientras que los brasileños y estadounidenses lideran la población americana. Los ciudadanos de Oceanía, apátridas y aquellos con nacionalidad desconocida constituyen una proporción relativamente marginal de la población extranjera (STATEC, 2023c; STATEC, 2023b).

La comunidad portuguesa, por su parte, se asienta principalmente en el sur del país, donde se encontraba la antigua cuenca minera, y, en menor medida, en el noreste. Su distribución actual refleja los enclaves formados por las primeras oleadas migratorias y la posterior reunificación familiar (Docquier et al., 2024).

Los nacionales de fuera de la UE-27 se localizan sobre todo en Luxemburgo, Esch-sur-Alzette, Wiltz y sus periferias. Este patrón de distribución obedece, en parte, a la presencia de centros de acogida de refugiados y a la disponibilidad de vivienda asequible en esas zonas (Docquier et al., 2024).

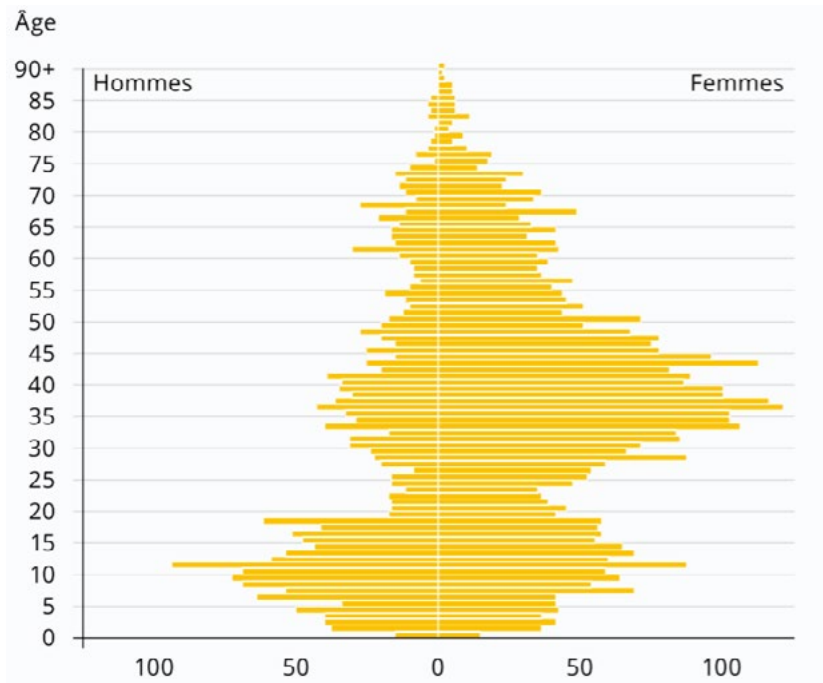
Por último, los migrantes con más de veinte años de residencia en el país muestran un patrón mucho más disperso. Con el tiempo, estas personas tienden a reubicarse lejos de los puntos de llegada iniciales, siguiendo oportunidades laborales y mejorando sus condiciones de vivienda; ello se observa, por ejemplo, en las comunidades portuguesa e italiana, cuyos integrantes se han extendido por todo el territorio nacional (Docquier et al., 2024).

Migración ucraniana

Durante el año 2022, Luxemburgo recibió a 4,268 ucranianos, marcando un aumento importante en comparación con años anteriores: 159 llegaron en 2021, 128 en 2020 y 161 en 2019. Este incremento fue especialmente notable entre marzo y abril de 2022, con un crecimiento del 125% al inicio de la guerra. Durante el segundo trimestre del 2022, la población ucraniana continuó en aumento, llegando a 5,186 individuos para mediados de diciembre de 2022 (STATEC, 2023c).

En la figura 3 se observa la composición de la población ucraniana en Luxemburgo. Destaca que las mujeres representan el 67.6% de esta población, y que hay una proporción considerable de personas entre los 5 y 20 años. Esto sugiere que la mayoría de los migrantes fueron niños y mujeres. Se podría plantear la suposición de que estas mujeres acompañadas de sus hijos buscaron refugio u oportunidades en Luxemburgo debido a condiciones adversas en su país de origen. Cuya composición de migrantes ucranianos puede influir en futuras políticas y servicios sociales dirigidos a niños y mujeres.

Figura 3. Pirámide poblacional de ucranianos residiendo en Luxemburgo al 1ero de enero del 2023



Fuente: STATEC (2023c).

En el mercado laboral, los beneficiarios de protección temporal han ido incorporándose de forma paulatina: en julio de 2023 superaban las 1 000 personas ocupadas, aunque la tasa de desempleo entre los extranjeros extracomunitarios, categoría que incluye a los ucranianos, continúa siendo la más elevada del país. Para facilitar la integración, Luxemburgo mantiene un sistema de acogida gestionado por la Oficina Nacional de Acogida (ONA, por sus siglas en francés), que proporciona alojamiento, supervisión social y transporte público gratuito a los solicitantes de protección internacional. La ubicación de los centros de acogida condiciona, por ende, el mapa residencial de los refugiados (European Migration Network (EMN), 2023a) (European Migration Network (EMN) & University of Luxembourg, 2023b).

La llegada de personas procedentes de Ucrania transformó el panorama migratorio luxemburgués tras la invasión rusa de 2022. El cambio de flujo migratorio se produjo gracias a la aplicación en Luxemburgo de la Directiva europea de Protección Temporal, que otorga residencia inmediata y acceso a servicios básicos a quienes huyen del conflicto (European Migration Network (EMN) & University of Luxembourg, 2023b).

El Gobierno centralizó el registro en una ventanilla única gestionada por la ONA y remodeló su red de centros de recepción (European Migration Network (EMN) & University of Luxembourg, 2023b); ello explica que casi un tercio de los refugiados se concentre en la capital y otro 17 % en Esch-sur-Alzette, mientras que las regiones del norte apenas albergan un 4 % (STATEC, 2023c).

Pese a que el 73 % de los recién llegados posee título universitario, las barreras lingüísticas (el 60 % no habla francés y el 90 % no maneja alemán) dificultan la convalidación de credenciales y obligan con frecuencia a aceptar empleos por debajo de su formación; aun así, a mediados de 2023 ya trabajaban más de mil personas con estatus de protección temporal (European Migration Network (EMN) & University of Luxembourg, 2023b). Para mejorar su inserción se han ampliado los cursos de formación profesional en francés e inglés y se han reforzado los programas de orientación escolar y cívica (European Migration Network (EMN), 2023a).

Entre enero y junio de 2023 las autoridades revocaron 47 permisos al constatar que los beneficiarios se habían trasladado a otro Estado miembro, y 261 personas renunciaron voluntariamente a la protección, aunque se desconoce si retornaron a Ucrania o se reasentaron en otro país (European Migration Network (EMN) & University of Luxembourg, 2023b). Luxemburgo destina 27,8 millones de euros del Fondo de Asilo, Migración e Integración 2021-2027, un 30 % para integración, y mantiene un marco robusto contra la trata de personas. El resultado es una integración gradual pero efectiva que contribuye al dinamismo demográfico y económico

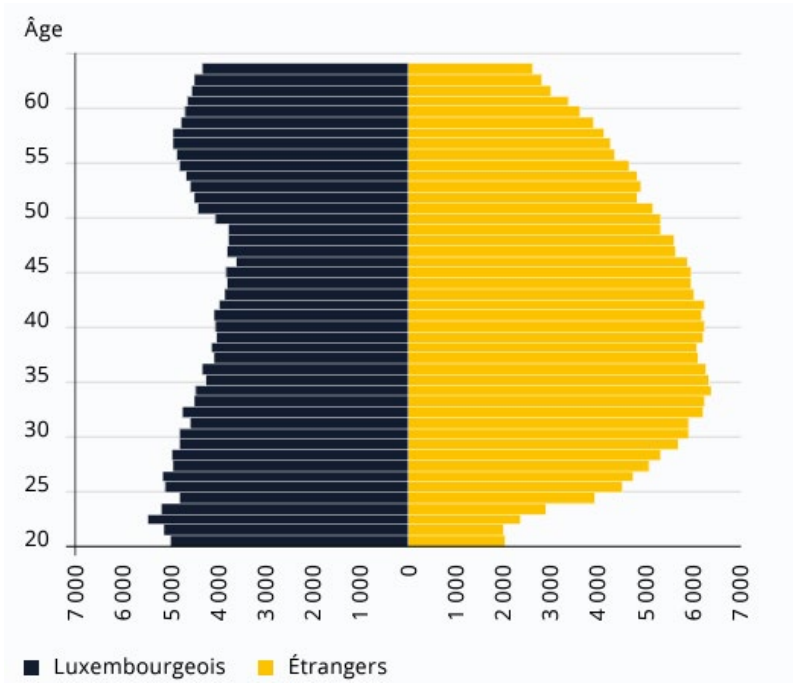
del Gran Ducado, a la vez que plantea retos sostenidos en vivienda, empleo cualificado y aprendizaje de idiomas (European Migration Network (EMN), 2023a).

Migrantes y su situación laboral

La proporción de la población en edad de trabajar (20-64 años) es más alta en Luxemburgo (64.2%) en comparación con la media europea (58.7%). La menor proporción de envejecimiento en Luxemburgo, en comparación con otros países europeos, se debe en gran parte a la inmigración, que rejuvenece la población del país. La inmigración en Luxemburgo es predominantemente laboral, lo que explica porque el 41.8% de los extranjeros tienen entre 20 y 44 años, en contraste con solo el 32.9% de los luxemburgueses en ese rango de edad (STATEC, 2023c).

En la figura 4, se puede ver la composición de la población que puede formar al mercado laboral (20 a 64 años), por edad y origen. El lado amarillo, que representa a los extranjeros, es más grande que los locales, en teoría la mayor parte de la fuerza laboral será parte de la sección extranjera de la población.

Figura 4. Población entre 20 a 64 años, por origen



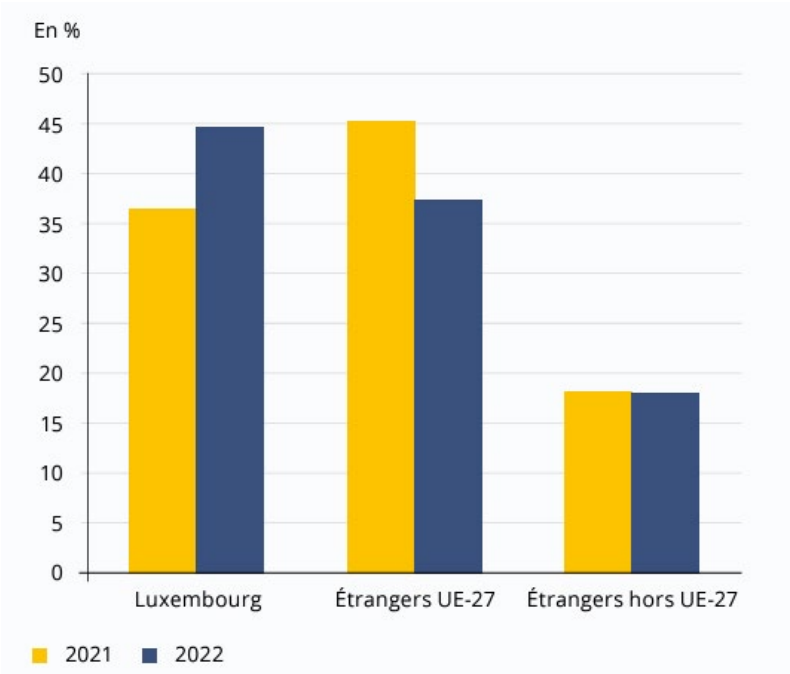
Fuente: STATEC (2023c).

En 2022, la tasa de desempleo entre los migrantes de países fuera de la UE fue significativamente alta, alcanzando un 14.8% (STATEC, 2023c). Esto refleja las mayores dificultades que enfrentan estos migrantes para integrarse en el mercado laboral luxemburgués, debido a factores como barreras lingüísticas, falta de reconocimiento de las habilidades profesionales y posible discriminación.

En la Figura 5, se muestra la distribución de porcentajes del desempleo por grupo migratorio. Por primera vez, en 2022 la tasa de desempleo de los nacionales luxemburgueses no fue inferior a la de los residentes extranjeros de la UE (STATEC, 2023c). Este cambio marca una evolución significativa en la dinámica del empleo en Luxemburgo, sugiriendo que las luxemburguesas enfrentan una mayor competencia en el mercado laboral, posiblemente debido al aumento de trabajadores extranjeros en el país. Además, desde el

2020, la proporción de desempleados luxemburgueses ha aumentado considerablemente. En 2022 casi la mitad de las personas que buscaban empleo eran locales, este incremento podría estar relacionado con cambios económicos, el impacto de la pandemia, y una mayor competencia laboral.

Figura 5. Distribución de desempleados por grupo migratorio



Fuente: STATEC (2023c).

Gran parte de la actividad económica y los empleos se concentran hoy en día en y alrededor de la ciudad de Luxemburgo. Esta concentración económica tiene un profundo impacto en la demografía y la movilidad del país, atrayendo personas y bienes, pero también generando una significativa movilidad transfronteriza. Casi el 45% de la fuerza laboral nacional, que asciende a aproximadamente 432.000 personas, se desplaza diariamente entre Luxemburgo y las regiones vecinas en Bélgica, Francia y Alemania (Kuttler & Moraglio, 2021; ADEM, 2024).

La dinámica de la migración y los desplazamientos diarios influye directamente en la estructura demográfica y espacial de Luxemburgo. El alto coste de la vivienda, especialmente en la capital y sus alrededores, a menudo empuja a los residentes con menores ingresos, incluyendo a muchos migrantes, a buscar opciones de vivienda menos costosas en zonas rurales o al otro lado de la frontera (Kuttler & Moraglio, 2021). Esta situación, donde la elección de la vivienda está fuertemente influenciada por factores económicos y espaciales, tiene implicaciones significativas para la movilidad diaria de las personas. Los migrantes, junto con las personas que viven en áreas rurales remotas o desfavorecidas, se encuentran entre los grupos con mayor riesgo de enfrentar pobreza de movilidad en Luxemburgo. Esto subraya cómo la migración no solo altera la composición de la población, sino que también interactúa con otros factores socioeconómicos y espaciales para definir los patrones de movilidad y las desigualdades dentro del Gran Ducado y su región circundante (Kuttler & Moraglio, 2021).

A partir del 1 de septiembre de 2023, Luxemburgo implementó una nueva ley para abordar la escasez de mano de obra cualificada, lo que afecta a sectores clave como la informática, la salud, la ingeniería, las finanzas y ciertos oficios de la construcción. Esta ley facilita el acceso al mercado laboral para ciertos grupos de nacionales de terceros países, como los familiares de residentes por reagrupación familiar, quienes ahora pueden trabajar sin necesidad de permiso adicional. También se agilizan los trámites para solicitantes de protección internacional y aquellos con permisos de aplazamiento o suspensión de expulsión. Además, la duración de los permisos de residencia para búsqueda de empleo o creación de empresa se amplía de 9 a 12 meses (ADEM, 2024; Le ministère des Affaires étrangères et européennes et le ministère du Travail, de l'Emploi et de l'Economie sociale et solidaire, 2023).

A pesar de estas medidas, los migrantes, especialmente los nacionales de fuera de la UE, siguen estando entre los más expuestos

a la pobreza laboral en Luxemburgo. Los trabajadores migrantes provenientes de países fuera de la UE son los más vulnerables al riesgo de pobreza en Luxemburgo, con una tasa del 36%. Los trabajadores portugueses también enfrentan un riesgo significativo, con una tasa del 24%. La pobreza laboral está concentrada en sectores específicos como la construcción (16.5%), la hostelería y restauración (14.0%), la salud y acción social (13.2%), y el comercio (10.4%). Como se puede observar en la Figura 5 el desempleo de este grupo migratorio no ha tenido cambios relevantes en los años de estudio (2021 y 2022) (STATEC, 2023c).

El empleo en Luxemburgo presenta una clara segmentación: los migrantes, especialmente los de fuera de la UE, tienden a concentrarse en contratos temporales y de menor duración, lo que contribuye a la inestabilidad laboral. Esto se ve reflejado en la mayor prevalencia de contratos de duración determinada (CDD) entre los trabajadores extranjeros y aquellos con menor nivel educativo (STATEC, 2023c).

Si bien, la migración laboral es vista en muchos países de la OCDE como una herramienta para mitigar la escasez de mano de obra, la integración efectiva de los migrantes sigue siendo un desafío. A pesar de la mejora en las tasas de empleo de los inmigrantes en la última década, estos aún tienen tasas de empleo más bajas que la población nativa, y las brechas de habilidades son notorias. Los migrantes ucranianos, por ejemplo, experimentan una integración relativamente rápida, pero siguen enfrentando altos niveles de desempleo en comparación con otros grupos de refugiados (OECD, 2024).

En Luxemburgo, los migrantes enfrentan diversas barreras que dificultan su plena integración en el mercado laboral, incluso después de obtener el estatus de refugiado. Estas dificultades abarcan aspectos legales, sociales y estructurales, y requieren una atención integral para promover una inclusión efectiva (Kuttler & Moraglio, 2021).

En relación con los demandantes de empleo, las nuevas inscripciones a la Agencia de desarrollo del empleo (Agence pour le développement de l'emploi, ADEM) de personas no residentes (una categoría que abarca tanto a trabajadores fronterizos como a algunos inmigrantes) durante 2023 fueron de 6.068 (ADEM, 2024). Se mostró un notable incremento en la proporción de nacionales de terceros países con competencias profesionales, cuya representación se ha duplicado en los últimos diez años. Las nacionalidades más representadas en esta categoría incluyen a los ucranianos, indios y brasileños.

En cuanto a las características de los extranjeros demandantes de empleo con competencia profesional, se observa que suelen ser principalmente mujeres jóvenes. Además, suelen tener un título de licenciatura en lugar de un máster. La mayoría de estos migrantes se orienta hacia sectores como la informática (IT), pero también en áreas que no requieren cualificación superior, como la limpieza, la ayuda a personas o la producción culinaria (ADEM, 2024).

En general, existen varios obstáculos específicos para la inserción laboral de los nacionales de países no miembros de la UE con habilidades profesionales (ADEM, 2024):

- **Idiomas:** aunque la mayoría domina el inglés, no siempre a un nivel suficientemente avanzado para sectores como la informática o las finanzas. Menos de la mitad de esta población habla francés (y menos del 20% a nivel avanzado), y pocos dominan el alemán o el luxemburgués, idiomas esenciales en algunos sectores. La competencia con candidatos que tienen un mejor dominio de las lenguas oficiales del país representa una barrera significativa.
- **Reconocimiento de diplomas:** los diplomas obtenidos fuera de la UE no siempre son reconocidos ni valorados por los empleadores luxemburgueses, lo que puede limitar las oportunidades laborales en áreas especializadas.

- **Experiencia:** la experiencia laboral y los conocimientos adquiridos fuera de la UE no siempre son transferibles, especialmente en sectores regulados como la salud, donde se exige la validación de títulos y experiencia previa local.
- **Sectores regulados:** para ejercer profesiones relacionadas a la salud y el ámbito social, los migrantes deben cumplir con requisitos adicionales, como la validación de sus diplomas y la certificación de su dominio de los idiomas oficiales.
- **Autorización de trabajo:** algunos migrantes no tienen autorización para trabajar. Aunque la nueva ley, vigente desde el 1 de septiembre de 2023, facilita el acceso al empleo para ciertos grupos, como los cónyuges y miembros de la familia, algunos grupos no están cubiertos por esta ley.
- **Red profesional:** muchos de estos migrantes no han tenido la oportunidad de construir una red profesional en Luxemburgo, lo que constituye un obstáculo adicional en su búsqueda de empleo.

Adicionalmente, los migrantes en situación irregular (sin permisos de residencia adecuados) no pueden encontrar trabajos legales, por lo que algunos recurren al trabajo irregular o ilegal, por ejemplo, en el sector de la construcción. Una vez concedido el estatus de refugiado, muchos enfrentan una situación financiera precaria. Aunque algunos logran acceder al mercado laboral, a menudo se emplean en trabajos precarios o de baja remuneración (Kuttler & Moraglio, 2021; Oliveira et al., 2024).

La discriminación basada en el origen étnico, el idioma o el estatus migratorio también persiste en el ámbito laboral, afectando las perspectivas de empleo y la calidad de los trabajos disponibles para los migrantes. Además, la falta de redes profesionales y apoyo familiar puede dificultar aún más su integración y movilidad social (Oliveira et al., 2024).

En términos educativos, los niños migrantes a menudo enfrentan una transición doble, pasando de un sistema educativo a otro, lo que puede llevar a una segmentación social y limitar sus oportunidades futuras. Esto, a su vez, puede perpetuar las desigualdades y afectar la independencia financiera de las familias migrantes (Oliveira et al., 2024). La falta de correspondencia entre la ubicación de la vivienda y las oportunidades de empleo también representa una carga adicional. Los altos costos de transporte o las conexiones inadecuadas pueden dificultar el acceso al trabajo o la educación, especialmente para aquellos con recursos limitados (Kuttler & Moraglio, 2021; Oliveira et al., 2024).

Nacionalización (Naturalización)

En Luxemburgo, los “extranjeros” se refieren a los residentes que no poseen la nacionalidad luxemburguesa. Tradicionalmente, las personas nacidas en Luxemburgo de padres extranjeros no adquirirían automáticamente la nacionalidad luxemburguesa, lo que limitaba su integración formal en la sociedad luxemburguesa. Las reformas recientes de naturalización han simplificado significativamente el acceso a la ciudadanía. Una de las reformas más importantes ha sido la reducción del tiempo de residencia necesario para solicitar la nacionalidad (STATEC. (2023c; Docquier et al., 2024).

Estas reformas han resultado en un aumento considerable en el número de naturalizaciones, lo que ha reducido la proporción de extranjeros en la población total. Este proceso de naturalización no solo ha promovido una mayor integración y cohesión social, sino que también ha transformado la estructura demográfica de Luxemburgo, creando un equilibrio más pronunciado entre ciudadanos luxemburgueses y extranjeros.

Considerando que la capital de Luxemburgo alberga a un 70% de residentes no luxemburgueses de más de 160 países (Boesen et al., 2023). Esto implica que la distribución geográfica de los migrantes

afecte las disparidades en el crecimiento y la estructura demográfica, así como las necesidades de servicios públicos. Además, puede tener un impacto importante en las economías locales al modificar la demanda de bienes y servicios, y generar dinámicas económicas específicas (Docquier et al., 2024).

Conclusiones

Luxemburgo se encuentra en una fase de constante transformación, especialmente en términos demográficos y en la integración de su creciente población migrante. Las recientes reformas en el proceso de naturalización, que facilitan el acceso a la ciudadanía, previsiblemente reducirán el número de residentes “extranjeros” en los próximos años. Este avance refleja el compromiso del país con la integración y la construcción de una sociedad más cohesionada.

Es notable que alrededor del 50% de la población del Gran Ducado sean migrantes, quienes desempeñan un papel crucial en la fuerza laboral. Esto subraya la importancia de la migración para la economía luxemburguesa, pero también plantea desafíos en materia de políticas sociales y laborales. Para abordar el desempleo y la pobreza, es esencial implementar políticas que fomenten la formación y el desarrollo de habilidades, permitiendo a los migrantes acceder a empleos de mayor calidad y estabilidad, lo que a su vez facilitará una integración socioeconómica más efectiva.

En conclusión, el porvenir de Luxemburgo dependerá de su habilidad para adaptarse a los cambios demográficos y económicos que se describieron en este trabajo, garantizando que tanto los ciudadanos nacionales como los migrantes prosperen en un entorno cada vez más dinámico y diverso.

Este análisis aporta a la retroalimentación de la dinámica demográfica que tienen los demás países de mayor o menor superficie, como es el caso de la situación migratoria que hoy enfrenta México.

Referencias

ADEM. (2024). *Rapport annuel 2023*.

Boesen, E., Budach, G., Albert, I., Murdock, E., Nienaber, B., & Barros, S. (2023). Migration and conviviality: Living with difference in Luxembourg. *Human Arenas*, 8, 461–479. <https://doi.org/10.1007/s42087-023-00363-5>

Docquier, F., Szymanska, A., Gerber, P., Ferro, Y., & Schiel, K. (2021). *Répartition géographique des immigrés au Luxembourg: Dynamiques et ségrégation spatiale avec les natifs*.

Docquier, F., Szymanska, A., & Chauvel, L., Le Bihan, E. (2024). *L'arrière-plan migratoire de la population du Grand-Duché de Luxembourg: Structure et implications démographiques*.

European Migration Network (EMN). (2023a). *Annual report on migration and asylum*.

European Migration Network (EMN) & University of Luxembourg. (2023b). The application of the Temporary Protection Directive in Luxembourg: Challenges and good practices in 2023. <https://www.emn-luxembourg.lu>

Kuttler, T., & Moraglio, M. (2021). *Re-thinking mobility poverty; Understanding users' geographies, backgrounds and aptitudes*. Routledge.

Le ministère des Affaires étrangères et européennes et le ministère du Travail, de l'Emploi et de l'Economie sociale et solidaire. (2023). Communiqué du ministère des Affaires étrangères et européennes et du ministère du Travail, de l'Emploi et de l'Economie sociale et solidaire. <https://www.guichet.lu>

OECD. (2024). *International migration outlook 2024*. OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/50b0353e-en>

Oficina de Información Diplomática. (2023). *Ficha país: Gran Ducado de Luxemburgo*.

Oliveira, J., Nienaber, B., Bissinger, J., Gilodi, A., Richard, C., & Albert, I. (2024). Double transition of young migrants in Luxembourg: Vulnerable, resilient and empowering integration trajectories in the period of youth. *Frontiers in Sociology*, 9. <https://doi.org/10.3389/fsoc.2024.1394000>

STATEC. (2023a). La démographie Luxembourgeoise en chiffres. <https://www.statistiques.lu>

STATEC. (2023b). *Le Luxembourg en chiffres*.

STATEC. (2023c). Rapport travail et cohésion sociale Digitalisation, inégalités et risque de pauvreté (Analyses 2-2023). <https://www.statec.lu>

STATEC. (2024). *Statistics portal – Luxembourg*.

Demographic Study of Luxembourg: A Focus on Ukrainian Migration

Estudo demográfico do Luxemburgo: foco na migração Ucraniana

Enoé Rodríguez Jonguitud

Universidad Autónoma de Zacatecas | San Luis Potosí | México

<https://orcid.org/0009-0003-8799-7340>

42205413@uaz.edu.mx

Enoe.rdz.jon@gmail.com

Estudiante de la licenciatura en Actuaría en la Universidad Autónoma de Zacatecas (UAZ).

Ingeniera química con maestría en Ciencias Ambientales

Marlen Hernández Ortiz

Universidad Autónoma de Zacatecas | Zacatecas | México

<https://orcid.org/0000-0003-2428-9016>

marlen.hernandez@uaz.edu.mx

marlen.hernandez@uaz.edu.mx

Licenciada en Matemáticas y Maestra en Ciencias Nucleares en la Universidad Autónoma de Zacatecas (UAZ); Doctora en Ciencia de los Materiales por la Universidad de Sonora. Es SNI 1 y Perfil PRODEP.

Sandra Verónica García Cabrera

Universidad Autónoma de Zacatecas | Zacatecas | México

<https://orcid.org/0000-0003-3745-8333>

Sandra.garcia@uaz.edu.mx

Sandra.garcia@uaz.edu.mx

Docente investigadora adscrita a la Unidad de Economía. Tiene Licenciatura en Economía, así como Maestría en Población, Desarrollo y Políticas. Sus líneas de investigación son mercados laborales y estudios de género.

Abstract

This study examines the impact of migration on the population structure of Luxembourg, a small country with a migrant proportion of 47.4% of its total population. Using data from the Institute National De La Statistique Et Des Études Économiques (STATEC), migratory flows are analyzed, particularly those derived from sociopolitical events such as the Russian invasion of Ukraine, which has led to a significant increase in Ukrainian migrants in the country. The analysis highlights how migration has been a fundamental driver for demographic growth and the expansion of the Luxembourg labor market, where migrants, especially from the European Union and beyond, play a crucial role. Additionally, the challenges faced by migrants in their labor integration are examined.

Keywords: migration; Luxembourg; population structure

Resumo

Este estudo examina o impacto da migração na estrutura populacional do Luxemburgo, um pequeno país onde os migrantes constituem 47,4% de sua população total. Por meio de dados do Instituto Nacional de Estatística e Estudos Econômicos (STATEC), são analisados os fluxos migratórios, especialmente os decorrentes de eventos sociopolíticos como a invasão russa da Ucrânia, que gerou um aumento significativo de migrantes ucranianos no país. A análise destaca como a migração tem sido um motor fundamental para o crescimento demográfico e a expansão do mercado de trabalho luxemburguês, onde os migrantes, especialmente da União Europeia e de fora dela, desempenham um papel crucial. Ademais, são examinados os desafios que os migrantes enfrentam em sua integração laboral.

Palavras-chave: Migração; Luxemburgo; Estrutura Populacional; Integração Laboral.

Capítulo 8

Jerarquía del sistema urbano de la región centro-norte de México: Análisis desde la regla rango-tamaño

Isidoro Menchaca Hernández, Miguel Esparza Flores

Resumen

Este trabajo tiene como objetivo analizar la distribución del tamaño de las ciudades en la región centro-norte de México mediante la aplicación de la regla rango-tamaño, entendida como un instrumento de análisis dentro del estudio de los sistemas de ciudades. Utilizando datos poblacionales de 2020, se realiza un análisis econométrico a través de un modelo de regresión lineal transformado en logaritmos. La investigación examina la relación entre el rango y el tamaño de las ciudades en la región, con el propósito de identificar patrones y dinámicas que caracterizan su estructura urbana. Se emplean metodologías basadas en la regla rango-tamaño aplicadas a datos demográficos y geográficos para evaluar si la distribución de las ciudades en la región sigue las regularidades propuestas por dicha regla. Los resultados indican una desviación del modelo de Zipf, con una jerarquía urbana marcada por la primacía de ciertas metrópolis. Se concluye que la región presenta una estructura urbana jerarquizada con pocas ciudades concentrando gran parte de la población.

Palabras clave:
Economía urbana;
Sistema de ciudades;
Regla rango-tamaño.

Menchaca Hernández, I., & Esparza Flores, M. (2026). Jerarquía del sistema urbano de la región centro-norte de México: Análisis desde la regla rango-tamaño. En J. Martínez Pérez, M. Hernández Ortiz, & I. Ortiz Medina, (Coords). *Desafíos contemporáneos. Un análisis multiescalar de la tecnología, la sociedad y el territorio*. (pp. 211-231). Religación Press. <http://doi.org/10.46652/religacionpress.363.c790>



Introducción

El desarrollo urbano y regional en México ha presentado desigualdades y ha favorecido una fuerte concentración en las grandes ciudades, lo que se explica por los distintos modelos económicos adoptados por los gobiernos, es evidente un desequilibrio regional en el sistema de ciudades del país, acentuado coyunturalmente por las dinámicas demográficas y económicas que se manifiestan espacialmente, propiciadas por las políticas que se impulsan nacionalmente.

La región centro-norte de México presenta un sistema urbano heterogéneo, con ciudades que tienen acentuadas variaciones de tamaño y funciones económicas, estas desigualdades se expresan en un patrón de distribución espacial de la población y de la actividad económica en aglomeraciones de pocas ciudades, tendencia que ha ido transitando hacia un modelo más abierto de convergencia, que, aunque débil aún, ha generado redes de ciudades que emergen en ciertas regiones con mayor grado de dinamismo.

El presente trabajo pretende analizar la distribución jerárquica de las ciudades de la región centro-norte de México para el año 2020, utilizando datos sobre población total, para identificar si estas presentan la regularidad que postula la regla rango-tamaño. Dicha regla es una herramienta empírica que ha sido ampliamente utilizada en estudios urbanos con el fin de analizar la distribución jerárquica de las ciudades que forman parte de un sistema urbano, estableciendo que existe una relación inversa entre el tamaño de una ciudad y su posición jerárquica dentro del sistema, lo que refleja la organización espacial y la dinámica económica de la región.

El trabajo se organiza en cuatro apartados principales. En el primero, se presenta el marco teórico relacionado con la economía urbana y su relevancia para el estudio de las jerarquías urbanas. El segundo apartado detalla la metodología utilizada para la aplicación de la regla rango-tamaño, enfatizando las herramientas analíticas

empleadas. En el tercer apartado, se exponen los principales resultados, destacando los patrones observados en el sistema urbano analizado. Finalmente, el cuarto apartado incluye las conclusiones, donde se discuten las implicaciones de los hallazgos para la planificación regional y urbana.

Fundamentos teóricos sobre la distribución urbana

Las primeras intenciones por jerarquizar las ciudades las podemos encontrar en Christaller (1933), quien, a partir de las funciones de las actividades terciarias de las ciudades, formula su teoría de los Lugares Centrales, argumentando que la función principal de la ciudad es servir como centro para el entorno que la rodea, suministrar servicios de tipo comercial, bancario, profesional, cultural, educativo, entre otros. Bajo esa lógica, se establece que existe una jerarquía entre los centros, de tal forma que un centro de orden jerárquico superior podría suministrar bienes y servicios a los lugares centrales de orden inferior en el sistema de ciudades. Este modelo se basa en la idea de que las ciudades y los centros de servicios se distribuyen de manera regular y jerárquica en el espacio.

En su representación gráfica, Christaller (1933), utilizaba una retícula hexagonal que cubría toda el área estudiada. Cada hexágono representaba un área de influencia o mercado para un centro urbano o un centro de servicio. Los centros urbanos estaban ubicados estratégicamente en los puntos de intersección de esta retícula hexagonal, lo que les permitía ofrecer servicios a la mayor cantidad posible de áreas circundantes. Además, cada centro tenía un área de influencia que se superponía con las áreas de influencia de otros centros, formando una jerarquía que iba desde los centros más pequeños y locales hasta las ciudades más grandes y regionales.

Los estudios de Christaller (1933) y Lösch (1938), llegan a conclusiones similares, analizando este último a la localización de las empresas basándose en tres factores, la distancia de transporte,

la producción y la competencia, argumentando que los centros productivos se localizan formando un armonioso equilibrio entre estos tres factores. Para Lösch (1938), el sistema de ciudades es ascendente es decir, los centros de orden inferior van suministrando bienes a los centros de orden superior aunque, también concebía una distribución gráfica de los centros como una representación hexagonal.

Para Santos Preciado (1992), la base de la jerarquía de funciones urbanas y áreas centrales lleva a considerar su organización funcional y territorial en pasos discretos o niveles de diferentes niveles. Las funciones urbanas de mayor nivel estarán ubicadas en asentamientos urbanos de orden superior, capaces de brindar servicios a la población residencial dentro de un área de influencia mayor. De esta forma, esta propiedad definirá la posición jerárquica de cada lugar central en el sistema urbano, teniendo en cuenta su función específica.

Por lo anterior, la posición jerárquica de un núcleo urbano dentro del sistema, entendido como su papel funcional, está vinculado a procesos tanto económicos como culturales y políticos, tanto a escala local como global. Sabiendo que los núcleos urbanos están cada vez más conectados a través de sus áreas de influencia, su interacción puede desarrollarse con mayor énfasis, produciendo, así, relaciones funcionales jerárquicas, complementarias, sinérgicas y ocasionalmente, enfrentadas en competencia entre sí (Camagni, 2005).

Sistemas de ciudades

Desde hace décadas, a través de los estudios sobre la ciudad, quedó de manifiesto la importancia de las relaciones entre ciudades, esto para la evolución no solo de las propias ciudades, sino a conjuntos más amplios como las regiones o países. Las ciudades no pueden estudiarse aisladamente (Del Pino Artacho, 2001).

Berry (1970) introduce el concepto de sistema urbano aplicando la teoría de sistemas al estudio de las ciudades. A ello le llamó sistema de ciudades, que se define como un conjunto articulado de espacios urbanos que se distinguen en lo particular por condiciones demográficas y económicas que han resultado de su propia evolución, a partir de las cuales se establecen interrelaciones e interdependencias que determinan los flujos e intercambios entre las ciudades, así como las relaciones jerárquicas y funcionales que se dan entre ellas. Dicha propuesta, que fue crucial para entender el carácter sistémico y relacional de los procesos urbanos, sentó las bases para la realización de investigaciones empíricas en las que se utilizó la regla rango-tamaño como soporte para analizar la distribución y jerarquía dentro de los sistemas de ciudades.

Para Pred (1977), por su parte, un sistema de ciudades es un conjunto nacional o regional de ciudades que presentan interdependencia, por lo que un cambio de importancia en la estructura económica, demográfica u ocupacional de una ciudad puede perturbar las estructuras de los otros centros urbanos pertenecientes al sistema. Previo a ello, sólo se abordaba la ciudad de manera interna, cuestión que se ha vuelto obsoleta debido a la gran influencia que tienen las ciudades con los territorios circundantes y por las relaciones que mantienen con otras ciudades, por lo que surge la necesidad de abordar teórica y metodológicamente este comportamiento urbano (Mascareño López, 2013).

En cualquier sistema urbano de un país o región, las ciudades poseen características propias que permiten agruparlas según su orden de importancia, donde la población es el factor más obvio, según el cual los sistemas de ciudades pueden jerarquizarse, sin embargo, han sido de mayor interés para los investigadores las funciones especializadas que la ciudad desempeña para sí misma y para su hinterland (Mascareño López, 2013).

Desde este enfoque tradicional, un sistema de ciudades se organiza jerárquicamente y existe una ciudad protagonista que ejerce

hegemonía sobre su hinterland, donde se encuentran ciudades de menor jerarquía. Esta organización del sistema urbano implica que las ciudades tienen relaciones escalonadas en las que las relaciones entre ciudades de mismo nivel jerárquico son inexistentes (Garrocho, 2011). Autores como Gaviria Ríos et al. (2023), ubican dos interpretaciones de esta jerarquización. Por un lado, la que la considera como una manifestación de una disfuncionalidad en la configuración de un sistema de ciudades, y por otro lado, la que la interpreta como una expresión particular del proceso de concentración urbana propia del desarrollo capitalista.

Este enfoque de las ciudades como un sistema se puede sintetizar en la teoría del lugar central de Christaller (1933), misma que sirve como base en muchos ejercicios empíricos, usados generalmente para aspectos urbanos como la jerarquía urbana nacional y regional, así como las jerarquías intraurbanas de centros de un área urbana. Estos modelos son meramente estáticos, es decir, no poseen las condiciones ni la intención de explicar la formación histórica ni la evolución de la jerarquía urbana (Camagni, 2005).

Ley de Zipf y su aplicación al ámbito urbano

Existen diversas propuestas que han sido utilizadas para demostrar la validez de la jerarquía de ciudades en un sistema urbano. Entre estas, una de las que han sido utilizadas más ampliamente es la denominada “Regla Rango-Tamaño”. Según esta regla, en una jerarquía de ciudades, el tamaño de una ciudad multiplicado por su rango en la jerarquía será igual al tamaño de la ciudad de rango más alto dentro del sistema.

Esta regla tiene su origen en la obra de Zipf (1941), la cual estuvo orientada al análisis sistemático de las regularidades de orden-tamaño. En dicho estudio, encontró que, al ordenarlas de acuerdo con su tamaño de forma decreciente, existía una relación entre el tamaño de la ciudad de mayor tamaño y cualquier otra ciudad del

sistema de rango “n”. Autores como Berry (1970) y Krugman (1996), han destacado el uso de la ley de Zipf aplicada al ámbito urbano, donde las ciudades ordenadas por población parecen seguir fielmente la función log-log en la que el logaritmo del tamaño de la ciudad se correlaciona casi de manera perfecta con el logaritmo del orden de dicha ciudad.

Por lo anterior, la ley de Zipf y la regla rango-tamaño, constituyen una herramienta analítica fundamental dentro del estudio de los sistemas de ciudades en el marco de la teoría del desarrollo urbano-regional. Dicha regla permite analizar la jerarquía y la distribución del tamaño de las ciudades en una región o país, partiendo de la premisa de que existe una relación inversa y regular entre el tamaño de la ciudad y su posición jerárquica. En ese sentido, la regla rango-tamaño se convierte en un instrumento clave para la comprensión de las dinámicas de concentración y dispersión del sistema urbano (Capello, 2007; Duranton & Puga, 2015).

Metodología y obtención de datos

Una de las variables fundamentales es el tamaño de la ciudad, la cual tiene como base de estimación la población total de cada una de las 22 ciudades de la región centro-norte. Para ello, se utilizan los datos del censo de población y vivienda del 2020 del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). El rango, por su parte, representa la posición de la ciudad en la jerarquía del tamaño poblacional, cuyo orden va de mayor a menor, correspondiendo el valor de 1 a la ciudad de mayor tamaño.

Una región se conforma por partes que integran una totalidad, es decir, la región permite que estas partes sean identificadas como coincidentes dentro de una unidad más amplia, en otras palabras, es una superficie terrestre que tiene características que permiten diferenciarla del espacio que la rodea. Así, la región se concibe como el producto del proceso de agrupar elementos en categorías o clases,

obteniendo como resultado áreas (López Levi & Ramírez Velázquez, 2012).

En ese sentido, en este trabajo contemplamos una región nodal identificada a través del proceso de regionalización de México llevada a cabo por Asuad Sanén (2020), que se muestra en la figura 1, en la que se destaca la interacción y la funcionalidad de los lugares (ciudades), como los aspectos centrales a distinguir entre las regiones.

Figura 1. Región centro-norte de México



Fuente: elaboración propia con base en Asuad Sanén (2020).

La región centro-norte de México abarca 174 municipios, que se encuentran distribuidos en los estados de Zacatecas, Aguascalientes, Guanajuato, Hidalgo, Estado de México, Michoacán, Jalisco, Nuevo León, Querétaro y San Luis Potosí. Los principales centros económicos y de población en la región son 12, de los cuales ocho son Zonas Metropolitanas: León, Querétaro, San Luis Potosí, Aguascalientes, Celaya, Zacatecas - Guadalupe, San Francisco del Rincón y Rio Verde-Ciudad Fernández, así como las ciudades de Salamanca, Guanajuato, Irapuato y Fresnillo (Asuad Sanén, 2020).

Unikel et al. (1976), señalaron la dificultad de definir a la ciudad contemplando su validez en cada uno de los contextos sociales y temporales, ya que las condiciones propias, tanto culturales como sociales entre regiones y países no lo permiten. Por otro lado, considerando el carácter metropolitano de las principales ciudades del país, se incorpora la delimitación de zonas metropolitanas llevadas a cabo por la Secretaria de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano, el Consejo Nacional de Población y el Instituto Nacional de Estadística y Geografía titulado "Metropolis de México 2020", con el propósito de establecer las ciudades principales de la region en estudio (tabla 1).

Tabla 1. Zonas metropolitanas de la región centro-norte de México

Clasificación	Ciudades
Zonas Metropolitanas	León
	Querétaro
	San Luis Potosí
	Aguascalientes
	Celaya
	Zacatecas-Guadalupe
Metrópolis Municipales	Irapuato
	Guanajuato
Zonas Conurbadas	Silao
	Matehuala
	Rioverde

Fuente: elaboración propia con datos del Gobierno de México (2024).

El trabajo Metrópolis de México 2020 identifica localidades urbanas centrales, es decir, las que originan una metrópoli, a través de indicadores de población ocupada, densidad urbana, entre otros criterios. En cuanto a las localidades urbanas exteriores, el trabajo las identifica a través de su integración física y funcional con las localidades centrales contiguas.

Dado que en México el fenómeno metropolitano ha avanzado considerablemente, la expansión urbana ha integrado municipios y localidades vecinas gracias a la concentración de la población, su funcionalidad económica, entre otras. Así mismo, existen casos en los que, aunque un área urbana no rebasa los límites municipales, posee importancia poblacional o es la sede del poder político, pudiendo considerarse como central y generadora de una metrópoli, por lo que, con una metodología exhaustiva, el trabajo *Metrópolis de México 2020* establece las categorías y criterios para definir las (Gobierno de México, 2024).

Debido a su contigüidad e integración funcional, las metrópolis, en sus tres categorías, aunque trascienden los límites político-administrativos, constituyen una unidad urbana desde el punto de vista de la funcionalidad económica.

Junto con las metrópolis, se consideran también las ciudades intermedias, que, aunque no poseen la integración de las metrópolis, si poseen una integración con localidades más pequeñas, que para los fines de este trabajo nos permite fijar un umbral de ciudades a considerar, tomando en cuenta que dichas ciudades tienen un papel clave en la cohesión del territorio, además equilibran la tensión entre la aglomeración metropolitana y la dispersión rural (Llop et al., 2019). A diferencia de las metrópolis, que se extienden más allá de los límites político-administrativos municipales y presentan continuidad urbana con otras localidades, las ciudades intermedias se delimitan dentro de un solo municipio y no mantienen contigüidad física ni integración funcional con otras zonas urbanas.

Capello (2007) señala que una ciudad intermedia se caracteriza por tener una población mínima de 40000 habitantes y puede llegar hasta los 500,000. Con base en ello, se utiliza dicho umbral poblacional como referencia para identificar y delimitar las ciudades intermedias de la región centro-norte de México, para ello se recurre al censo de población y vivienda del INEGI (2020), a partir del cual se seleccionaron las ciudades que superan el umbral poblacional establecido (véase tabla 2).

Tabla 2. Ciudades intermedias de la región centro-norte de México

Entidad	Ciudades Intermedias
Zacatecas	Fresnillo
	Jerez
Jalisco	Lagos de Moreno
	San Juan de los Lagos
Guanajuato	Dolores Hidalgo
	Juventino Rosas
	Salamanca
	San Luis de la Paz
	San Miguel de Allende
	Valle de Santiago
Querétaro	San Juan del Río

Fuente: elaboración propia con datos del INEGI (2020).

Dado que en la región de estudio las ciudades con más de 500,000 habitantes ya han sido incorporadas en la categoría de metrópolis, no es necesario establecer un umbral superior para las ciudades intermedias. Estas últimas se delimitaron únicamente a partir del umbral inferior propuesto por Capello (2007), correspondiente a los 40,000 habitantes. En ese sentido, San Juan del Río, con 177,719 habitantes representa el caso de mayor tamaño dentro del grupo de ciudades intermedias.

Una vez delimitadas las ciudades a considerar, se obtuvieron los datos de tamaño poblacional y se jerarquizaron según esta variable, como se muestra en la tabla 3, para así obtener el rango de cada una de ellas.

Tabla 3. Rango y tamaño de las ciudades de la región centro-norte de México (2020).

Rango	Ciudad	Población total
1	León	1935928
2	Querétaro	1530820

3	San Luis Potosí	1243980
4	Aguascalientes	1140916
5	Celaya	684888
6	Irapuato	592953
7	Zacatecas-Guadalupe	405285
8	Silao	269322
9	Guanajuato	194500
10	San Juan del Río	177719
11	Salamanca	160682
12	Rioverde	146049
13	Fresnillo	143281
14	Lagos de Moreno	111569
15	Matehuala	107497
16	Valle de Santiago	72663
17	San Miguel de Allende	72452
18	Dolores Hidalgo	67101
19	San Juan de los Lagos	53539
20	San Luis de la Paz	51894
21	Jerez	46132
22	Juventino Rosas	43998

Fuente: elaboración propia con datos del INEGI (2020) y del Gobierno de México (2024).

La regla rango-tamaño

La formulación expresa que hay una relación constante entre el tamaño de una ciudad y el número de orden jerárquico que ocupa dentro del sistema de ciudades, lo que implica que las ciudades más grandes tienen un rango más bajo en la clasificación, es decir, son las ciudades más centrales del sistema, mientras que las ciudades más pequeñas ocupan rangos más altos. Esta formulación se expresa matemáticamente de la siguiente manera:

$$P_r = P_p/r^q$$

Donde:

P_r = Población de la ciudad de orden o rango $< r >$
 P_p = Población de la ciudad de mayor población o rango
 q = Exponente que ha de ser de valor 1 o cercano a este

Usamos la transformación logarítmica para linealizar la relación entre las dos variables que podrían tener una relación no lineal en su escala original, en el marco de la regla rango-tamaño. La transformación logarítmica es pertinente porque estabiliza la varianza, además dado que la relación se describe por una relación exponencial, la transformación facilita la aplicación de un modelo de regresión lineal, así como también facilita la interpretación de los coeficientes, que se pueden explicar cómo elasticidades, lo que brinda una interpretación de la proporción de cambio en el rango, dado un cambio en el tamaño. La aplicación del modelo permite evaluar si la distribución del tamaño de las ciudades obedece a la regla rango-tamaño, donde se espera un coeficiente de cercano a -1.

Sobre la relación que se puede expresar en un gráfico logarítmico, está dado por:

$$\log P_r = \log P_p - q \log r$$

El pionero en plantear esta relación fue Auerbach (1913), quien propuso una función logarítmica inversa entre el tamaño de la ciudad y su rango, donde $<P_r>$ es el tamaño demográfico de la ciudad, $<r>$ es su rango y $<q>$ la pendiente de la función, misma que presenta un valor negativo y $<P_p>$ es el valor del intercepto de la función en el eje de las ordenadas, mismo que representa el tamaño teórico de la ciudad mayor. Se aplicó la transformación logarítmica natural (log) a las variables de rango y tamaño, esto convirtió a los valores en sus respectivos logaritmos naturales, esto para permitir aplicar un modelo de regresión lineal para analizar la relación entre el tamaño y rango de las ciudades de manera adecuada.

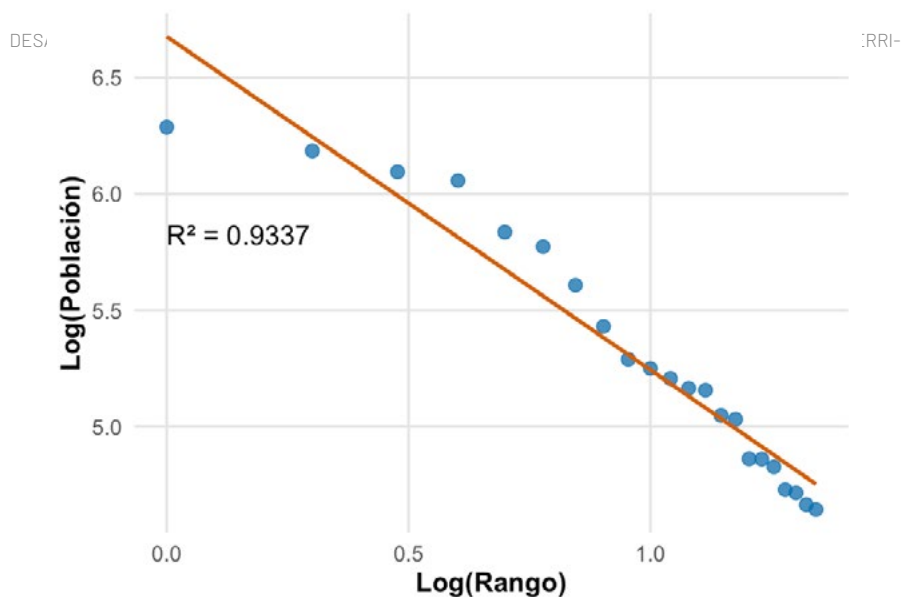
Análisis de resultados

Este modelo permitió evaluar si la distribución del tamaño de las ciudades obedece a la regla rango-tamaño, esperando un coeficiente de β_1 cercano a -1. Los resultados de la estimación mostraron que el coeficiente β_1 es estadísticamente significativo y negativo, sugiriendo una relación inversa entre el tamaño y el rango, lo que es consistente con la teoría de la regla rango-tamaño.

Los resultados del análisis log-log muestran que las ciudades de la región centro-norte de México, siguen una tendencia jerárquica en consonancia con la regla rango-tamaño. El coeficiente de ajuste de obtenido, indica una alta correlación entre el rango de las ciudades y su tamaño, dejando ver que existe un sistema urbano que presenta equilibrio en términos de jerarquía, aunque con algunas variaciones notables, como el caso de León, la ciudad de mayor tamaño, debido a la proximidad que tiene en términos de tamaño la ciudad de segundo rango de la región que es Querétaro.

Al otro extremo, las ciudades de rangos inferiores muestran desviaciones en el tamaño menor a lo estimado, esto atribuido a las limitaciones en cuanto a su infraestructura y las deficiencias en conectividad con otras ciudades de la región.

Figura 2. Estimaciones rango-tamaño para las ciudades de la región centro-norte de México (2020).



Fuente: elaboración propia

El modelo muestra que existe una relación negativa y significativa entre el rango y el tamaño de las ciudades estudiadas, lo que es concordante con lo planteado por la regla rango-tamaño. En ese sentido la ecuación ajustada del modelo es:

$$\log(Y) = 6.67593 - 1.43255 \log(X)$$

Donde Y representa el tamaño poblacional y X el rango de la ciudad. Esta evaluación confirma que existe una alta concordancia con lo establecido por la regla rango-tamaño. Los resultados indican que el coeficiente de regresión β_1 es igual a -1.43255, con un error estándar de 0.08534, lo que significa que es altamente significativo ($p < 0.001$). Esto indica que, al existir un aumento unitario en el logaritmo del rango, en promedio representaría una disminución de 1.43 unidades en el logaritmo de la población.

Como se muestra en la tabla 4, el intercepto que se obtuvo es 6.67593 ($p < 0.001$), que representa el valor estimado del logaritmo de la población cuando el rango es igual a uno, es decir, podemos considerar al intercepto como el “tamaño teórico” de la ciudad de rango uno en el sistema urbano, en este caso la ciudad de León en

Guanajuato. El valor de $R^2=0.9337$ indica que este modelo explica más del 93% de la variabilidad en los datos, dado que se muestra un ajuste muy fiel entre los datos observados y el modelo teórico.

El gráfico de dispersión con la línea de regresión ajustada que se muestra en la figura 2 refuerza estos resultados, ya que revela una clara relación lineal negativa entre los logaritmos de rango y de población, indicando consistencia con la teoría de la regla rango-tamaño, que predice este comportamiento inverso entre ambas variables en un sistema urbano con una clara jerarquía.

Tabla 4. Resumen de resultados del modelo de regresión

Parámetro	Estimación	Error Estándar	Estadístico t	Valor p
Intercepto	6.67593	0.08692	76.81	<0.001
Log (Rango)	-1.43255	0.08534	-16.79	<0.001

Fuente: elaboración propia

Los resultados obtenidos a partir del modelo de regresión lineal indican un buen ajuste entre las variables, lo que apoya lo establecido por la regla rango-tamaño y su viabilidad en la región de estudio. El coeficiente de la pendiente es concordante con dicha regla al presentar signo negativo. En síntesis, se reafirma la pertinencia del marco teórico en el contexto que nos ocupa, brindando una base robusta para la discusión de las implicaciones de la distribución de las ciudades de la región centro-norte de México en el contexto regional.

Conclusiones

Los resultados obtenidos en este trabajo permiten corroborar la pertinencia de la regla rango-tamaño en el análisis de la jerarquía del

sistema urbano de la región centro-norte de México. Encontramos que existe una pendiente negativa más significativa que lo esperado por dicha regla (-1.43), esto arroja luz sobre la estructura jerárquica que presentan las ciudades de la región, ya que unas pocas ciudades concentran el grueso de la población, indicando que la mayoría de las ciudades poseen una pequeña parte de esta, comportamiento que es concordante con lo planteado por la Ley de Zipf.

Está marcada jerarquización implica que las ciudades de mayor importancia pueden desempeñarse como centros de atracción y polarización del espacio, lo que genera oportunidades económicas, aunque bajo un contexto de marcada desigualdad territorial. La localización de metrópolis y ciudades intermedias se establece como un contexto favorable para la cohesión del territorio y para que haya una cierta funcionalidad entre la concentración de los núcleos urbanos de tamaño mayor y la dispersión del ámbito rural y de las ciudades pequeñas

Los resultados, permiten señalar que la jerarquía urbana de la región centro-norte corresponde a lo esperado con la aplicación de la regla rango-tamaño, a partir únicamente de datos poblacionales. Esta imagen, sin duda, tenderá a verse enriquecida incorporando variables económicas, de flujos y de conectividad bajo esquemas de interpretación como el de redes de ciudades. Un reto que vendría a enriquecer la interpretación de una realidad regional que se ha transformado bajo un contexto que le obliga a adecuarse y adaptarse.

Referencias

- Asuad Sanén, N. E. (2020). Metodología y resultados de la construcción de matrices estatales de insumo-producto de abajo hacia arriba mediante la elaboración de cuadros de oferta y utilización estatales. *Realidad, Datos y Espacio Revista Internacional de Estadística y Geografía*, 11(2), 28-52.
- Auerbach, F. (1913). Das gesetz der bevölkerungskonzentration. *Petermanns Geographische Mitteilungen*, 59, 74-76.
- Berry, B. J. (1970). Labor market participation and regional potential. *Growth and Change*, 1(4), 3-10. <https://doi.org/10.1111/j.1468-2257.1970.tb00516.x>
- Camagni, R. (2005). *Economía urbana*. Antoni Bosch Editor.
- Capello, R. (2007). *Regional economics*. Routledge.
- Christaller, W. (1933). *Die zentralen Orte in Suddeutschland: Eine ökonomisch-geographische Untersuchung über die Gesetzmässigkeit der Verbreitung und Entwicklung der Siedlungen mit städtischen Funktionen*. Gustav Fischer.
- Del Pino Artacho, J. A. (2001). Hacia la comprensión del espacio urbano global: ¿Sistemas de ciudades o redes urbanas? *Espacio, Tiempo y Forma, Serie VI, Geografía*, 14, 191-216.
- Duranton, G., & Puga, D. (2015). Urban land use. En G. Duranton, J. V. Henderson, & W. C. Strange, (eds.). *Handbook of regional and urban economics* (pp. 467-560). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-59517-1.00008-8>
- Garrocho, C. (2011). Estructura funcional del México urbano: las redes de ciudades de escala subnacional. En Consejo Nacional de Población, (ed.). *La situación demográfica de México* (pp. 121-148). CONAPO.
- Gaviria Ríos, M. A., Galvis Moreno, D., & Aristizábal Toro, A. F. (2023). Niveles de primacía urbana en el sistema urbano de la Región Administrativa y de Planificación del Eje Cafetero. *Ánfora*, 30(55), 176-200. <https://doi.org/10.30854/anf.v30.n55.2023.892>
- Gobierno de México. (2024). *Metrópolis de México 2020*. Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano, Consejo Nacional de Población, Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2020). *Censo de Población y Vivienda 2020*. <https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2020/>

- Krugman, P. (1996). Confronting the mystery of urban hierarchy. *Journal of the Japanese and International Economies*, 10(4), 399-418. <https://doi.org/10.1006/jjie.1996.0023>
- Llop, J. M., Iglesias, B., Vargas, R., & Blanc, F. (2019). Las ciudades intermedias: concepto y dimensiones. *Ciudades*, 22, 23-43. <https://doi.org/10.24197/ciudades.22.2019.23-43>
- López Levi, L., & Ramírez Velázquez, B. R. (2012). Pensar el espacio, región, paisaje, territorio y lugar en las ciencias sociales. En M. E. Reyes, & Á. López, (Coordss.). *Explorando territorios: Una visión desde las ciencias sociales* (pp. 15-38). Universidad Autónoma Metropolitana.
- Lösch, A. (1938). The nature of economic regions. *Southern Economic Journal*, 5(1), 71-78. <https://doi.org/10.2307/1052229>
- Mascareño López, G. (2013). De los sistemas de ciudades a las redes de ciudades. En A. Narváez, D. González, H. Roldán, & J. Chávez, (eds.), *Ciudades red: Una visión a través de los imaginarios urbanos* (pp. 135-154). Universidad Autónoma de Guadalajara.
- Pred, A. (1977). The choreography of existence: Comments on Hägerstrand's time-geography and its usefulness. *Economic Geography*, 53(2), 207-221. <https://doi.org/10.2307/142726>
- Santos Preciado, J. M. (1992). El desarrollo de la Geografía Urbana en la evolución del pensamiento geográfico contemporáneo. *Espacio, Tiempo y Forma, Serie VI, Geografía*, 5, 77-98.
- Unikel, L., Ruiz Chiapetto, C., & Garza Villarreal, G. (1976). *El desarrollo urbano de México: Diagnóstico e implicaciones futuras*. El Colegio de México.
- Zipf, G. K. (1941). *National unity and disunity: The nation as a bio-social organism*. Principia Press.

Hierarchy of the Urban System in North-Central Mexico: An Analysis Based on the Rank-Size Rule

Hierarquia do Sistema Urbano da Região Centro-Norte do México: Análise a Partir da Regra Rank-Tamanho

Isidoro Menchaca Hernández

Universidad Autónoma de Zacatecas | Zacatecas | México

<https://orcid.org/0009-0005-1077-7651>

34156330@uaz.edu.mx

isimenchaca@gmail.com

Economista y Estudiante de la Maestría en Economía Regional y Sectorial por la Universidad Autónoma de Zacatecas, especializado en temas de economía regional y urbana.

Miguel Esparza Flores

Universidad Autónoma de Zacatecas | Zacatecas | México

<https://orcid.org/0000-0002-8556-087X>

miguel.esparza@uaz.edu.mx

Espamizac100@gmail.com

Doctor en Estudios del Desarrollo, Docente Investigador de la Maestría en Economía Regional y Sectorial. Líneas de investigación: Mercado Laboral, Medio Ambiente y Sustentabilidad, Economía del Crecimiento y Desarrollo.

Abstract

This work aims to analyze the size distribution of cities in the central-northern region of Mexico through the application of the rank-size rule, understood as an analytical tool within the study of urban systems. Using population data from 2020, an econometric analysis is carried out through a linear regression model transformed into logarithms. The research examines the relationship between the rank and size of cities in the region, with the purpose of identifying patterns and dynamics that characterize their urban structure. Methodologies based on the rank-size rule applied to demographic and geographic data are used to evaluate whether the distribution of cities in the region follows the regularities proposed by said rule. The results indicate a deviation from Zipf's model, with an urban hierarchy marked by the primacy of certain metropolises. It is concluded that the region presents a hierarchical urban structure, with a few cities concentrating a large share of the population.

Keywords: Urban economics; City systems; Rank-size rule.

Resumo

Este trabalho tem como objetivo analisar a distribuição do tamanho das cidades na região centro-norte do México mediante a aplicação da regra rank-tamanho, entendida como um instrumento de análise dentro do estudo dos sistemas de cidades. Utilizando dados populacionais de 2020, realiza-se uma análise econométrica por meio de um modelo de regressão linear transformado em logaritmos. A pesquisa examina a relação entre o rank e o tamanho das cidades na região, com o propósito de identificar padrões e dinâmicas que caracterizam sua estrutura urbana. Empregam-se metodologias baseadas na regra rank-tamanho aplicadas a dados demográficos e geográficos para avaliar se a distribuição das cidades na região segue as regularidades propostas por essa regra. Os resultados indicam um desvio do modelo de Zipf, com uma hierarquia urbana marcada pela primazia de certas metrópoles. Conclui-se que a região apresenta uma estrutura

urbana hierarquizada com poucas cidades concentrando grande parte da população.

Palavras-chave: Economia Urbana; Sistema de Cidades; Regra Rank-Tamanho.

Capítulo 9

Competitividad del sector agrícola: una aproximación al caso Zacatecas

Enrique Muñoz Alonso, Laura Liliana Villa Vázquez, Leobardo Chávez Ruiz

Resumen

El sector agrícola zacatecano como en todo el país, viene arrastrando diversas problemáticas que afectan su desempeño, tal como el polarizamiento de los productores y la disminución de los niveles de productividad y competitividad. El presente capítulo se encarga de abordar el concepto de competitividad en el sector agrícola, a raíz de esto, como una primera aproximación, se analiza y se mide la competitividad agrícola con base en las capacidades productivas de los agricultores en Zacatecas, en una desagregación municipal para el año 2022. Lo anterior se logra mediante la realización de un índice de competitividad que abarque diversas dimensiones, las cuales corresponden a las capacidades competitivas de los productores, posteriormente, los resultados son georreferenciados y se hace uso del Análisis Exploratorio de Datos Espaciales mediante el I de Moran Local (LISA) bivariado.

Palabras clave:
Competitividad;
Sector agrícola;
Productividad;
Productores.

Muñoz Alonso, E., Villa Vázquez, L. L., & Chávez Ruiz, L. (2026). Competitividad del sector agrícola: una aproximación al caso Zacatecas. En J. Martínez Pérez, M. Hernández Ortiz, & I. Ortiz Medina, (Coords). *Desafíos contemporáneos. Un análisis multiescalar de la tecnología, la sociedad y el territorio*. (pp. 233-266). Religación Press. <http://doi.org/10.46652/religacionpress.363.c791>



Introducción

En México, el sector agrícola tiene una gran importancia económica, debido a que la actividad genera eslabones productivos con la mayoría de los sectores de la economía. El sector participa con el 3.1% de aporte al total de la economía mexicana, sin embargo, al considerar el total de aportación del sector agrícola ampliado que incluye las actividades primarias, de transformación (agroindustria), insumos y servicios, la aportación del sector agrícola ampliado crece más del doble, alrededor del 7.5% del PIB (FAO, 2018). Si bien, no es uno de los sectores más dinámicos debido a las fallas en la estructura agrícola, es uno de los que más empleo generan, según el INEGI (2022), este sector cuenta con alrededor de 27 millones de puestos de trabajo en el país.

El sector agrícola mexicano experimenta una dependencia alimentaria a raíz del modelo neoliberal, debido al aumento de importaciones alimentarias a nivel nacional, lo que implica la disminución de capacidad de producir y de acceder en los mercados y por lo tanto de la competitividad. Por su parte, el zacatecano ha pasado desapercibido ante las inversiones públicas federales, ocasionando una nula gestación de un entorno agrícola competitivo, asimismo, los productores después experimentar un periodo de bonanza en donde eran protegidos mediante precios de garantía, créditos y subsidios, transitaron al modelo neoliberal en donde el gobierno retiró estos apoyos. Ante esto, no se generaron capacidades que les permitieran competir en un entorno globalizado y resultaron incapaces de responder a las exigencias que imponía el libre mercado (Chávez, 2008).

Se observa que el nivel de competitividad del sector agrícola en Zacatecas es bajo y se evidencia en la débil y polarizada estructura agrícola, caracterizada por la predominancia de la agricultura tradicional campesina sobre la empresarial, en la que se concentran la mayor parte de las tierras del estado y de menor vocación dedicada a

la producción de granos básicos, los cuales no son competitivos en los mercados. Las acciones implementadas por el gobierno para revertir la situación resultan insuficientes ante un entorno configurado por los mercados internacionales y por las presiones de las grandes firmas agrícolas dueñas de los procesos de producción.

El presente trabajo de investigación está enfocado en el análisis de la competitividad agrícola a nivel de las capacidades productivas de los productores en el estado de Zacatecas, en una desagregación municipal para el año 2022. Esto mediante la realización de un índice de competitividad que abarque las dimensiones de tecnología, riego, infraestructura, tracción, financiamiento, apoyos federales y tamaño de superficie agrícola; posteriormente, los resultados se relacionan con el valor de la producción municipal para conjuntamente clasificar a sus municipios según su nivel de competitividad y agruparlos acorde a sus capacidades competitivas y por las características económicas y geográficas de los municipios. Además, se emplean mapas de rupturas naturales para geovisualizar la información de los índices y se hace uso del Análisis Exploratorio de Datos Espaciales mediante el I de Moran Local (LISA) bivariado.

Enfoques teóricos sobre la competitividad

La competitividad es un concepto que se ha estudiado desde distintas aristas, por lo tanto, es difícil formular una definición única y que sea universalmente aceptada. Este concepto abarca una amplia gama de concepciones que van desde aspectos de comportamiento (la competitividad como propensión al desafío), temas microeconómicos relacionados con la reducción de los costos, la maximización de los beneficios y la innovación del empresario, hasta temas macroeconómicos vinculados a los tipos de cambio reales y balanza comercial (Cellini y Soci, 2002).

Porter (2007), sostiene que no existe una definición aceptada del término competitividad debido a que las distintas conceptualizaciones

no son satisfactorias ni suficientes para determinar una posición competitiva de las industrias que conforman una nación. Señala que el único concepto significativo de competitividad es la productividad, debido a que el objetivo de un país es tener una calidad de vida alta para sus ciudadanos y esto no será posible sin la productividad obtenida del trabajo y capital del país.

Se identifica la existencia de dos tipos de competitividad, el primero nombrado por Fajnzylber (1990), como espuria, la cual se logra cuando se está a expensas de las remuneraciones laborales, el aprovechamiento de mano de obra barata y la explotación de recursos abundantes, en palabras de este autor se trata de una competitividad efímera y de corta vida. El segundo tipo de competitividad es la auténtica, la cual, según este mismo autor, se obtiene gracias a la incorporación de innovaciones tecnológicas y nuevas formas de organización, que favorecen la elevación de la productividad de la empresa. Hernández Laos (2000), señala que este último si es sustentable a través del tiempo debido a que realiza una diferenciación de productos, incorpora tecnología y privilegia el eslabonamiento de cadenas productivas ocasionando un aumento en la eficiencia en el ciclo productor.

Dentro de la literatura económica se encuentran enfoques dedicados a estudiar la competitividad desde el nivel nación, como lo es la postura de la competitividad sistémica, Esser et al. (1996), indica que la competitividad es resultado de una estrecha relación entre cuatro niveles económicos de una nación: el micro, meso, macro y meta; los cuales indican que para crear un entorno que favorezca a la competitividad, se necesita un esfuerzo colectivo entre las empresas, instituciones, el estado y otros actores sociales.

El enfoque de la competitividad revelada de Balassa (1965), se basa en la medición de la competitividad mediante los términos de intercambio que tengan entre dos o más países. Esta postura indica que las ventajas comparativas pueden ser reveladas por el flujo actual del comercio de mercancías, el intercambio de bienes y por las

diferencias entre los países, no necesariamente de mercado (Arias Segura & Segura Ruiz, 2004).

Otra postura es referida a la ventaja competitiva de Porter, la cual establece que el objetivo del agente económico productor ya sea empresa, nación o sector es generar una ventaja competitiva. Por lo tanto, la competitividad es resultado de la capacidad de innovación de las industrias y empresas que se encuentran dentro de la nación (Porter, 2007).

Por otra parte, el planteamiento cambia cuando se plantea estudiar la competitividad en las regiones, ya que el concepto “regional” se refiere a la división geográfica de un país, que puede o no obedecer a límites territoriales y que esté sujeto a distintos factores como los económicos, demográficos, culturales, históricos, climáticos, geográficos, entre otros (Benzaquen, 2010).

La competitividad regional funciona mediante externalidades positivas que permiten la creación de un entorno económico favorable que oriente a sus empresas a obtener el éxito en los mercados globales, que en realidad se traducen al concepto de ventajas competitivas impuesto por Porter, las cuales van más allá de las simples ventajas naturales como la disponibilidad de los recursos. Estas ventajas engloban el conjunto de instituciones, políticas públicas y factores que determinan el nivel de productividad de una región; las cuales a su vez determinan el nivel de prosperidad económica sustentable que puede alcanzar dicha región (Unger et al., 2014).

Paul Krugman y Michael Porter son los pioneros en el estudio regional en cuanto a la competitividad se refiere, para ellos los países no son los que compiten sino las empresas que se encuentran operando a nivel local y regional. El nivel de productividad de una región hace énfasis a lo planteado por Porter, para quien el único concepto significativo de competitividad es la productividad, debido a que el objetivo de un país es tener una calidad de vida alta para sus ciudadanos y esto no será posible sin la productividad obtenida

del trabajo y capital del país (Porter 2007). La posición de la competitividad regional refleja las aportaciones de Porter en cuanto a que las ventajas competitivas se crean y se sostienen mediante un proceso altamente localizado.

Paul Krugman (1994), reflexiona sobre lo que es la definición más popular sobre la competitividad, que se encuentra en el libro “Who’s Bashing Whom” que la define como: “nuestra capacidad para producir bienes y servicios que pasan la prueba de la competencia internacional, al tiempo que los ciudadanos gozan de un nivel de vida en aumento y sostenible”. Para Krugman esta definición está desapegada de la realidad de algunos países, de modo que una economía con muy poco comercio internacional, el aumento de la competitividad está determinada por factores internos, en especial por el aumento de la productividad de sus sectores económicos. Ante esto, para Krugman, de la misma manera que para Porter, la competitividad se traduce a productividad en términos regionales, y no está relacionada con el comercio internacional sino con factores internos.

Aterrizando en la competitividad sectorial, Porter (2007), señala que la premisa de las empresas, industrias, sectores y naciones que engloba el concepto de competitividad, es buscar una posición provechosa en los mercados mediante la creación de una ventaja competitiva. Siguiendo esta misma lógica, la competitividad de la actividad agrícola es concebida como los esfuerzos particulares por parte de las unidades de producción para mejorar su posición competitiva en los mercados en que se participa (Paniagua, et al., 2017).

En el sector agrícola de los países de Latinoamérica, la competitividad se gesta en las disparidades existentes entre las regiones, bajo el aprovechamiento de ventajas comparativas y del aprovechamiento de los recursos naturales. Asimismo, el ser competitivo, dependerá de la adopción de elementos que impacten de manera positiva el desempeño productivo de los productores del campo.

Para Paniagua et al. (2017), la competitividad agrícola se basa en la gestación de capacidades y fortalezas dentro de las unidades de producción, las cuales funcionan como herramientas que ayudan a mejorar la adaptación ante nuevas circunstancias, incrementar las ventas, mejorar la rentabilidad de la actividad y con esto aportar económicamente en el desarrollo de la región en que se pertenece. Este autor señala que la competitividad en la agricultura depende de dos factores fundamentales: el primero es la producción, la cual se ve reflejada en los desempeños de los cultivos, es decir los rendimientos por hectárea, siempre y cuando sean positivos, el otro factor es la comercialización, en donde se busca minimizar riesgos mejorando la posición competitiva para obtener mejores precios e insertar los productos en mercados más rentables.

Partiendo del supuesto de Porter y Krugman, en el que la productividad se traduce a competitividad en términos regionales, es importante precisar que la productividad no es equivalente a la competitividad, Porter (2007), menciona que la productividad es una variable que explica la competitividad. Para Ayala et al. (2011), es un factor complementario, señala que para que exista competitividad en las empresas, regiones o países, se requiere, bases sólidas de productividad en una economía.

Existen factores que determinan la productividad agrícola, ya sea aumentándola o disminuyéndola; no obstante, la productividad no es una medida absoluta, sino el resultado de la relación efectuada entre esos factores que intervienen en un momento determinado, incluyendo aquellos que están fuera del control del productor como los climáticos, plagas o enfermedades (Rivas et al., 2021).

Un aspecto fundamental para poder analizar el concepto de productividad y competitividad es la comprensión de espacios y de entornos que la determinan, Bejarano (1995), señala que las definiciones de competitividad son referidas en general, al largo plazo y por lo tanto resulta complicado admitir sus implicaciones prácticas y menos su pertinencia en un ambiente de crisis como el

que caracteriza la situación actual de la agricultura. Ante la crisis, el sector agrícola se ve forzado a resolver problemas inmediatos, olvidándose de trabajar en soluciones estructurales que incrementen su productividad y competitividad como la reconversión productiva y la adopción de nuevas tecnologías.

Situación competitiva del sector agrícola en México y Zacatecas

El sector ha estado sujeto a una serie de reestructuraciones económicas, políticas y sociales arrastradas por el capitalismo a nivel mundial y por las propias exigencias de los mercados internacionales. Amaro-Rosales (2016), menciona que, con la adopción de la revolución verde, México alcanzó la autosuficiencia alimentaria, no obstante, se privilegió la producción de mercancías para el consumo urbano, por encima de la producción agrícola, originando una polarización de la población rural. Ante esto nace una nueva estructura del sector agrícola dirigida al mercado internacional, con base en los subsidios e incentivos que hicieran posible la adopción de sistemas modernos de producción y de infraestructura para el cultivo de nuevos alimentos: frutas y hortalizas, coexistiendo al mismo tiempo con pequeños productores que fueron apartados y relegados al consumo familiar, estos no contaban con el acceso a créditos y subsidios, y sus principales cultivos trabajados son los granos básicos.

El rompimiento del esquema agrario se profundizó con la adopción del modelo económico neoliberal y por las consecuencias de las crisis mundiales, llevando a un nuevo entorno agrícola en donde el desarrollo de los productores se da de manera desigual en términos productivos, de eficiencia y de tecnología empleada. La nueva directriz del sector estaba basada en las ventajas comparativas y en impulsar la agroindustria, argumentando que el lograr el mayor nivel de productividad y rentabilidad estaba solo en las manos de los grandes productores, convirtiendo al pequeño productor en un sujeto innecesario para el desarrollo económico (Rubio, 1996).

La competitividad del sector agrícola se trató de promover mediante el retiro de la participación del Estado en la economía del país, la apertura externa y la reforma al artículo 27 constitucional. No obstante, terminaron agravando la crisis del sector, mediante las modificaciones hechas al artículo 27 constitucional, las tierras transitan de una propiedad social a una propiedad privada, para eliminar el minifundio y formar grandes unidades de producción con el objetivo de ser rentables para la agroindustria, mientras que el TLCAN, trajo consigo la desaparición de los precios de garantía, la carencia de mercados para los productos internos y la ruina generalizada de los campesinos y de pequeños productores (Rubio, 2003).

La nueva orientación del campo mexicano se lograría mediante la entrada en escena de los inversionistas extranjeros, una vez que la política de apertura comercial y el nuevo marco legal de tenencia de la tierra, lograran su cometido de hacer una limpieza de los terrenos del sector. De esta manera las innovaciones existentes en la actividad agrícola son explicadas por la ampliación de las escalas productivas derivada de la concentración territorial por la venta de las tierras ejidales (Ramírez, 1996).

La apertura comercial era el estandarte del nuevo modelo económico, la cual prometía favorecer al productor agrícola al hacer accesibles a precios y calidades de competencia internacional, insumos novedosos como maquinaria e implementos agrícolas, ganaderos y forestales (Ramírez, 1996). Pero la realidad fue otra, y los efectos esperados en el campo fueron totalmente negativos; el mismo Ramírez señala que se experimentó una contracción de las escalas de producción y un estancamiento tecnológico por el encarecimiento de maquinaria, insumos, créditos, así como el recorte presupuestal destinado para la investigación y extensión agropecuaria.

Por lo tanto, las nuevas políticas públicas destinadas al campo se traducen solamente a programas de gasto fiscal que no atendían a las necesidades de los productores, regidas por las tendencias del

mercado mundial (Garay, 2012). Lo anterior condujo a que el cambio estructural que se tenía planeado para el sector agrícola, no se concretara.

La problemática radica en que el sector agropecuario es cada vez menos competitivo, debido al aumento de importaciones alimentarias, lo que implica la disminución de capacidad de producir y de distribución en los mercados. Esto se traduce a una dependencia alimentaria, que, sumada a los niveles tecnológicos y de inversión en el sector, genera como resultado una economía agrícola poco competitiva (Flores & Álvarez, 2003).

En Zacatecas, el entorno social, económico y las propias condiciones geográficas y climáticas terminaron por polarizar el sector agrícola, en el que no surgieron las condiciones necesarias para formalizar una agricultura empresarial orientada a los grandes mercados nacionales e internacionales, tampoco las de infraestructura, tecnología, clima y agua para atraer inversiones hidráulicas y agrícolas de gobierno federal que pudieran expandir la superficie de riego en el estado (Gaytán et al., 2017).

Como resultado de lo anterior se consolidó una agricultura de subsistencia campesina, en donde se concentran la mayoría de las tierras del estado y de menor vocación dedicada a la producción de los granos básicos. Este tipo de producción se caracteriza por su baja competitividad ante las agriculturas avanzadas de otras regiones (Gaytán et al., 2017). Ante ello, Zacatecas se caracteriza por contar con una débil y atrasada estructura agrícola, dependiente de los subsidios, apoyos y precios de garantía por parte del gobierno federal, por contar con una modesta y joven agricultura empresarial concentrada principalmente en las mejores tierras del estado que cuenten con disposición de riego, con mejor fertilidad de tierras y clima favorable.

Flores (2003), señala que, aunque el estado de Zacatecas experimenta un avance tecnológico en los sistemas de producción

como tecnificación de riego, cosecha de agua, agricultura protegida y equipamiento de infraestructura, la productividad del sector sigue siendo baja en la mayoría de los sistemas de producción. Con un nivel bajo de productividad, la acumulación de capital que hace posible el cambio tecnológico en el sector se convierte en una tarea compleja.

Además, el sector agrícola enfrenta diversos problemas que obstaculizan la rentabilidad deseada por los productores, como la falta de financiamiento, pérdida de cosecha por cuestiones climáticas, altos costos de los insumos, pérdida de fertilidad de las tierras, dificultades al momento de comercializar la cosecha y la falta de capacitación, esto se traduce en bajos niveles de competitividad (Garay, 2012). Sin embargo, estos problemas se pueden neutralizar mediante el uso de tecnología, que según Chávez González (2022), coexisten con la agricultura para alcanzar una mayor productividad en alimentos y por lo tanto una mayor rentabilidad y competitividad.

El sector agrícola en Zacatecas arrastra una serie de problemáticas desde la instauración del modelo económico neoliberal, caracterizándose por responder a las exigencias de los mercados internacionales y descuidar al mercado interno, Marañón y Fritsher (1988), mencionan que los lazos comerciales derivados del TLCAN, no llevaron a México por la tan ansiada senda del crecimiento, de productividad y competitividad, sino por el contrario, el balance es negativo, sobre todo para los segmentos que se encargan de producir granos básicos, que representan el grueso de la población. Además, el sector se comporta de manera heterogénea ocasionando una competitividad diferencial entre los tipos de productores del sector. Ante esto el objeto de estudio es conocer el nivel de competitividad de los municipios de Zacatecas y caracterizarlos a partir del nivel en que se encuentren posicionados.

Cálculo de la competitividad agrícola municipal en Zacatecas

Dentro de los artículos dedicados al estudio de la competitividad, existen distintas metodologías utilizadas para medir la competitividad del sector agrícola en México, como la de Álvarez y Macías (2003), que realizan un análisis de competitividad para una confederación agrícola en Sinaloa, mediante una metodología que combina el Modelo de Diamante de Porter y el análisis de Fortalezas-Oportunidades-Debilidades-Amenazas (FODA).

Bustamante-Lara et al. (2020), realizan un estudio en el cual se mide el nivel de competitividad de la producción de fresas en México para el año 1980 a 2019. Su metodología consiste en la aplicación de tres indicadores relacionados con la competitividad y la especialización para cada una de las entidades federativas: Coeficiente de localización, el Indicador de Especialización Internacional de Lafay y, el Índice de Ventaja Comercial Revelada de las Exportaciones.

Vargas et al. (2022), realizan una investigación similar a la anterior, en la cual se analiza el comportamiento de la producción de los principales productos que exporta México desde 1980 hasta 2016, con la finalidad de identificar el efecto del comercio internacional en la competitividad y la especialización de las regiones agrícolas. Los autores emplean técnicas de análisis regional como el coeficiente de localización y el shift and share.

La metodología de Paniagua (2017), es un parteaguas para la estructura metodológica de la presente investigación, en la cual realiza un índice de competitividad agrícola para los municipios del estado de Michoacán, con la finalidad de clasificar el grado de competitividad a nivel productores, a partir de cinco índices: tecnología, infraestructura, tracción, calidad de superficie y acceso a financiamiento.

Las anteriores metodologías brindan un panorama general metodológico basado en la producción agrícola, en este artículo

la medición de la competitividad, además de estimarse con la productividad, se toman en cuenta las capacidades competitivas o herramientas con las que cuentan los agricultores para llevar a cabo su actividad agrícola.

Ante esto, para determinar el nivel de competitividad de los municipios de Zacatecas, se elaboró un Índice de Competitividad Agrícola Municipal (ICAM), el cual está conformado por siete índices sintéticos que engloban las capacidades competitivas de los productores en las siguientes dimensiones: tecnología, riego, infraestructura, tracción, financiamiento, apoyos federales y tamaño de superficie agrícola.

Posteriormente se realiza un análisis de correlación simple entre el ICAM y el valor de la producción agrícola municipal (VPA) para el año 2022, con la finalidad de verificar si existe alguna relación para corroborar la teoría de Krugman (1994) y Porter (2007), en donde para una región o un sector su competitividad depende de factores internos que aumentan la productividad de las actividades económicas.

Por último, se realiza un análisis espacial mediante un Índice de moran Bivariado o LISA para analizar la asociación espacial entre el ICAM y el VPA, y analizar si la distribución espacial de los municipios más competitivos responde a la existencia de patrones espaciales de concentración o dispersión.

Preparación de los datos

La información sobre las capacidades competitivas de los productores y el valor de la producción agrícola, se recopiló gracias al Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), mediante el Censo Agropecuario 2022; cabe recalcar que desde el 2007 no se había realizado otro censo agropecuario, por lo tanto, se cuenta con información fresca, reciente y poca trabajada. La otra fuente de

información corresponde al Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), utilizando el Anuario Estadístico de la Producción Agrícola para el año 2022.

De manera siguiente, la información fue dividida en 7 dimensiones: 1) Tecnología, 2) Riego, 3) Infraestructura e Instalaciones, 4) Tracción, 5) Financiamiento, 6) Apoyos federales, y 7) Tamaño de superficie. Cada dimensión está conformada por distintas variables, que suman un total de 39.

Cada dimensión corresponde a un índice sintético, que como su nombre lo dice, sintetiza en un índice la información de distintas variables. A continuación, se presenta una tabla que resume la base de datos y la conformación de las dimensiones con las variables que las conforman:

Tabla 1. Dimensiones

Dimensión	Variables	Indicador	Índice sintético
Tecnología	Semilla criolla (SC)	% de Unidades de producción que emplean:	Tec =
	Semilla mejorada (SM)		
	Semilla certificada (SR)		
	Semilla transgénica (ST)		
	Fertilizantes químicos (FQ)		
	Abonos naturales (AN)	Semillas = SC, SM, SR, ST	
	Rotación de cultivos (RC)		
	Herbicidas químicos (HQ)		
	Herbicidas orgánicos (HO)	Fertilizantes = FQ, AN	
	Insecticidas químicos (IQ)		
	Insecticidas orgánicos (IO)	Herbicidas = HQ, HO	
	Fungicidas químicos (FunQ)		
	Fungicidas orgánicos (FunO)	Insecticidas = IQ, IO	
	Uso de sembradoras (SEM)		
	Uso de cosechadora, trilladora o combinada (COTRI)	Fungicidas = FQ, FO	
	Uso de desgranadoras (DES)		
	Control biológico de plagas (CBP)	SEM	
	Uso de acolchado (ACOLCH)	COTRI	
	Recepción de asistencia técnica para la producción (ATEC)	DES	
	Algunas otras tecnologías (OTEC)	CBP	
	ACOLCH		
	ATEC		
	OTEC		

Dimensión	Variables	Indicador	Índice sintético
Riego	Riego por gravedad (RGR) Riego microaspersión (RMA) Riego aspersión (RA) Riego por goteo (RGO)	% Unidades de producción que emplean: RGR, RMA, RA, RGO	Riego =
Infraestructura e instalaciones	Bodega o almacén (BOD) Graneros, silos o patios para manejo y resguardo de cosechas (SILOS) Desfibradora o despepitadora (DESFIBR) Deshidratadora (secadora) (SEC) Empacadora de frutas o verduras (EMPC) Seleccionadora (SELECC) Cuarto frío o cámara frigorífica (CF) Otras instalaciones (OINST)	%Unidades de producción que emplean: BOD, SILOS, DESFIBR, SEC, EMPC, SELECC, CF, OINST.	IeI =
Tracción	Tractor Camioneta Camión	% Unidades de producción que emplean: Tractor, camioneta, camión.	Tr =
Financiamiento	Crédito (CRED) Seguro (SEG)	Unidades de Producción con: CRED, SEG.	FIN =
Apoyos federales	Producción para el bienestar (PBIEN) Fertilizantes para el bienestar (FBIEN) Precios de garantía (PG) Otros programas sociales (OPG)	% Unidades de producción con: PBIEN, FBIEN, PG, OPG.	AF =
Tamaño de superficie	Tamaño de superficie (TS)	Superficie de las unidades de producción	TS =

Fuente: elaboración propia con base en el Censo Agropecuario (2022).

Después de identificar las variables que conforman las 7 dimensiones, se procede a formular los indicadores, mediante el programa de R-Studio. Cada indicador corresponde a una variable, con excepción de la dimensión de tecnología, en el cual se agruparon diversas variables con respecto a sus familias, es decir, todos los tipos de semilla se agruparon en un solo indicador, todos los tipos de

fertilizantes se agruparon en un solo indicador, y de la misma manera para los herbicidas, insecticidas y fungicidas.

La creación de estos indicadores se llevó a cabo sumando las variables que corresponden a cada familia y dividiéndolas entre ellas mismas, de manera que el nuevo indicador corresponde al promedio de las variables. Esto se resume a la siguiente función, utilizando como ejemplo la familia de las semillas:

$$semillas = \frac{SC + SM + SR + ST}{4}$$

Después de conformar los indicadores necesarios, se procede a estandarizar la información, con la finalidad de analizar los datos como una sola unidad de medida. Esto debido a que en la base de datos se encuentra información en valores absolutos y porcentajes. Se estandarizó la información a partir del cociente de la diferencia entre el dato del municipio y la media estatal dividido entre la desviación estándar.

$$V_{x1} = [(x1 - x_m) / \sigma_x]$$

Dónde: V_{x1} = Valor estandarizado; $x1$ = valor del indicador; x_m = media de la serie; y σ_x = desviación estándar de la serie.

Método: análisis de componentes principales (ACP)

Posteriormente a la estandarización de los indicadores, se procede a realizar el método de Análisis de Componentes Principales (ACP) para cada dimensión. Esta técnica es desarrollada por el economista Hottelling en 1933, pero, en la literatura económica podemos encontrar sus orígenes en los análisis de Pearson en 1901.

El objetivo de este método es reducir el número de variables inicial de un análisis, con la finalidad de explicar el mayor porcentaje posible de variabilidad de la muestra con un menor número de

variables, denominadas “Componentes principales” y que serán combinaciones lineales de los datos de origen (Domínguez et al., 2011).

Dicho lo anterior, se procede a aplicar el ACP para cada una de las 7 dimensiones, con la finalidad de obtener los siete índices sintéticos. El modelo arrojará tantos componentes principales como indicadores que componen la base de datos. Ante esto, se tomó solo el primer componente principal de cada dimensión, debido a que este, engloba la mayor parte de la variabilidad de los datos. Como lo menciona Domínguez et al. (2011), el propósito de esta técnica es explicar la mayor parte de variabilidad total del sistema con el menor número posible de componentes.

Los ACP se aplican mediante la siguiente función brindada por Hotelling (1933):

$$Z_h = \sum_{j=1}^m w_{hj} \times IN_j$$

Dónde: Z_h = Es el componente principal; w_{hj} = Representa las ponderaciones o pesos del componente principal, y IN_j = es la variable original del conjunto de indicadores iniciales.

Agrupación de los Índices sintéticos y conformación del ICAM

De manera siguiente, después de la conformación de los 7 índices sintéticos de cada dimensión estudiada, se procede a conjuntarlos en un solo índice compuesto (ICAM). Para poder realizar su agrupación se le debe asignar un peso a cada índice sintético mediante la varianza explicada por cada componente principal. Esto se explica mediante la siguiente función:

$$ICAM = a_1X_1 + a_2X_2 + \dots + a_kX_k$$

Dónde: a = Peso del componente principal (varianza); X = Variables originales (índices sintéticos).

Como resultado, se obtiene el ICAM que revela el grado de competitividad agrícola de los 58 municipios para el estado de Zacatecas. Ahora, para una mejor visualización y comprensión de los datos, se normaliza el índice para que obtenga valores de 0 a 1. Esta técnica es relativamente sencilla, los valores mínimos y máximos estandarizados se desplazan a los valores 0 y 1, respectivamente, y los datos estandarizados se transforman en el rango (0 a 1), de modo que la distribución original se mantiene, excepto para el factor escala (Farrus et al., 2007).

La finalidad de la normalización es establecer un ranking de los municipios de mayor a menor nivel de competitividad agrícola, de modo que aquel municipio que este más cercano a 1, será el más competitivo y viceversa, el que esté más cerca de 0 será el menos competitivo. La normalización se efectuó mediante la siguiente función:

$$X' = \frac{X - X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}}$$

Dónde: X' = Valor normalizado; X = Valor original de la variable; $X_{\min}$ = Valor mínimo de la variable en el conjunto de datos; $X_{\max}$ = Valor máximo del conjunto de datos.

Relación entre el ICAM y el Valor de Producción Agrícola (VPA)

Después de la realización del ICAM, se obtiene el valor de la producción agrícola (VPA) por cada municipio para el año 2022 mediante el Anuario Estadístico de la Producción Agrícola del Sistema de Información Agroalimentaria y pesquera.

La finalidad es corroborar la significancia del ICAM con el VPA, mediante un análisis de correlación simple, para apreciar si existe una relación entre estos dos índices a fin de corroborar la teoría de

la competitividad. La regresión lineal simple sería expresada de la siguiente manera:

$$ICAM = \beta * VPA$$

Mapas de rupturas naturales

Para revelar crudamente los municipios más competitivos y menos competitivos, se utiliza el método de rupturas naturales (Jenks) debido a que se basa en las agrupaciones naturales propias a de una serie de datos.

Estos mapas, funcionan mediante el algoritmo de rupturas naturales de Jenks (1967), el cual genera clases de datos conforme a las agrupaciones naturales propias de los datos, es decir, agrupa los valores similares y evidencia las diferencias entre clases.

Los mapas de rupturas naturales conforman una metodología que permite geovisualizar los resultados tanto del ICAM como del VPA. Gracias a la normalización del ICAM y mediante estos mapas se podrá observar el comportamiento de los dos índices en un espacio geográfico.

I de Moran (LISA) bivariado

Antes de realizar esta técnica, es necesario precisar los criterios de cercanía de los fenómenos geográficos a analizar. Uno de los criterios de cercanía puede ser definido por el criterio de “vecindad”, el cual muestra aquellas unidades geográficas de análisis que tienen contigüidad física.

Existen diversos criterios de vecindad considerados en el análisis espacial, Siabato y Guzmán-Manrique (2019), mencionan los distintos criterios de vecindad, los cuales son: lineal, lineal bidireccional, torre, alfil y reina. Para el presente se utiliza la vecindad tipo reina, debido a que abarca el total de unidades geográficas que comparten frontera.

La vecindad tipo reina también tiene su tipología, existen dos tipos de órdenes de las unidades espacial de análisis (en este caso, los 58 municipios de Zacatecas), los de primer orden que se entienden por vecinos y los de segundo orden, entendiéndose como los vecinos de los vecinos.

Siabato y Guzmán (2019), señalan que la vecindad se establece a través de una matriz de contigüidad W , cuyos componentes se demuestran como w_{ji} , que representan el criterio de vecindad de las unidades de análisis i y j . Los autores señalan que esta matriz puede ser usada para gran parte de los métodos de análisis de los fenómenos geográficos. Moran (1948), formula esta matriz de la siguiente forma:

$$W = \begin{bmatrix} W_{11} & W_{12} & \cdots & W_{1n} \\ W_{21} & W_{22} & \cdots & W_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ W_{n1} & W_{n2} & \cdots & W_{nn} \end{bmatrix}$$

W es una matriz de $n \times n$, en donde n corresponde al número de unidades de análisis que miden como se relacionan entre si las filas (i) y las columnas (j). La construcción de esta matriz consiste en plasmar el grado de vecindad entre las unidades de análisis, que sería para los 58 municipios, la observación w_{ji} toma el valor de 1 cuando existe vecindad entre i y j y toma el valor de 0 cuando no existe vecindad entre los municipios.

Ahora sí, dentro de los índices que permiten cuantificar los comportamientos espaciales de fenómenos, se presentan dos tipos: globales y locales. La principal diferencia entre ellos es que los índices globales no son sensibles a escenarios en donde se presenta heterogeneidad en el comportamiento del fenómeno geográfico. Por otro lado, Anselin (1995), desarrolla el Indicador Local de Asociación Espacial (LISA) en el que, si considera espacios específicos, que permiten identificar subzonas en las que se presenta agrupamiento o dispersión del fenómeno analizado, mediante la siguiente ecuación:

$$I_i = \frac{Z_i}{\sum_i Z_i^2 IN} \sum_{j \in J_i} W_{ij} Z_j$$

Donde W_{ij} se refiere a los pesos de la matriz, Z_i es el valor correspondiente en un municipio i y J_i el conjunto de regiones vecinas a i .

Resultados. Competitividad de los municipios de zacatecas

Factores que impactan en la competitividad en Zacatecas

El primer resultado del análisis corresponde a los pesos que toma cada índice sintético para la conformación del ICAM. Cada una de las siguientes dimensiones, corresponde a un índice sintético, a los cuales se les asignó un peso, calculado mediante la varianza que explica cada uno, asimismo la suma de cada uno da como resultado el ICAM.

Tabla 2. Pesos de los índices sintéticos

Tecnología	Riego	Infraestructura	Tracción	Financiamiento	Apoyo federal	Superficie
19.753	11.1417	6.9001	13.1668	17.2861	11.999	19.753

Fuente: elaboración propia. En base del ICAM, con información del censo agropecuario 2022.

Se puede identificar que la dimensión de tecnología, superficie agrícola y financiamiento son la que más peso tienen en el índice, traduciéndose a que la competitividad agrícola en Zacatecas está sentada en estas tres bases, es decir, para que una unidad de producción sea competitiva, debe tener entre sus capacidades competitivas un mayor tamaño de la parcela que permita un uso intensivo de la tecnología, además contar con financiamiento para acceder a la implementación de tecnología.

Índice de Competitividad Agrícola Municipal

El Índice de Competitividad Agrícola Municipal revela el grado de competitividad de los 58 municipios de mayor a menor nivel.

Figura 1. Índice de Competitividad Agrícola Municipal

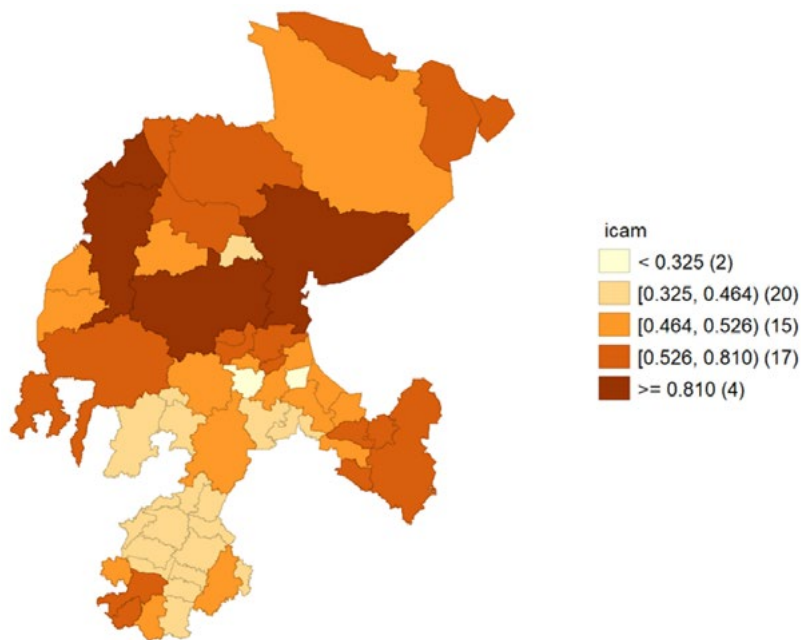
Ranking	Municipio	ICAM	Ranking	Municipio	ICAM
1	Fresnillo	1.00	30	Nochistlán de Mejía	0.49
2	Sombrerete	0.93	31	Villa González Ortega	0.49
3	Miguel Auza	0.92	32	Villanueva	0.48
4	Villa de Cos	0.81	33	General Pánfilo Natera	0.48
5	Valparaíso	0.68	34	Mezquitil del Oro	0.48
6	Pinos	0.65	35	Morelos	0.48
7	General Francisco R. Murguía	0.62	36	Jiménez del Teul	0.46
8	Pánuco	0.62	37	Genaro Codina	0.46
9	El Salvador	0.60	38	Monte Escobedo	0.45
10	Río Grande	0.59	39	Tlaltenango de Sánchez Román	0.45
11	Juan Aldama	0.58	40	Moyahua de Estrada	0.45
12	Melchor Ocampo	0.57	41	Tabasco	0.45
13	Concepción del Oro	0.56	42	Huanusco	0.43
14	Vetagrande	0.56	43	Apulco	0.43
15	General Enrique Estrada	0.56	44	Tepetongo	0.43
16	Teúl de González Ortega	0.54	45	Jalpa	0.42
17	Trinidad García de la Cadena	0.54	46	Atolinga	0.42
18	Noria de Ángeles	0.54	47	Tepechitlán	0.41
19	Villa García	0.54	48	Cañitas de Felipe Pescador	0.40
20	Calera	0.53	49	Juchipila	0.40
21	Villa Hidalgo	0.53	50	Luis Moya	0.38
22	Loreto	0.52	51	Susticacán	0.38
23	Guadalupe	0.52	52	Cuauhtémoc	0.38
24	Mazapil	0.52	53	Momax	0.36
25	Jerez	0.51	54	El Plateado de Joaquín Amaro	0.36
26	Sain Alto	0.51	55	Santa María de la Paz	0.35
27	Chalchihuites	0.51	56	Apozol	0.33
28	Ojocaliente	0.50	57	Trancoso	0.11
29	Benito Juárez	0.49	58	Zacatecas	0.00

Fuente: elaboración propia, con información del censo agropecuario 2022

Mapa de rupturas naturales para el ICAM

Mediante la aplicación del método de rupturas naturales en un mapa, el Índice de Competitividad Agrícola Municipal (ICAM) se dividió entre municipios con un nivel muy alto, alto, medio, bajo y muy bajo en cuanto a competitividad se refiere, en este caso hacemos énfasis en los extremos del índice, es decir los municipios con muy alta y muy baja competitividad.

Figura 2. Mapa de rupturas naturales del ICAM para el estado de Zacatecas



Fuente: elaboración propia. Procesado en GeoDa.

Este método identificó a Fresnillo, Sombrerete, Miguel Auzay y Villa de Cos como los municipios con un nivel muy alto de competitividad agrícola; por otro lado, se identificó a Trancoso y Zacatecas como los municipios con un nivel muy bajo de competitividad.

Índice del Valor de la Producción Agrícola

En cuanto a la productividad, el siguiente índice engloba el valor de la producción agrícola municipal para el año 2022, con la finalidad comparar y corroborar los resultados obtenidos del ICAM con el Valor de la Producción Agrícola (VPA).

Figura 3. Índice del Valor de Producción Agrícola (VPA) por municipio

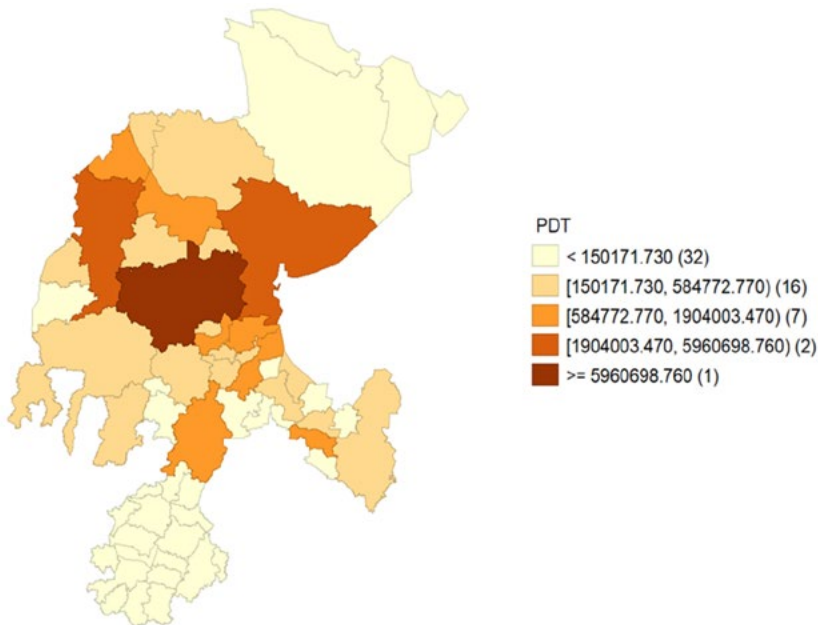
Ranking	Municipio	VPA	Ranking	Municipio	VPA
1	Fresnillo	5960698.8	30	Teúl de González Ortega	118950.8
2	Villa de Cos	2215854.6	31	Jalpa	114806.6
3	Sombrerete	1904003.5	32	Tepechitlán	108143.8
4	Loreto	926023.8	33	Tepetongo	107348.5
5	Guadalupe	892929.6	34	Nochistlán de Mejía	87048.2
6	Calera	820848.2	35	Apozol	71053.2
7	Pánuco	814632.6	36	Benito Juárez	70415.4
8	Miguel Auza	749106.7	37	Luis Moya	68433.8
9	Villanueva	607181.9	38	Villa González Ortega	66105.1
10	Río Grande	584772.8	39	Tabasco	59564.5
11	Pinos	506785.9	40	Atolinga	58596.5
12	Valparaíso	467006.6	41	Trinidad García de la Cadena	57998.8
13	Jerez	452961.0	42	Santa María de la Paz	54398.1
14	Sain Alto	346043.1	43	Juchipila	53975.3
15	Juan Aldama	325654.0	44	Jiménez del Teul	42402.3
16	General Enrique Estrada	308978.5	45	Villa García	37855.3
17	Noria de Ángeles	254543.2	46	El Plateado de Joaquín Amaro	37257.6
18	General Francisco R. Murguía	252961.4	47	Huanusco	34916.6
19	Monte Escobedo	248173.2	48	Momax	32803.9
20	Zacatecas	215252.8	49	Cuahtémoc	30224.7
21	Vetagrande	211448.7	50	Moyahua de Estrada	29929.3
22	Morelos	201109.7	51	Mezquital del Oro	28095.9
23	Chalchihuites	175410.8	52	Apulco	27095.6
24	Ojocaliente	173052.2	53	Genaro Codina	22199.7
25	General Pánfilo Natera	155219.0	54	Concepción del Oro	11642.6
26	Cañitas de Felipe Pescador	150171.7	55	Mazapil	9810.1
27	Villa Hidalgo	149123.4	56	Susticacán	5053.3
28	Trancoso	140305.7	57	El Salvador	1534.8
29	Tlaltenango de Sánchez Román	139360.6	58	Melchor Ocampo	380.8

Fuente: elaboración propia con base en SIAP (2022).

Mapa de rupturas naturales para el VPA

Aplicando el método de rupturas naturales y plasmándolo en un mapa, de la misma manera que el ICAM, el método arrojó los municipios que se encuentran en un nivel muy alto, alto, medio, bajo y muy bajo de productividad agrícola.

Figura 4. Mapa de rupturas naturales del VPA para el estado de Zacatecas



Fuente: elaboración propia. Procesado en GeoDa.

Mediante este método, se identificó solamente a Fresnillo como el municipio con un nivel muy alto de productividad agrícola, esto debido a que su producción representa el doble que la del segundo y tercer lugar, que corresponde a Villa de Cos y Sombrerete los cuales se ubican en un nivel alto de productividad, en cuanto al nivel muy bajo de productividad se posicionan de igual manera que en el ICAM los municipios de Trancoso y Zacatecas.

Correlación del ICAM respecto al VPA

A primera vista se puede observar que los primeros lugares del ICAM también corresponden a los primeros lugares del VPA, de la misma manera se observa una concordancia entre los últimos lugares de los dos índices. Con la finalidad de corroborar la significancia y la relación entre los índices y comprobar la teoría de la competitividad

de Krugman (1994) y Porter (2007), se realizó una regresión lineal, los resultados fueron los siguientes:

Figura 5. Regresión lineal entre ICAM y VPA

Estadística	Valor
Intercepto	-0.7231
Coeficiente PDT	1.92E-06
Error estándar (Intercepto)	0.2902
Error estándar (PDT)	3.13E-07
Valor t (Intercepto)	-2.492
Valor t (PDT)	6.153
Valor p (Intercepto)	0.0157 (significativo)
Valor p (PDT)	8.57e-08 (significativo)
R-cuadrado	0.4033
Valor p (Estadística F)	8.57E-08

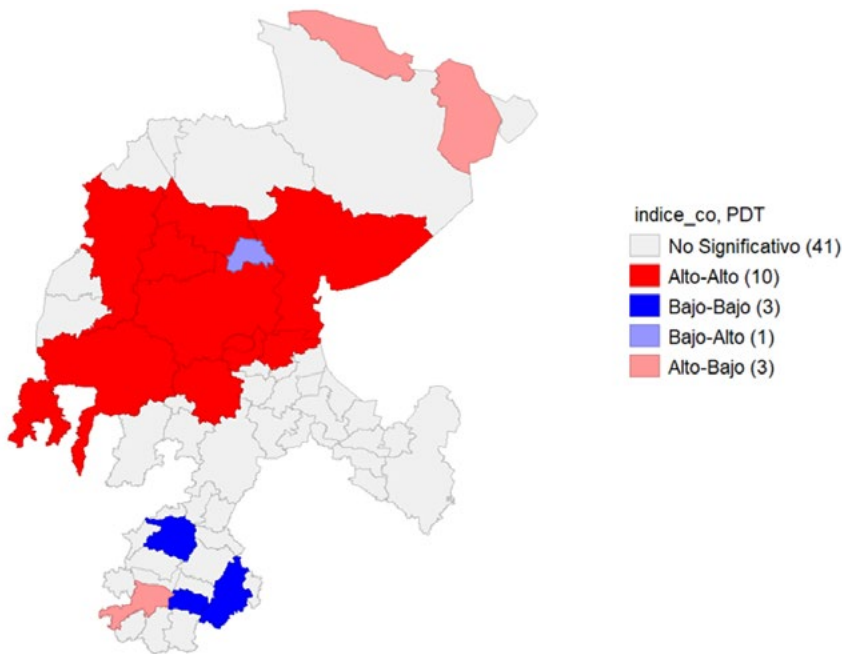
Fuente: elaboración propia.

Se puede observar mediante los valores P, que, sí existe relación significativa entre el ICAM y el VPA, lo cual se puede comprobar que el efecto de la competitividad agrícola municipal se ve reflejado en el valor monetario de la producción, afirmando que, para ser competitivo, primero, se necesita ser productivo.

Agrupación espacial de los municipios competitivos

De manera siguiente, el Indicador Local de Asociación Espacial (LISA) o I de Moran Local Bivariado, fusiona el ICAM y el VPA mediante una regresión espacial. El índice solo toma en cuenta las unidades geográficas que tuvieron significancia, las cuales las divide en Alto-Alto, Bajo-Bajo, Bajo-Alto y Alto-Bajo. El índice fue plasmado en el siguiente mapa:

Figura 6. Mapa de agrupación tipo LISA del ICAM y VPA para el estado de Zacatecas



Fuente: elaboración propia. Procesado en GeoDa.

Para este análisis se hace énfasis en los municipios que resultaron con un alto nivel de competitividad y a su vez con un alto nivel de productividad (Alto-Alto) y a los que resultaron con un bajo nivel de competitividad y a su vez con un bajo nivel de productividad (Bajo-Bajo).

Se puede observar que Fresnillo, Sombrerete, Villa de Cos, Valparaíso, Calera, Jerez, Pánuco, Río Grande, Sain Alto y General Enrique Estrada son los municipios más competitivos y productivos del estado de Zacatecas. Se afirma que estos municipios tienden a concentrarse y en base a los criterios de cercanía o vecindad, Fresnillo es el eje vertebrador de esta región, debido a que es el municipio mayor nivel de competitividad y a que comparte frontera con los demás municipios competitivos.

En esta región se genera un efecto de contagio o de spillover por parte del municipio central (Fresnillo), esto quiere decir que los otros nueve municipios competitivos comparten características similares en cuanto a la actividad agrícola se refiere con el municipio central del clúster. De tal manera que ante un aumento de cualquier variable correspondiente a alguna de las siete dimensiones del ICAM, que puede ser, por ejemplo, mediante alguna política pública que mejore las condiciones tecnológicas de los productores, podría ser aplicada en el municipio central y con esto debido al efecto de contagio, los efectos causados por el aumento de la variable también van a impactar en los demás municipios que conforman la región competitiva.

Sin embargo, dentro de esta región competitiva, el municipio de Cañitas de Felipe Pescador presenta un comportamiento atípico en comparación con los demás vecinos circundantes, se encuentra establecido en el nivel Bajo-Alto, es decir, tiene un nivel bajo de competitividad, pero a su vez un alto nivel de productividad. Esto se debe a que las unidades de producción agrícola en el municipio cuentan con carencias en la gestación de capacidades competitivas, sin embargo, su alta productividad en cuanto al valor monetario, puede depender del tipo de cultivos que produce y de la utilización de factores productivos más tradicionales.

Los municipios de Juchipila, Nochistlán y Tlaltenango están ubicados en el nivel Bajo-Bajo, en donde se carece de competitividad y de productividad. Los tres municipios tienden a tener un comportamiento espacial de dispersión, sin embargo, están ubicados en el sur del estado.

Conclusiones

Se afirma la teoría de Krugman y Porter, la cual indica que en una región o en un sector, la competitividad es explicada mediante factores internos de la economía que se encargan de maximizar la productividad, de manera que, para ser competitivo, se necesita ser

productivo. Por ende, para ser competitivo dentro del sector agrícola en Zacatecas, las unidades de producción deben tener un alto número de superficie agrícola, acceder a financiamientos e implementar tecnologías en sus parcelas.

Se logra cuantificar las capacidades competitivas de los productores, e identificar los municipios más y los menos competitivos mediante la realización del Índice de Competitividad Agrícola Municipal (ICAM) y del índice del Valor de Producción Agrícola (VPA).

Los resultados demuestran que Zacatecas cuenta con una región agrícola competitiva situada en el centro del estado, conformada por 10 municipios los cuales comparten características similares en cuanto a capacidades competitivas y productivas. Fresnillo es el municipio central de la región, siendo el más competitivo y el que comparte frontera con los otros 9, por lo tanto, si se pretende realizar una política pública con la finalidad de mejorar las condiciones agrícolas, podría aplicarse en Fresnillo, y debido al efecto de contagio, los efectos de esta política también afectarían a los vecinos.

Se identifica, de acuerdo con los resultados del análisis que los municipios de Trancoso, Zacatecas, Juchipila, Nochistlán y Tlaltenango requieren ser fortalecidos en sus capacidades competitivas agrícolas mediante la aplicación de políticas públicas que generen un entorno competitivo en la región.

Referencias

- Álvarez, A., & Macías, A. F. (2003). Análisis de competitividad de una confederación agrícola en Sinaloa. *Sociedades Rurales, Producción y Medio Ambiente*, (7), 47–56.
- Amaro-Rosales, M., & Gortari-Rabiela, R. D. (2016). Políticas de transferencia tecnológica e innovación en el sector agrícola mexicano. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo*, 13(3), 449–471.
- Anselin, L. (1995). Local indicators of spatial association—LISA. *Geographical Analysis*, 27(2), 93–115.
- Arias Segura, J., & Segura Ruiz, O. (2004). *Índice de ventaja comparativa revelada: un indicador del desempeño y de la competitividad productivo-comercial de un país*. InterCambio.
- Ayala Garay, A. V., Sangerman-Jarquín, D. M., Schwentesius Rindermann, R., Almaguer Vargas, G., & Jolalpa Barrera, J. L. (2011). Determinación de la competitividad del sector agropecuario en México, 1980–2009. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 2(4), 501–514.
- Balassa, B. (1965). Liberalización comercial y ventaja comparativa “revelada” 1. *The Manchester School*, 33(2), 99–123.
- Bejarano Ávila, J. A. (1995). *Elementos para un enfoque de la competitividad en el sector agropecuario*.
- Benzaquen, J., Carpio, L. A. D., Zegarra, L. A., & Valdivia, C. A. (2010). *Un índice regional de competitividad para un país*. *Revista de la CEPAL*, (102), 69–86.
- Bustamante-Lara, T. I., Vargas-Canales, J. M., Díaz-Sánchez, F., & Rosas-Vargas, R. (2020). Especialización y competitividad en el sector agrícola mexicano: caso fresa. *Agro Productividad*, 13(8).
- Cellini, R., & Soci, A. (2002). Pop competitiveness. *PSL Quarterly Review*, 55(220).
- Chávez González, M. E., Armas Arévalos, E., & Ayvar Campos, F. J. (2022). *El uso de las Tecnologías de la Información y Comunicación en la agricultura mexicana, un enfoque para el desarrollo*. UNAM.
- Chávez, L. (2008). Perspectivas de la competitividad del sector agropecuario en Zacatecas. En E. Hernández González, L. Hernández Vega, & R. E. Partida Rocha, *Las regiones en el contexto de la globalización*. Centro Universitario de la Ciénega.

- Domínguez Serrano, M., Blancas Peral, F. J., Guerrero Casas, F. M., & González Lozano, M. (2011). Una revisión crítica para la construcción de indicadores sintéticos. *Revista de Métodos Cuantitativos para la Economía y la Empresa*, 11, 41–70.
- Esser, K., Hillebrand, W., Messner, D., & Meyer-Stamer, J. (1996). *Competitividad sistémica: nuevo desafío para las empresas y la política*. CEPAL.
- Fajnzylber, F. (1990). *Industrialización en América Latina: de la caja negra al casillero vacío: comparación de patrones contemporáneos de industrialización*. CEPAL.
- FAO. (2018). *México rural del Siglo XXI*.
- Farrús, M., Anguita, J., Hernando, J., & Cerdà, R. (2007). Fusión de sistemas de reconocimiento basados en características de alto y bajo nivel. En *III Congreso da Sociedade Española de Acústica Forense: Actas do Congreso* (pp. 27–28). Dirección Xeral de Creación e Difusión Cultural.
- Flores, V., & Verduzco, J. J. (2003). *Integración económica al TLCAN y participación estatal en el sistema de innovación tecnológica en granos y oleaginosas en México*. Plaza y Valdés.
- Flores Macías, A., & Alvarez Macías, A. (2003). Análisis de competitividad de una confederación agrícola en Sinaloa. *Sociedades Rurales, Producción y Medio Ambiente*, 4(7), 35–46.
- Gaytán Alfaro, E. D., Jiménez Díaz, R., & Pérez Escatel, A. A. (2017). *Matriz de insumo-producto para la economía de estado de Zacatecas: un enfoque de clusters*. Uchile.
- Garay, A. V. A. (2012). *Competitividad del sector agropecuario en México: implicaciones y retos*. Plaza y Vlades.
- Hotelling, H. (1933). Analysis of a complex of statistical variables into principal components. *Journal of Educational Psychology*, 24, 417–441.
- INEGI. (2022). *Censo Agropecuario 2022*.
- Jenks, G. F. (1967). El concepto de modelo de datos en la cartografía estadística. *Anuario Internacional de Cartografía*, 7, 186–190.
- Krugman, P. (1994). Competitividad: una obsesión peligrosa. *Foreign Affairs*, 73.
- Laos, E. H. (2000). *La competitividad industrial en México*. Plaza y Valdés.
- Morán, P. A. (1948). The interpretation of statistical maps. *Journal of the Royal Statistical Society. Series B (Methodological)*, 10(2), 243–251.

- Paniagua, C. F. O., Jiménez, Z. T. I., & Gómez, P. O. (2017). Competitividad agrícola de los municipios de Michoacán. *COMMERCIUM PLUS*, 1(2), 1–28.
- Porter, M. (2007). La ventaja competitiva de las naciones. *Harvard Business Review*, 85(11), 69–95.
- Ramirez-Miranda, C. (1996). Premisas para el cambio tecnológico de una agricultura con campesinos. *Problemas del Desarrollo*, 27(105), 107–128.
- Rivas, E. R., Veyna, Ó. P., & Bernal, L. E. P. (2021). La productividad agrícola en zonas de riego de Zacatecas. *Revista Dinámica Administrativa, Negocios, Gobierno y Sociedad*, 1, 35–68.
- Rubio, B. (1996). *Las organizaciones independientes en México: semblanza de las opciones campesinas ante el proyecto neoliberal*. En Neoliberalismo y organización social en el campo mexicano. Plaza y Valdés.
- Rubio, B. (2003). *¿Por qué el campo mexicano no aguantó más? El dominio global de las transnacionales y el movimiento campesino*. UNAM.
- SIAP. (2022). <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>
- Siabato, W., & Guzmán-Manrique, J. (2019). La autocorrelación espacial y el desarrollo de la geografía cuantitativa. *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía*, 28(1), 1–22.
- Unger, K., Flores, D., & Ibarra, J. E. (2014). Productividad y capital humano: Fuentes complementarias de la competitividad en los estados en México. *El Trimestre Económico*, 81(324), 909–941.
- Vargas, J., Bustamante, T., & Rodríguez, B. (2019). *Especialización y competitividad del sector agrícola en México*. *Debates y innovación*, 3(1), 1-14.

Competitiveness of the Agricultural Sector: An Approximation to the Case of Zacatecas

Competitividade do Setor Agrícola: Uma Aproximação ao Caso de Zacatecas

Enrique Muñoz Alonso

Universidad Autónoma de Zacatecas | Zacatecas | México

<https://orcid.org/0009-0007-6420-0334>

enriquemnz.2000@gmail.com

Licenciado en Economía por la Universidad Autónoma de Zacatecas, Maestro en Economía Regional y Sectorial, con línea de investigación en el análisis económico del sector agropecuario.

Laura Liliana Villa Vázquez

Universidad Autónoma de Zacatecas | Zacatecas | México

<https://orcid.org/0000-0003-0339-1556>

laura_lilianavilla@yahoo.com.mx

Doctora en Administración Pública (IIDE), Maestra en Gestión y Políticas Públicas (UdG), Docente-investigador de la Unidad Académica en Economía, Universidad Autónoma de Zacatecas.

Leobardo Chávez Ruiz

Universidad Autónoma de Zacatecas | Zacatecas | México

<https://orcid.org/0000-0002-0667-2321>

Ichavez@uaz.edu.mx

Leobardo.chavez@gmail.com

Maestro en desarrollo regional por el Colegio de la Frontera Norte, Doctor en Ciencia Política por la Universidad Autónoma de Zacatecas y Docente-investigador de la Unidad Académica en Economía, Universidad Autónoma de Zacatecas

Abstract

The Zacatecan agricultural sector, as in the entire country, has been experiencing various problems that affect its performance, such as the polarization of producers and the decrease in productivity levels and therefore competitiveness. This chapter oversees addressing different perspectives on competitiveness, to land its study in the agricultural sector and analyzes agricultural competitiveness at the level of the productive capacities of producers in the state of Zacatecas, in a municipal breakdown for the year 2022. This is done by carrying out a competitiveness index that covers various dimensions, which correspond to the competitive capabilities of the producers. Subsequently, the results are georeferenced, and use is made of Exploratory Analysis of Spatial Data through the I of Local Moran (LISA) bivariate.

Keywords: Competitiveness; Agricultural Sector; Productivity; Producers.

Resumo

O setor agrícola zacatecano, assim como em todo o país, tem arrastado diversas problemáticas que afetam o seu desempenho, tais como a polarização dos produtores e a diminuição dos níveis de produtividade e competitividade. O presente capítulo se incumba de abordar o conceito de competitividade no setor agrícola. A partir disso, como uma primeira aproximação, analisa-se e mensura-se a competitividade agrícola com base nas capacidades produtivas dos agricultores em Zacatecas, em uma desagregação municipal para o ano de 2022. O exposto é logrado mediante a realização de um índice de competitividade que abrange diversas dimensões, as quais correspondem às capacidades competitivas dos produtores. Posteriormente, os resultados são georreferenciados e faz-se uso da

Análise Exploratória de Dados Espaciais por meio do Indicador Local de Autocorrelação Espacial (LISA) bivariado.

Palavras-chave: Competitividade; Setor agrícola; Produtividade; Produtores.



Religación
Press
Ideas desde el Sur Global



Religación
Press

ISBN: 978-9942-594-29-7

