

ENSAYOS

Revista de Economía

Volumen XLIV, número 1

enero de 2025

Artículos

Índice de Diversidad Heterogénea: una medida de variabilidad y disparidad

Luz Judith Rodríguez Esparza, Julio César Macías Ponce & Roberto Alejandro Kú Carrillo

Análisis de impacto económico multirregional de un desastre en México. El huracán Alex en el noreste del país en 2010

Alfonso Mercado García, David Mendoza-Tinoco & Alba Verónica Méndez Delgado

Macroeconomic costs of gender gaps: the case of Mexico

David Cuberes & Marc Teignier

Análisis y evaluación del sector software en Concepción del Uruguay (Argentina). Situación actual y trayectoria evolutiva

José Ignacio Diez, Gustavo Solanas & Carolina Pasciaroni



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

Universidad Autónoma de Nuevo León
Facultad de Economía
Centro de Investigaciones Económicas



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

Universidad Autónoma de Nuevo León Rector

Dr. med. Santos Guzmán López
Secretario General
Dr. Juan Paura García
Secretario Académico
Dr. Jaime Arturo Castillo Elizondo
Secretario de Extensión y Cultura
Dr. José Javier Villarreal Álvarez Tostado
Director de Editorial Universitaria
Lic. Antonio Jesús Ramos Revillas
Directora de la Facultad de Economía
Dra. Joana Cecilia Chapa Cantú
Director del Centro de Investigaciones Económicas
Dr. Edgar Mauricio Luna Domínguez

Editor Responsable

Dr. Jorge Omar Moreno Treviño
Editores Asociados
Dr. Edgar Mauricio Luna Domínguez
Dr. Daniel Flores Curiel
Dra. Cinthya Guadalupe Caamal Olvera
Dra. Joana Cecilia Chapa Cantú

Consejo Editorial

Alejandro Castañeda Sabido (Comisión Federal de Competencia Económica, México)
Dov Chernichovsky (University of the Negev, Israel)
Richard Dale (University of Reading, Inglaterra)
Alfonso Flores Lagunes (Syracuse University, EUA)
Chinhui Juhn (University of Houston, EUA)
Timothy Kehoe (University of Minnesota, EUA)
Félix Muñoz García (Washington State University, EUA)
Salvador Navarro (University of Western Ontario, Canadá)
José Pagán (The New York Academy of Medicine, EUA)
Elisenda Paluzie (Universitat de Barcelona, España)
Leobardo Plata Pérez (Universidad Autónoma de San Luis Potosí, México)
Martín Puchet (Universidad Nacional Autónoma de México, México)
Patricia Reagan (Ohio State University, EUA)
Mark Rosenzweig (Yale University, EUA)
Ian Sheldon (Ohio State University, EUA)
Carlos Urzúa Macías († 2024) (Tecnológico de Monterrey, México)
Francisco Venegas Martínez (Instituto Politécnico Nacional, México)

Comité Editorial

Ernesto Aguayo Téllez, Lorenzo Blanco González (UANL, México)
Alejandro Ibarra Yúnez (Tecnológico de Monterrey, México)
Vicente Germán-Soto (Universidad Autónoma de Coahuila, México)
Raúl Ponce Rodríguez (Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, México)
Ignacio de Loyola Perrotini Hernández (Universidad Nacional Autónoma de México)

Edición de redacción, estilo y formato

Paola Beatriz Cárdenas Pech
Bricelda Bedoy Varela

Ensayos Revista de Economía, Vol. 44, No. 1, enero-junio 2025. Es una publicación semestral, editada por la Universidad Autónoma de Nuevo León, a través de la Facultad de Economía con la colaboración del Centro de Investigaciones Económicas. Domicilio de la publicación: Av. Lázaro Cárdenas 4600 Ote., Fracc. Residencial Las Torres, Monterrey, N.L. C.P. 64930. Tel. +52 (81) 8329 4150 Ext. 2463 Fax. +52 (81) 8342 2897. Editor Responsable: Jorge Omar Moreno Treviño. Reserva de derechos al uso exclusivo No. 04-2009-061215024200-102, ISSN 1870-221X, ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. Licitud de Título y Contenido No. 14910, otorgado por la Comisión Calificadora de Publicaciones y Revistas Ilustradas de la Secretaría de Gobernación. Registro de marca ante el Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial: 1182771. Impresa por: Serna Impresos, S.A. de C.V., Vallarta 345 Sur, Centro, C.P. 64000, Monterrey, Nuevo León, México. Fecha de terminación de impresión: 1 de enero de 2025. Tiraje: 30 ejemplares. Distribuido por: Universidad Autónoma de Nuevo León, a través de la Facultad de Economía, Av. Lázaro Cárdenas 4600 Ote., Fracc. Residencial Las Torres, Monterrey, N.L. C.P. 64930.

Las opiniones y contenidos expresados en los artículos son responsabilidad exclusiva de los autores.

Índice

<i>Índice de Diversidad Heterogénea: una medida de variabilidad y disparidad</i>	1
Luz Judith Rodríguez Esparza, Julio César Macías Ponce & Roberto Alejandro Kú Carrillo	
<i>Análisis de impacto económico multirregional de un desastre en México. El huracán Alex en el noreste del país en 2010</i>	33
Alfonso Mercado García, David Mendoza-Tinoco & Alba Verónica Méndez Delgado	
<i>Macroeconomic costs of gender gaps: the case of Mexico</i>	63
David Cuberes & Marc Teignier	
<i>Análisis y evaluación del sector software en Concepción del Uruguay (Argentina). Situación actual y trayectoria evolutiva</i>	85
José Ignacio Diez, Gustavo Solanas & Carolina Pasciaroni	



Índice de Diversidad Heterogénea: una medida de variabilidad y disparidad

Heterogeneous Diversity Index: A measure of variability and disparity

Luz Judith Rodríguez Esparza*, Julio César Macías Ponce** y
Roberto Alejandro Kú Carrillo***

Información del artículo	Resumen
Recibido: 16 octubre 2023	En este artículo se propone un nuevo índice de heterogeneidad que compara dos vectores, uno de observación y otro el esperado. Un caso particular resulta cuando el vector esperado tiene las mismas entradas en todos sus elementos, entonces, el índice propuesto resulta ser de desigualdad. La construcción geométrica y analítica del índice propuesto le confiere robustez matemática, además de su amplia gama de aplicaciones en distintas disciplinas como economía, estadística y sociología. En este trabajo hemos aplicado el índice en tópicos como el reparto de bienes, el desarrollo humano y el salario mínimo, obteniéndose resultados bastantes satisfactorios.
Aceptado: 01 noviembre 2024	
Clasificación JEL: C433, D60, I14, I24.	
Palabras clave: heterogeneidad, desigualdad, Gini, distribución de bienes, índice de desarrollo humano.	
Article information	Abstract
Received: 16 October 2023	This paper proposes a new heterogeneity index that compares two vectors, one for observations and the other for expected values. A particular case arises when the expected vector has the same entries in all of its elements, thus, the proposed index serves as a measure of inequality. The geometric and analytical construction of the proposed index gives it mathematical robustness, in
Accepted: 01 November 2024	

* Universidad Autónoma de Aguascalientes, luz.rodriguez@edu.uaa.mx, <https://orcid.org/0000-0003-2241-1102>.

** Universidad Autónoma de Aguascalientes, cesar.macias@edu.uaa.mx, <https://orcid.org/0000-0001-5141-7074>.

*** Universidad Autónoma de Aguascalientes, alejandro.ku@edu.uaa.mx, <https://orcid.org/0000-0003-0425-0122>.



JEL Classification:
C433, D60, I14, I24.

Keywords:
heterogeneity,
inequality, Gini,
allocation of goods,
human development
index.

addition to its wide range of applications in different disciplines such as economics, statistics and sociology. In this work, we have applied the index to topics such as the allocation of goods, and human development, and minimum wage analysis, obtaining quite satisfactory results.

Introducción

De acuerdo a la Real Academia Española (RAE), la heterogeneidad se define como la mezcla de partes de distinta naturaleza. Este concepto es crucial en la investigación de diversas áreas como la economía, la salud, la estadística y la ecología, por mencionar algunas. La heterogeneidad no solo es fundamental para entender la complejidad de los sistemas naturales y sociales, sino que también tiene implicaciones prácticas en la toma de decisiones y en la formulación de políticas. Su impacto se extiende a paradigmas de casos y controles, estudios epidemiológicos, análisis de desigualdad económica y la gestión de recursos naturales, entre otros. Generalmente, la heterogeneidad se mide a través de la varianza, una herramienta estadística que captura la diversidad dentro de un conjunto de datos. Es por esto que medir y analizar la diversidad o variabilidad en un conjunto de datos heterogéneo es un problema importante, que para resolverlo, podemos hacer uso de la relación estrecha entre la heterogeneidad y la desigualdad. Nunes, Trappenberg y Alda (2020) presentan a la heterogeneidad como el grado en que un sistema se desvía de la conformidad perfecta.

Por otro lado, los índices son medidas estadísticas que representan la magnitud de atributos de un ente o fenómeno y los podemos encontrar en distintos contextos. Existen diversos tipos de índices, tales como los índices sociales, económicos, de salud, ambientales, entre otros. Además, estos ofrecen la versatilidad de compactar varias categorías en un sólo valor. Un ejemplo destacado es el Índice de Desarrollo Humano (IDH) (Salazar y García, 2014) calculado por el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD)¹, el cual mide los logros de un país en su desarrollo humano, fundamentalmente a través de tres aspectos: salud, educación e ingresos; pudiéndose así clasificar personas, bienes, naciones, entre otros, con respecto a las variables analizadas. Particularmente, si nos enfocamos en índices que miden la heterogeneidad y desigualdad,

¹ <https://report.hdr.undp.org>

podemos encontrar que existen varios utilizados en diferentes contextos y disciplinas. Algunos de los índices más comunes son: el índice de Gini (Gini y Salvemini, 1912), el cual se utiliza para medir la desigualdad económica y social en una población; el índice de Theil, el cual se utiliza para medir la desigualdad en la distribución de ingresos o de cualquier otra variable, éste proporciona información sobre la contribución de cada estrato a la desigualdad total (Cotler, 2007); el Coeficiente de Variación, el cual mide la variabilidad relativa de una variable en relación con su media, además se utiliza para evaluar la heterogeneidad de una muestra o una población (Eliazar, 2017); y el índice de Simpson (Simpson, 1949), que es una medida de la diversidad que tiene en cuenta tanto el número de especies presentes como la abundancia relativa de cada una. Éste se define como la probabilidad de que dos individuos seleccionados al azar de una muestra pertenezcan a la misma especie. Este índice varía entre 0 y 1, donde valores cercanos a 0 indican alta diversidad y valores cercanos a 1 sugieren baja diversidad. El índice de Simpson se utiliza ampliamente en ecología y biología de la conservación para evaluar la biodiversidad de un hábitat, pero su aplicación se extiende a otras disciplinas, como la economía y la sociología, para analizar la distribución y la desigualdad en diferentes contextos.

En particular, los índices de desigualdad son puntajes cuantitativos que toman valores en el intervalo unitario, con el puntaje de 0 que caracteriza la igualdad perfecta, y el valor de 1 que significa la desigualdad total. El índice de Gini es el índice más popular que se emplea para medir la concentración de los ingresos entre los habitantes de una región en un tiempo determinado. Plata, Sánchez y Sánchez (2015) dan una caracterización del índice de Gini, como la única función que satisface las propiedades de invariancia de escala, simetría, proporcionalidad y separabilidad comonótona en clasificaciones similares. La identificación de éstas es importante, más allá de la caracterización, pues dan sentido a su aplicación en un contexto particular.

Ahora discutamos la aplicación de un índice de desigualdad al siguiente problema. Si nos preguntamos qué tan desiguales son los vectores $(0,1,1,1)$ y $(1,0,0,0)$ pensaríamos que tienen la misma desigualdad —quizá en un contexto cualitativo—, pues ambos tienen tres entradas iguales (independientemente del valor que contiene cada entrada) y una diferente. Sin embargo, el índice de Gini les otorga los valores de $\frac{1}{4}$ y $\frac{3}{4}$, respectivamente, por lo tanto, se puede argumentar que el índice de Gini no captura la parte cualitativa de los datos. Esto ocurre, pues el índice de

Gini otorga un mayor peso a los valores más pequeños de la muestra, de este modo, destaca más la desigualdad si existe una porción mayor de la muestra con valores menores que cuando la mayoría tiene valores altos. Dado que el índice de Gini es 0 cuando todos los valores de la muestra son iguales, podemos decir que, su referencia es la igualdad total pero sesgada hacia la "pobreza".

Otro aspecto interesante de los índices de desigualdad es que se calculan teniendo en cuenta únicamente los datos observados. Por lo que, una cuestión relevante sería proponer un índice que compare el vector de datos observado con un vector de datos esperado, de tal forma que, entre mayor sea el valor obtenido del índice, mayor es la diferencia/distancia entre el vector observado y el esperado. Este es el concepto que conocemos de métrica entre dos vectores de datos, pero en nuestro caso, se busca además cumplir con propiedades y características propias de un índice. Note que tendríamos un índice de desigualdad, pero respecto de una referencia o vector esperado (que puede ser distinto del vector con todos sus elementos iguales), es decir, un índice de heterogeneidad. Un caso particular sería cuando el vector esperado esté formado por 1's, esto se podría interpretar como que todos los datos del vector observado tienen el mismo "peso", y entonces se tendría homogeneidad completa o nula desigualdad.

Así pues, nuestra principal motivación en este trabajo es proponer un índice de heterogeneidad que le otorgue a los vectores observados $(0,1,1,1)$ y $(1,0,0,0)$ el mismo valor, considerando el vector esperado $(1,1,1,1)$, de tal manera que se obtengan analogías y diferencias con el índice de Gini. Pero además, que el índice propuesto se pueda calcular para cualquier vector esperado, y así mida la variabilidad de los datos y comparación entre grupos, de tal forma que permita la identificación de patrones.

Este artículo está organizado de la siguiente manera. En la Sección 1 se presentan los antecedentes. En la Sección 2 se presenta la propuesta de la definición del nuevo índice de heterogeneidad. Aplicaciones de los resultados a problemas reales se presentan en la Sección 3, mientras que los comentarios finales se presentan en la Sección 4.

1. Marco Teórico

Los índices permiten obtener resultados cuantitativos a las distintas problemáticas que se presentan en la sociedad. Estos índices se crean precisamente para dar un diagnóstico de las situaciones y de esta manera

ser capaces de darles seguimiento, hasta lograr anticipar ciertas tendencias de los fenómenos reales.

La transición entre estos índices tradicionales y los compuestos o sintéticos (Commision *et al*, 2008; Rodríguez, Reyes y Favela, 2016) radica principalmente en que los analistas deciden los parámetros, variables, además de la metodología a utilizar, esto con el objetivo de facilitar la comprensión de información. Cabe señalar que estos indicadores no sustituyen a los tradicionales ya existentes, sino más bien los complementan. Un índice compuesto muy importante hoy en día es el Índice de Desarrollo Humano (IDH) presentado desde 1990 por PNUD (PNUD, 2015). El IDH se calcula tomando en cuenta tres dimensiones principales del desarrollo humano: la salud, la educación y el nivel de vida. Estas dimensiones se reflejan en tres indicadores específicos: la esperanza de vida al nacer, la educación (medida por la tasa de alfabetización de adultos y la tasa bruta de matriculación en educación primaria, secundaria y superior) y el ingreso nacional bruto per cápita. El estudio del IDH y su cálculo está estrechamente relacionado con la economía del desarrollo, que se enfoca en comprender y analizar los procesos económicos y sociales que influyen en el bienestar humano y el desarrollo de los países. Adicionalmente, el IDH ofrece una medida compuesta del desarrollo humano que facilita la comparación y clasificación de los países en función de su nivel de desarrollo.

Además de la economía, el cálculo de los índices también se cruza con otras disciplinas, como la sociología, la demografía, la estadística y la política, ya que aborda cuestiones relacionadas con la calidad de vida, la equidad social y el desarrollo sostenible. Dependiendo el área de estudio, las unidades de medida cambian, por ejemplo, los indicadores económicos utilizan unidades monetarias y productos, mientras que los índices sociales utilizan personas; y los ambientales, recursos naturales (Mondragón, 2002).

Los índices en general se construyen sólo teniendo como insumo los valores de las variables involucradas, y así obtienen valores entre 0 y 1, pudiéndose comparar entre países, entidades, etcétera. Sin embargo, una alternativa interesante sería cuando se obtiene un índice construido a través de la comparación entre lo observado y lo esperado o referencia. En estadística, por ejemplo, está la prueba X^2 (o Chi-cuadrada) que se utiliza para determinar si existe una diferencia estadísticamente significativa entre la frecuencia esperada y las frecuencias observadas en una o más categorías de una tabla de contingencia (Corder y Foreman,

2011). En Deeks, Higgins, Altman y C.S.M. Group (2019) se presentan diferentes pruebas estadísticas para medir la heterogeneidad estadística.

Por otro lado, un índice de desigualdad es una medida cuantitativa que calibra la divergencia económica de la distribución de la riqueza de una sociedad de la perfecta equidad. En la literatura se han propuesto muchos índices (Eliazar, 2018), por ejemplo, el índice Pietra, el cual es utilizado para medir las disparidades de ingresos, la desigualdad en las citaciones, la volatilidad de los activos financieros o el diagnóstico médico (Sarabia y Jordá, 2014). Otro índice muy importante es el índice de Gini, el cual mide cómo se distribuye el ingreso en una sociedad (Medina, 2001). Este índice no combina diferentes dimensiones, es decir, no considera otros aspectos del desarrollo humano, como la educación, la salud o el nivel de vida, como sí lo hace el IDH. Este último, tiene un enfoque más amplio y abarca múltiples dimensiones del desarrollo humano, mientras que el índice de Gini se utiliza principalmente en el ámbito económico y social para analizar la desigualdad de ingresos.

Además de los índices mencionados anteriormente, existen muchos otros índices que son utilizados en distintos campos y situaciones. Por ejemplo, la referencia de Esparza, Lazcano, Ponce y Cortés (2020) presenta una amplia variedad de índices adicionales, como el índice de Atkinson y el índice de Robin Hood, proporcionando una descripción detallada, así como las ventajas y desventajas de cada uno. Esta referencia es una excelente fuente para explorar más a fondo la variedad de índices disponibles y comprender mejor sus aplicaciones en el análisis económico.

La propuesta de nuevos índices de desigualdad y heterogeneidad es importante para identificar brechas y disparidades en la sociedad, ya que evalúan el impacto de políticas y programas sociales, además de promover la equidad y la justicia social.

Existen principalmente tres tipos de heterogeneidad (Deeks *et al.*, 2019): clínica (diferencia en los participantes, intervenciones o los resultados), metodológica (diferencias en los diseños de estudio, sesgo) y estadística (variación en los efectos o resultados de la intervención). Estudiar estas diferencias es importante hoy en día, pues se llega a una mayor comprensión de los factores que influyen en la intervención.

En particular, los índices de heterogeneidad nos brindan información de cuánto un sistema se aleja de una idoneidad perfecta (Eliazar, 2018). Evaluar el rendimiento de dicho sistema se beneficiaría al contrastar los

niveles de heterogeneidad en momentos específicos. En Olatunji, Love, Shim, Ferrua y East (2017) se presenta un índice de heterogeneidad, que incluye métodos para modelar, visualizar y cuantificar la heterogeneidad, describiendo, por ejemplo, las distribuciones de temperatura y humedad, innovando en el área de la ingeniería. Nunes *et al.* (2020), por su parte, analizaron enfoques psiquiátricos para cuantificar la heterogeneidad, incluidos, entre otros, estudios de heterogeneidad de síntomas, biodiversidad de microbiomas, conteo de grupos y análisis de series temporales.

En la siguiente sección se propondrá un índice de heterogeneidad cuyo objetivo principal será el de medir y analizar la desigualdad en diferentes aspectos de una sociedad. Este índice permitirá cuantificar la distribución de recursos, ingresos o bienes entre los individuos de una población y además nos proporcionará información valiosa para comprender la disparidad existente y sus implicaciones.

2. Metodología

En esta sección, definimos un índice de heterogeneidad para vectores en $\mathbb{R}_{\geq 0}^2$ con una interpretación geométrica y extendemos su definición a $\mathbb{R}_{\geq 0}^n$. Para estos índices se muestran relaciones con la norma euclidiana y el índice de Gini, además, se prueban propiedades deseables, que finalmente ilustramos con algunos ejemplos numéricos.

Partimos de la idea que los índices de desigualdad son aplicables en el contexto de distribuciones generales de tamaños: cantidades no negativas como conteo, longitud, área, volumen, masa, energía y duración (Eliazar, 2018). En la vida real, las variables consideradas para construir índices tienen diferente magnitud. Dado que requerimos construir índices entre 0 y 1, lo primero que haremos será considerar vectores estandarizados con entradas no negativas.

Definición 2.1 Sea \mathbf{u} un vector en $\mathbb{R}_{\geq 0}^n$, decimos que \mathbf{u} está estandarizado si $\sum_{i=1}^n u_i = 1$.

Consideremos que la dimensión del vector dado representa el número de variables que lo componen, por ejemplo, para $n = 2$, se tendrían dos variables.

Definición 2.2 Sean $\mathbf{u}, \mathbf{v} \in \mathbb{R}_{\geq 0}^2$, vectores estandarizados, definimos el índice de heterogeneidad A de $\mathbf{u} = (u_1, u_2)$ y con respecto $\mathbf{v} = (v_1, v_2)$ como

$$A(\mathbf{u}, \mathbf{v}) := \begin{cases} \min\{u_1, v_1\}|u_2 - v_2| + |u_1 - v_1||u_2 - v_2| \\ \quad + \min\{u_2, v_2\}|u_1 - v_1| & \text{si } \mathbf{u}, \mathbf{v} > \mathbf{0} \\ 0 & \text{en otro caso} \end{cases} \quad (1)$$

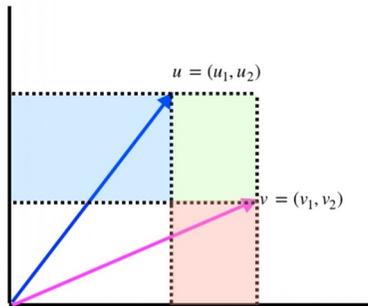
donde $\mathbf{u}, \mathbf{v} > \mathbf{0}$ significa que las entradas de los vectores son estrictamente positivas y $\mathbf{0}$ denota el vector con todas las entradas ceros.

De acuerdo a los valores de las entradas de $\mathbf{u} = (u_1, u_2)$ y $\mathbf{v} = (v_1, v_2)$ pueden existir ocho casos:

Caso 1	$u_1 < u_2,$	$u_1 < v_1,$	$u_2 < v_2,$
Caso 2	$u_1 < u_2,$	$u_1 < v_1,$	$u_2 > v_2,$
Caso 3	$u_1 < u_2,$	$u_1 > v_1,$	$u_2 < v_2,$
Caso 4	$u_1 < u_2,$	$u_1 > v_1,$	$u_2 > v_2,$
Caso 5	$u_1 > u_2,$	$u_1 < v_1,$	$u_2 < v_2,$
Caso 6	$u_1 > u_2,$	$u_1 < v_1,$	$u_2 > v_2,$
Caso 7	$u_1 > u_2,$	$u_1 > v_1,$	$u_2 < v_2,$
Caso 8	$u_1 > u_2,$	$u_1 > v_1,$	$u_2 > v_2.$

Gráficamente, el índice $A(\mathbf{u}, \mathbf{v})$ considerando el caso 2, sería la suma de las tres áreas coloreadas de la figura 1. De manera análoga se verían gráficamente los otros casos.

Figura 1
Esquema de las áreas para el cálculo del índice A



La definición se inspira en el índice de Gini, el cual se interpreta como un cociente de áreas, pero la motivación geométrica de esta definición surge al observar que si $(u_1, u_2) \rightarrow (v_1, v_2)$, entonces $A(\mathbf{u}, \mathbf{v}) \rightarrow 0$. Note, además, que al ser \mathbf{u} y \mathbf{v} vectores estandarizados no pueden ser el vector cero, y que el índice A toma el valor de 1 cuando $\mathbf{u} = (0,1)$ y $\mathbf{v} = (1,0)$, o viceversa. Luego, A toma valores entre 0 y 1.

Podemos extender la definición 2.2 al caso donde los vectores \mathbf{u} ó \mathbf{v} no estén estandarizados, definiendo al índice A de la siguiente manera:

$$A(\mathbf{u}, \mathbf{v}) := A\left(\frac{\mathbf{u}}{\sum_{i=1}^n u_i}, \frac{\mathbf{v}}{\sum_{i=1}^n v_i}\right)$$

Por ejemplo, si $\mathbf{u} = (a, a)$ para $a \in \mathbb{R}_{>0}$ y $\mathbf{v} = (1,1)$, entonces

$$A(\mathbf{u}, \mathbf{v}) = A\left(\frac{(a,a)}{2a}, \frac{(1,1)}{2}\right) = 0$$

Ahora bien, puesto que el índice A se asemeja a una métrica, nos preguntamos si existe una relación con la distancia euclidiana, que es la métrica más usada al comparar vectores. Recordemos que esta distancia está definida por:

$$E(\mathbf{u}, \mathbf{v}) = (\sum_{i=1}^n (u_i - v_i)^2)^{1/2}, \text{ para } \mathbf{u}, \mathbf{v} \in \mathbb{R}^n.$$

La respuesta a esta pregunta es afirmativa y está dada en el siguiente teorema.

Teorema 2.1 *Para vectores estandarizados $\mathbf{u}, \mathbf{v} \in \mathbb{R}_{\geq 0}^2$ cualesquiera, se cumple que*

$$A(\mathbf{u}, \mathbf{v}) = \frac{E(\mathbf{u}, \mathbf{v})}{\sqrt{2}} = |u_1 v_2 - u_2 v_1|.$$

Más aún, como $u_1 + u_2 = 1$ y $v_1 + v_2 = 1$, entonces tenemos que

$$A(\mathbf{u}, \mathbf{v}) = \frac{E(\mathbf{u}, \mathbf{v})}{\sqrt{2}} = |u_1 - v_1|.$$

Demostración: supongamos que estamos en el caso 2, i.e., $u_1 < u_2$, $u_1 < v_1$ y $u_2 > v_2$ (los otros casos se analizan de manera análoga), entonces

$$\begin{aligned} A(\mathbf{u}, \mathbf{v}) &= u_1 |u_2 - v_2| + |u_1 - v_1| |u_2 - v_2| + v_2 |u_1 - v_1| \\ &= u_1 (u_2 - v_2) + (v_1 - u_1) (u_2 - v_2) + v_2 (v_1 - u_1) \\ &= |u_1 v_2 - u_2 v_1|. \end{aligned}$$

Y por otro lado,

$$\frac{E(\mathbf{u}, \mathbf{v})}{\sqrt{2}} = \left(\frac{1}{2} \sum_{i=1}^n (u_i - v_i)^2 \right)^{1/2} =^{p.d.} |u_1 v_2 - u_2 v_1|,$$

luego

$$\left[\frac{1}{2} ((u_1 - v_1)^2 + (u_2 - v_2)^2) \right] =^{p.d.} (u_1 v_2 - u_2 v_1)^2$$

$$(u_1 - v_1)^2 + (u_2 - v_2)^2 =^{p.d.} 2(u_1 v_2 - u_2 v_1)^2.$$

Como $u_1 + u_2 = 1$ y $v_1 + v_2 = 1$, entonces

$$(u_1 - v_1)^2 + ((1 - u_1) - (1 - v_1))^2 = 2(u_1(1 - v_1) - (1 - u_1)v_1)^2$$

$$(u_1 - v_1)^2 + (v_1 - u_1)^2 = 2(u_1 - u_1 v_1 - v_1 + u_1 v_1)^2$$

$$2(u_1 - v_1)^2 = 2(u_1 - v_1)^2.$$

Finalmente, como $u_1 + u_2 = 1$ y $v_1 + v_2 = 1$, entonces

$$A(\mathbf{u}, \mathbf{v}) = \frac{E(\mathbf{u}, \mathbf{v})}{\sqrt{2}} = |u_1(1 - v_1) - (1 - u_1)v_1| = |u_1 - v_1|.$$

■

Ahora veremos la relación que tiene el índice propuesto A con el índice de Gini, definido para un vector $\mathbf{x} \in \mathbb{R}_{\geq 0}^n$ por:

$$\text{Gini}(\mathbf{x}) = \frac{1}{n} \left[n + 1 - 2 \frac{\sum_{i=1}^n (n+1-i)x_i^*}{\sum_{i=1}^n x_i^*} \right],$$

donde \mathbf{x}^* es el vector ordenado (de menor a mayor) de \mathbf{x} (Plata-Pérez *et al.*, 2015).

Teorema 2.2 Sea $\mathbf{u} \in \mathbb{R}_{\geq 0}^2$ un vector estandarizado cualquiera y $\mathbf{v} = \left(\frac{1}{2}, \frac{1}{2} \right)$, entonces:

$$A(\mathbf{u}, \mathbf{v}) = \frac{E(\mathbf{u}, \mathbf{v})}{\sqrt{2}} = \text{Gini}(\mathbf{u}) = \frac{1}{2} |u_1 - u_2|.$$

Como $u_1 + u_2 = 1$, entonces

$$A(\mathbf{u}, \mathbf{v}) = \frac{E(\mathbf{u}, \mathbf{v})}{\sqrt{2}} = \text{Gini}(\mathbf{u}) = \left| u_1 - \frac{1}{2} \right|.$$

Demostración: sólo resta ver que $\text{Gini}(\mathbf{u}) = \frac{1}{2}|u_1 - u_2|$, pues las otras igualdades se obtienen directamente del teorema 2.1.

Supongamos, sin pérdida de generalidad, que $u_1 < u_2$, i.e., $u_2 > \frac{1}{2}$, luego

$$\begin{aligned} \text{Gini}(\mathbf{u}) &= \frac{1}{2} [2 + 1((2 + 2 - 1)u_1 + (2 + 1 - 2)u_2)] \\ &= \frac{1}{2} [3 - 2(2u_1 + u_2)] \\ &= \frac{1}{2} [2 + (u_1 + u_2) - 2(u_1 + (u_1 + u_2))] \\ &= \frac{1}{2} [2 + u_1 + u_2 - 2u_1 - 2] \\ &= \frac{1}{2} |u_1 - u_2|. \end{aligned}$$

Como $u_1 + u_2 = 1$, entonces

$$A(\mathbf{u}, \mathbf{v}) = \frac{E(\mathbf{u}, \mathbf{v})}{\sqrt{2}} = \text{Gini}(\mathbf{u}) = \frac{1}{2} |u_1 - (1 - u_1)| = \left| u_1 - \frac{1}{2} \right|.$$

■

Así pues, en $\mathbb{R}_{\geq 0}^2$ hemos visto que el índice A coincide con el índice de Gini, cuando $\mathbf{v} = \left(\frac{1}{2}, \frac{1}{2}\right)$ y es proporcional a la distancia euclidiana. Ahora extenderemos la definición de este índice A en $\mathbb{R}_{\geq 0}^n$, para $n > 2$.

Definición 2.3 Sean $\mathbf{u}, \mathbf{v} \in \mathbb{R}_{\geq 0}^n$ para $n > 2$, y $c = \binom{n}{2}$ el número de combinaciones de n en 2. Denotemos a \mathbf{C} , una matriz cuyos renglones están dados por dichas combinaciones, i.e., $\mathbf{C} \in \mathcal{M}_{n \times 2}$. El índice de heterogeneidad A_n de \mathbf{u} con respecto a \mathbf{v} en $\mathbb{R}_{\geq 0}^n$ lo definimos de la siguiente manera:

$$A_n(\mathbf{u}, \mathbf{v}) := \frac{1}{c} \sum_{i=1}^c A(\mathbf{u}_i, \mathbf{v}_i), \tag{2}$$

donde $\mathbf{u}_i := \frac{(u_{c_{i1}}, u_{c_{i2}})}{u_{c_{i1}} + u_{c_{i2}}}$ y $\mathbf{v}_i := \frac{(v_{c_{i1}}, v_{c_{i2}})}{v_{c_{i1}} + v_{c_{i2}}}$, para $i = 1, \dots, c$, ambos vectores estandarizados y $A(\cdot, \cdot)$ está definido en la ecuación (1).

Observe que este nuevo índice es el promedio de los índices de los vectores en $\mathbb{R}_{\geq 0}^2$ formados por las combinaciones de las entradas de \mathbf{u} y \mathbf{v} .

Ejemplo 2.1 Supongamos $n = 4$, es decir, se tienen los vectores $\mathbf{u} =$

$$(u_1, u_2, u_3, u_4) \text{ y } \mathbf{v} = (v_1, v_2, v_3, v_4). \text{ Entonces } c = \binom{4}{2} = 6, \text{ y } \mathbf{C} = \begin{pmatrix} 1 & 2 \\ 1 & 3 \\ 1 & 4 \\ 2 & 3 \\ 2 & 4 \\ 3 & 4 \end{pmatrix},$$

luego $A_n = \frac{1}{6} [A(\mathbf{u}_1, \mathbf{v}_1) + \dots + A(\mathbf{u}_6, \mathbf{v}_6)]$, donde $\mathbf{u}_1 = \frac{(u_1, u_2)}{u_1 + u_2}$; $\mathbf{u}_2 = \frac{(u_1, u_3)}{u_1 + u_3}$; $\mathbf{u}_3 = \frac{(u_1, u_4)}{u_1 + u_4}$; $\mathbf{u}_4 = \frac{(u_2, u_3)}{u_2 + u_3}$; $\mathbf{u}_5 = \frac{(u_2, u_4)}{u_2 + u_4}$; $\mathbf{u}_6 = \frac{(u_3, u_4)}{u_3 + u_4}$; análogamente para $\mathbf{v}_i, i = 1, \dots, 6$.

Como $0 \leq A(\cdot, \cdot) \leq 1$, entonces $0 \leq A_n(\cdot, \cdot) \leq 1$, es decir, hemos definido un índice de heterogeneidad en $\mathbb{R}_{\geq 0}^n$ entre 0 y 1.

Observación 2.1 La norma euclidiana puede interpretarse como un índice de heterogeneidad al medir la distancia del vector \mathbf{u} con respecto a vector esperado \mathbf{v} .

A continuación, se presentan algunos resultados importantes de este índice con relación al índice de Gini.

2.1 El índice de heterogeneidad y el índice de Gini

El resultado que a continuación se presenta, se relaciona con la propiedad de estandarización en el sentido del índice de Gini.

Teorema 2.3 Supongamos que tenemos un vector $\mathbf{y} \in \mathbb{R}_{\geq 0}^n$, estandarizado, cuyas entradas son sólo de dos tipos: m componentes con entradas $a \in \mathbb{R}_{\geq 0}$ y $m - n$ componentes con entradas $b \in \mathbb{R}_{\geq 0}$ (sin importar el orden). Sin pérdida de generalidad, podemos reescribir este vector \mathbf{y} como sigue

$$\mathbf{y} = (\underbrace{a, \dots, a}_{a \in \mathbb{R}_{\geq 0}^m}, \underbrace{b, \dots, b}_{a \in \mathbb{R}_{\geq 0}^{m-n}}).$$

Tomando al vector esperado como $\mathbf{e} = (1, \dots, 1) \in \mathbb{R}^n$, entonces

$$A_n(\mathbf{y}, \mathbf{e}) = \frac{m(n-m)}{n} |b - a| \frac{1}{n-1} \frac{1}{a+b} \quad (3)$$

$$\text{Gini}(\mathbf{y}) = \frac{m(n-m)}{n} |b - a|. \quad (4)$$

En dado caso de que $\frac{1}{n-1} \frac{1}{a+b} = 1$ se tendría la igualdad entre los índices A_n y Gini .

Dem: Sin pérdida de generalidad, supongamos que $a < b$, como $m \cdot a + (n - m) \cdot b = 1$, entonces

$$a < b = \frac{1-m \cdot a}{n-m}$$

$$(n - m) \cdot a < 1 - m \cdot a$$

$$a < 1/n.$$

Sea $c = \binom{n}{2} = \frac{n!}{(n-2)!2!}$, como $A((a, a), (1, 1)) = 0$, entonces

$$\begin{aligned} A_n(\mathbf{y}, \mathbf{e}) &= \frac{m(n-m)}{c} A((a, b), (1, 1)) \\ &= \frac{m(n-m)}{c} \frac{1}{2} \frac{|b-a|}{a+b} \\ &= \frac{m(n-m)}{n} |b - a| \frac{1}{n-1} \frac{1}{a+b}. \end{aligned}$$

Por otro lado,

$$\begin{aligned} \text{Gini}(\mathbf{y}) &= \frac{1}{n} \left[n + 1 - 2 \left(\sum_{i=1}^m (n + 1 - i)a + \sum_{j=m+1}^n (n + 1 - j)b \right) \right] \\ &= \frac{1}{n} \left[n + 1 - 2 \left((n + 1)am - \sum_{i=1}^m ia + (n + 1)b(n - m) - b \sum_{i=1}^{n-m} (i + m) \right) \right] \\ &= \frac{1}{n} \left[-(n + 1) + am(m + 1) + b(n - m)((n - m) + 1) + 2bm(n - m) \right] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{1}{n} [-n + am^2 + b(n-m)^2 + 2bm(n-m)] \\
&= \frac{1}{n} [-n + am^2 + b(n-m)(2m + (n-m))] \\
&= \frac{1}{n} [-n + am \cdot m + b(n-m)(n+m)] \\
&= \frac{1}{n} [-n + am \cdot m + bm(n-m) + nb(n-m)] \\
&= \frac{1}{n} [-n + m(am + b(n-m)) + nb(n-m)] \\
&= \frac{1}{n} [-n + m + nb(n-m)] \\
&= \frac{1}{n} [(n-m)(nb-1)] \\
&= \frac{1}{n} [(n-m)(m(b-a))] = \frac{m}{n} (n-m)(b-a).
\end{aligned}$$

■

De la ecuación (3), si $a = 0$ entonces

$$\mathbf{y} = (\underbrace{0, \dots, 0}_{m \text{ veces}}, \underbrace{b, \dots, b}_{(n-m) \text{ veces}}), \quad (5)$$

tal que, para tener un vector estandarizado se requiere que $(n-m)b = 1$, luego

$$A_n(\mathbf{y}, \mathbf{e}) = \frac{m(n-m)}{n(n-1)}$$

Si por ejemplo

$$\mathbf{y}' = (\underbrace{0, \dots, 0}_{(n-m) \text{ veces}}, \underbrace{b', \dots, b'}_{m \text{ veces}}), \quad (6)$$

tal que $mb' = 1$, luego

$$A_n(\mathbf{y}', \mathbf{e}) = \frac{(n-m)(n-(n-m))}{n(n-1)} = \frac{m(n-m)}{n(n-1)} = A_n(\mathbf{y}, \mathbf{e}).$$

Mientras que $\text{Gini}(\mathbf{y}) = \frac{m}{n}$ y $\text{Gini}(\mathbf{y}') = \frac{n-m}{n}$.

Ejemplo 2.2 Supongamos que $n = 50$. Para construir los vectores \mathbf{y} y \mathbf{y}' de las ecuaciones (5) y (6), respectivamente, definimos $b = \frac{1}{n-m}$ y $b' = \frac{1}{m}$, con m tomando distintos valores. Se calcularon los índices de Gini y A_n ; los resultados se presentan en la tabla 1.

Tabla 1
Comparación entre el índice de Gini y el índice A_n para vectores de dos grupos de datos, fijando el tamaño $n = 50$

m	Gini(\mathbf{y})	Gini(\mathbf{y}')	$A_n(\mathbf{y}', \mathbf{e}) = A_n(\mathbf{y}, \mathbf{e})$
5	0.1	0.9	0.09183673
10	0.2	0.8	0.16326531
15	0.3	0.7	0.21428571
20	0.4	0.6	0.24489796
25	0.5	0.5	0.25510204

Note que el índice de Gini siempre tiene en cuenta el número de ceros en el vector, a diferencia del índice A_n , que no lo toma en consideración.

Ejemplo 2.3 Supongamos $n = 4$, en la tabla 2 se presentan diferentes vectores no estandarizados \mathbf{y} y el cálculo de su índice de Gini y el $A_n(\mathbf{y}, \mathbf{e})$.

Tabla 2
Comparación del índice de Gini y el índice A_n considerando diferentes tipos de vectores

\mathbf{y}	Gini(\mathbf{y})	$A_n(\mathbf{y}, \mathbf{e})$
(0,1,1,1)	0.2500000	0.2500000
(1,0,0,0)	0.7500000	0.2500000
(1,1,1,100)	0.7208738	0.2450495
(1,1,100,100)	0.4900990	0.3267327
(1,100,100,100)	0.2466777	0.2450495
(1,1,1,1000)	0.7470090	0.2495005
(1,1,1000,1000)	0.4990010	0.3326673
(1,1000,1000,1000)	0.2496668	0.2495005

Notemos en la tabla 2 que no importando el valor 100 ó 1000 en el vector \mathbf{y} y el índice A_n les da aproximadamente el mismo valor a los vectores presentados. Sin embargo, el índice de Gini toma en cuenta cuántos tuvieron el valor de 1 y cuántos el valor 100 ó 1000. Si suponemos, por ejemplo, que estos vectores representan el ingreso que tienen 4 personas, el índice de desigualdad de Gini toma en cuenta el número de personas que tienen poco ingreso, pero no así el índice A_n . Así pues, hemos propuesto un índice de heterogeneidad, que a su vez está midiendo desigualdad cualitativa.

2.2 Propiedades

A continuación, se presentan algunas propiedades que satisface el índice de heterogeneidad propuesto. La mayoría de estas propiedades ya han sido probadas, y merece especial atención la propiedad de separabilidad comonótona, que enunciaremos como un teorema.

Sean $\mathbf{u}, \mathbf{v} \in \mathbb{R}_{\geq 0}^n$.

- **Independencia de escala**

Para $\lambda > 0$ y $\beta > 0$, se cumple que

$$A_n(\lambda \mathbf{u}, \beta \mathbf{v}) = A_n(\mathbf{u}, \mathbf{v})$$

pues por definición se tiene que

$$A_n(\lambda \mathbf{u}, \beta \mathbf{v}) = \frac{1}{c} \sum_{i=1}^c A(\hat{\mathbf{u}}_i, \hat{\mathbf{v}}_i)$$

donde

$$\hat{\mathbf{u}}_i = \frac{(\lambda u_{c_{i1}}, \lambda u_{c_{i2}})}{\lambda u_{c_{i1}} + \lambda u_{c_{i2}}} = \frac{(u_{c_{i1}}, u_{c_{i2}})}{u_{c_{i1}} + u_{c_{i2}}} = \mathbf{u}_i$$

y

$$\hat{\mathbf{v}}_i = \frac{(\beta v_{c_{i1}}, \beta v_{c_{i2}})}{\beta v_{c_{i1}} + \beta v_{c_{i2}}} = \frac{(v_{c_{i1}}, v_{c_{i2}})}{v_{c_{i1}} + v_{c_{i2}}} = \mathbf{v}_i$$

Si en particular $\mathbf{u} = (a, a, \dots, a) \in \mathbb{R}_{> 0}^n$ y $\mathbf{v} = \mathbf{e}$, entonces

$$A_n(\mathbf{u}, \mathbf{v}) = 0$$

pues

$$A_n(\mathbf{u}, \mathbf{v}) = A_n(a\mathbf{e}, \mathbf{e}) = A_n(\mathbf{e}, \mathbf{e}) = 0.$$

- **Simetría**

Sea S_n el conjunto de permutaciones en n . Para cada $\theta \in S_n$ se cumple que

$$A_n(\mathbf{u}, \mathbf{v}) = A_n(\theta(\mathbf{u}), \theta(\mathbf{v})).$$

La demostración de este resultado se sigue directamente de la definición del índice A que se presenta en la ecuación (1), pues si \mathbf{u} y \mathbf{v} son vectores estandarizados, se cumple que $A(\mathbf{u}, \mathbf{v}) = A(\mathbf{v}, \mathbf{u})$.

- **Estandarización** (en el sentido de Gini (Plata-Pérez *et. al*, 2015)).

Se tiene que

$$A_n \left(\left(0, \frac{1}{n-m} \right), \mathbf{e} \right) = \frac{m}{n}.$$

Notemos que el índice Gini de dos grupos dada en la ecuación (4) y el índice A_n presentado en la ecuación (3) son iguales si y sólo si

$$\frac{1}{n-1} \frac{1}{a+b} = 1,$$

tal que $ma + (n - m)b = 1$. Así pues, la única solución para $a = 0$ es

$$m = 1, b = \frac{1}{n-1}.$$

Luego, si $\mathbf{y} = \left(0, \frac{1}{n-1}, \dots, \frac{1}{n-1} \right)$, de la ecuación (3) tenemos que:

$$A_n(\mathbf{y}, \mathbf{e}) = \frac{1}{n} = Gini(\mathbf{y}).$$

- **Separabilidad comonótona** (en el sentido de Gini (Plata-Pérez *et. al*, 2015)). Esta propiedad la enunciamos como un teorema.

Teorema 2.4 Sea $\beta \in (0,1)$, y $\mathbf{x}, \mathbf{y} \in \mathbb{R}_{\geq 0}^n$, dos vectores estandarizados, entonces, el índice A_n cumple con la propiedad de separabilidad comonótona si

$$A_n(\beta\mathbf{x} + (1 - \beta)\mathbf{z}, \mathbf{e}) = \beta A_n(\mathbf{x}, \mathbf{e}) + (1 - \beta)A_n(\mathbf{z}, \mathbf{e}) \tag{7}$$

tales que se cumplen las siguientes condiciones: $\sum_{i=1}^n x_i = \sum_{i=1}^n z_i$, en particular, $x_i + x_j = z_i + z_j$ para $i \neq j$ y además $(x_i - x_j)(z_i - z_j) \geq 0$, $i \neq j$.

Demostración: tenemos que, la parte izquierda de la ecuación (7) está dada por

$$\begin{aligned}
 \beta A_n(\mathbf{x}, \mathbf{e}) + (1 - \beta)A_n(\mathbf{z}, \mathbf{e}) &= \frac{\beta}{c} \sum_{i=1}^c A(x_i, \mathbf{e}_i) + \frac{1-\beta}{c} \sum_{i=1}^c A(z_i, \mathbf{e}_i), \\
 &= \frac{1}{c} \sum_{i=1}^c \beta A(x_i, \mathbf{e}_i) + \frac{1}{c} \sum_{i=1}^c (1 - \beta)A(z_i, \mathbf{e}_i), \\
 &= \frac{1}{c} \sum_{i=1}^c [\beta A(x_i, \mathbf{e}_i) + (1 - \beta)A(z_i, \mathbf{e}_i)], \\
 &= \frac{1}{2c} \sum_{i=1}^c \left[\beta \frac{|x_{c_{i1}} - x_{c_{i2}}|}{x_{c_{i1}} + x_{c_{i2}}} + (1 - \beta) \frac{|z_{c_{i1}} - z_{c_{i2}}|}{z_{c_{i1}} + z_{c_{i2}}} \right],
 \end{aligned}$$

donde $x_i = \frac{(x_{c_{i1}}, x_{c_{i2}})}{x_{c_{i1}} + x_{c_{i2}}}$, $z_i = \frac{(z_{c_{i1}}, z_{c_{i2}})}{z_{c_{i1}} + z_{c_{i2}}}$ y $\mathbf{e}_i = \left(\frac{1}{2}, \frac{1}{2}\right)$, para $i = 1, \dots, c$. En la última igualdad se utilizó el teorema 2.2.

Por otro lado, la parte derecha de (7) está dada por

$$A_n(\beta \mathbf{x} + (1 - \beta)\mathbf{z}, \mathbf{e}) = \frac{1}{c} \sum_{i=1}^c A(\beta x_i + (1 - \beta)z_i, \mathbf{e}_i)$$

donde

$$\begin{aligned}
 \beta x_i + (1 - \beta)z_i &= \frac{(\beta x_{c_{i1}} + (1-\beta)z_{c_{i1}}, \beta x_{c_{i2}} + (1-\beta)z_{c_{i2}})}{[\beta x_{c_{i1}} + (1-\beta)z_{c_{i1}} + \beta x_{c_{i2}} + (1-\beta)z_{c_{i2}}]} \\
 &= \frac{(\beta x_{c_{i1}} + (1-\beta)z_{c_{i1}}, \beta x_{c_{i2}} + (1-\beta)z_{c_{i2}})}{[\beta(x_{c_{i1}} + x_{c_{i2}}) + (1-\beta)(z_{c_{i1}} + z_{c_{i2}})]}.
 \end{aligned}$$

Luego,

$$\begin{aligned}
 A_n(\beta \mathbf{x} + (1 - \beta)\mathbf{z}, \mathbf{e}) &= \frac{1}{2c} \sum_{i=1}^c \frac{|\beta x_{c_{i1}} + (1-\beta)z_{c_{i1}}| - |\beta x_{c_{i2}} + (1-\beta)z_{c_{i2}}|}{[\beta(x_{c_{i1}} + x_{c_{i2}}) + (1-\beta)(z_{c_{i1}} + z_{c_{i2}})]} \\
 &= \frac{1}{2c} \sum_{i=1}^c \frac{|\beta(x_{c_{i1}} - x_{c_{i2}}) + (1-\beta)(z_{c_{i1}} - z_{c_{i2}})|}{[\beta(x_{c_{i1}} + x_{c_{i2}}) + (1-\beta)(z_{c_{i1}} + z_{c_{i2}})]} \\
 &= \frac{1}{2c} \sum_{i=1}^c \frac{\beta|x_{c_{i1}} - x_{c_{i2}}| + (1-\beta)|z_{c_{i1}} - z_{c_{i2}}|}{[\beta(x_{c_{i1}} + x_{c_{i2}}) + (1-\beta)(z_{c_{i1}} + z_{c_{i2}})]}
 \end{aligned}$$

esto último pues si $x_{c_{i1}} \geq x_{c_{i2}}$ entonces $z_{c_{i1}} \geq z_{c_{i2}}$. Como además $x_{c_{i1}} + x_{c_{i2}} = x_{c_{i1}} + x_{c_{i2}}$ entonces

$$\begin{aligned}
 A_n(\beta \mathbf{x} + (1 - \beta)\mathbf{z}, \mathbf{e}) &= \frac{1}{2c} \sum_{i=1}^c \left(\beta \frac{|x_{c_{i1}} - x_{c_{i2}}|}{x_{c_{i1}} + x_{c_{i2}}} + (1 - \beta) \frac{|z_{c_{i1}} - z_{c_{i2}}|}{z_{c_{i1}} + z_{c_{i2}}} \right) \\
 &= \beta A_n(\mathbf{x}, \mathbf{e}) + (1 - \beta) A_n(\mathbf{z}, \mathbf{e}).
 \end{aligned}$$

■

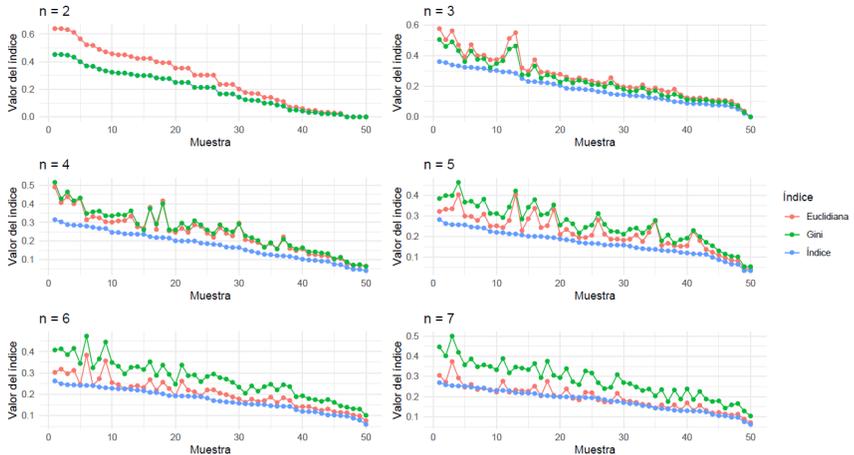
En el siguiente ejemplo mostramos cómo se comporta el índice de heterogeneidad propuesto, visto como un índice de desigualdad, es decir, considerando el vector esperado como \mathbf{e} y vectores observados aleatorios.

Ejemplo 2.4 Con diferentes dimensiones de \mathbb{R}^n , $n = 2, \dots, 7$, generamos 50 vectores $\mathbf{u} \in \mathbb{R}_{\geq 0}^n$ cuyas entradas fueron valores aleatorios entre 1 y 20. Calculamos su índice $A_n(\mathbf{u}, \mathbf{e})$ (ecuación (2)), su distancia euclidiana $E(\mathbf{u}, \mathbf{e})$ y su índice de Gini \mathbf{u} . Los resultados se muestran en la figura 2.

Observemos que para $n = 2$, el índice A_n y el índice de Gini coinciden (teorema 2.2). A medida que el valor de n se incrementa, es decir, la dimensión de los vectores, se observa una mayor disparidad entre la distancia euclidiana y el índice de Gini, mientras que el índice A_n se asemeja cada vez más a la distancia euclidiana.

Figura 2

Comparación del índice de Gini, el índice A_n y la distancia euclidiana para diferentes vectores



3. Aplicaciones

En esta sección, presentamos aplicaciones reales para obtener el índice de heterogeneidad de distintos datos. Una aplicación aborda la clasificación de profesores en una universidad según su desempeño académico. La siguiente aplicación se centra en el IDH con Servicios (IDHs). Por último, se analiza la distribución del salario en México de 2005 a 2024.

3.1 Clasificación de los profesores

El Programa de Estímulo al Desempeño del Personal Docente (PEDPD) es un programa federal que tiene como propósito “reafirmar el trascendente papel de los educadores en el proceso de enseñanza y aprendizaje” (SEP, 2018) en las universidades públicas de México. Cada universidad o Institución de Educación Superior (IES), emite una convocatoria anual con base en un reglamento propio. Dicho reglamento sigue las reglas de operación emitidas por la Secretaría de Educación Pública (SEP).

La IES define, mediante un sistema de puntaje, los criterios para repartir el presupuesto asignado por la Secretaría de Hacienda y Crédito Público. Dicho estímulo se reparte en múltiplos de una Unidad de Medición y Actualización (UMA), es decir, al nivel 1 se le otorga 1 UMA, al nivel 2, 2 UMA, y así sucesivamente hasta el nivel 7.

El Reglamento del PEDPD (ver, por ejemplo, UAA (2008)) señala que deberán asignarse dos puntajes a cada profesor: el Puntaje Total (T) y el Puntaje de Calidad (C), donde el rubro de calidad está contenido en el puntaje total T . Este último se compone de tres grandes categorías: Calidad (C), Dedicación (De), y Permanencia (P), es decir,

$$T = C + De + P. \quad (8)$$

Por ejemplo, los requisitos de los profesores de la Universidad Autónoma de Aguascalientes para participar en este programa se encuentran en la convocatoria 2022-2023 (UAA, 2022). Al cumplir los requisitos de participación, el personal docente se evalúa en distintas categorías:

- Permanencia, P (máximo 100 puntos).
- Dedicación a la docencia, De (máximo 300 puntos).
- Calidad, C (máximo 600 puntos). Esta categoría es la más importante y se refiere a las actividades esenciales para desempeñarse adecuadamente como docente universitario:

Docencia, Do (máximo 240 puntos), *Investigación, I* (máximo 160 puntos), *Tutoría, Tu* (máximo 100 puntos) y *Cuerpos Colegiados, CC* (máximo 100 puntos). Así, el rubro de calidad está dado por $C = Do + I + Tu + CC$.

Con base en las variables T y C , se asigna el nivel de estímulo que recibirá el profesor, de acuerdo con la tabla 3.

Tabla 3
Nivel asignado a cada profesor de acuerdo a calidad y total de puntos

Total (puntos)	Calidad (puntos)	Nivel
301-400	181-240	1
401-500	241-300	2
501-600	301-360	3
601-700	361-420	4
701-800	421-480	5
801-900	481-540	6
901-1000	541-600	7

Note que el puntaje total, T , asigna un nivel, y el puntaje de calidad, C , podría asignar otro distinto. Sin embargo, el nivel asignado a un profesor es el mínimo asignado por estos puntajes. Luego, podemos definir una función nivel que depende del nivel obtenido con el puntaje de Calidad y el nivel obtenido por el puntaje Total dado por:

$$N = \min\{N_T, N_C\}, \tag{9}$$

donde N_T es el nivel obtenido por el puntaje Total y N_C el nivel obtenido por el puntaje de Calidad.

Ejemplo 3.1

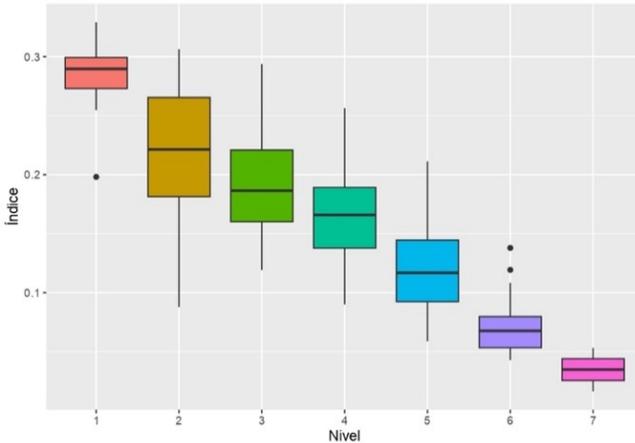
Sea $n = 6$, que hace referencia al número de variables a considerar: Do, I, Tu, CC, P y De ; y consideremos al vector esperado estandarizado dado por

$$v = (240/1000, 160/1000, 100/1000, 100/1000, 100/1000, 300/1000),$$

que se refiere a los pesos para las variables, respectivamente. En este vector se han puesto las proporciones de cada una de las variables: docencia, investigación, tutoría, cuerpos colegiados, permanencia y dedicación, con respecto al puntaje máximo que se puede obtener que son 1000 puntos, respectivamente.

Consideremos al vector \mathbf{u} (no estandarizado) como el puntaje de cada profesor en cada categoría. Supongamos que tenemos una muestra de 256 profesores. En la figura 3 se presenta un *boxplot* del índice A_n obtenido para los profesores utilizando la ecuación (2) así como el nivel real que la universidad le otorgó de acuerdo a la ecuación (9).

Figura 3
Boxplot del índice de heterogeneidad A_n y clasificación real de los profesores dado por su nivel



De manera general, en la figura 3 podemos observar que entre menor sea el valor del índice A_n su nivel es mayor, y si el valor de A_n es mayor, su nivel es menor. Se logra observar que algunos profesores obtienen valores parecidos del índice A_n pero su nivel varía significativamente. Por ejemplo, con un valor del índice A_n de 0.13 hay profesores en los niveles 2, 3, 4 y 5, sin embargo, son muy pocos casos donde sucede este fenómeno. De hecho, las únicas “cajas” que se traslapan son las de los niveles 2 y 3, 3 y 4; y 4 y 5. En la tabla 4 se presenta la media y desviación estándar del índice A_n por niveles.

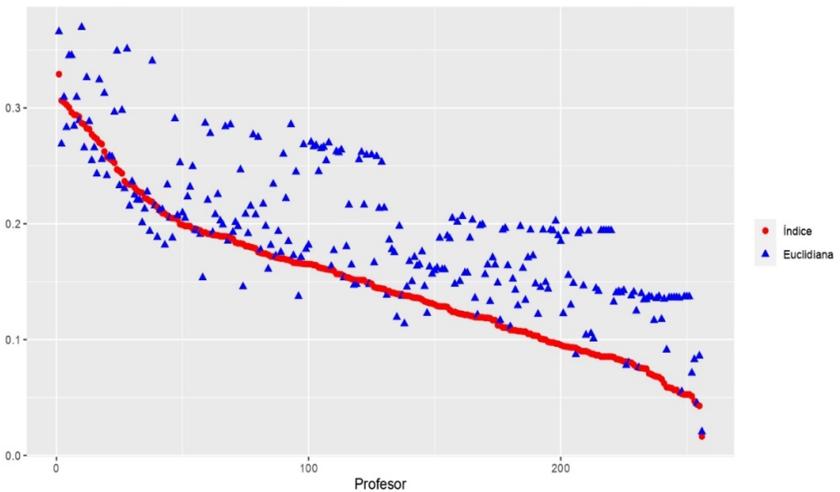
Tabla 4
Media y desviación estándar del índice A_n de los profesores por niveles

Nivel	Media	Desviación estándar
1	0.28260	0.03076
2	0.21688	0.05765
3	0.19069	0.04569
4	0.16484	0.03774
5	0.11956	0.03410
6	0.07055	0.02317
7	0.03478	0.02599

Esto significa que, de acuerdo a la muestra considerada, un profesor en el nivel 7 obtuvo un índice A_n de aproximadamente 0.03478 ± 0.02599 . Este valor tan bajo indica que el vector observado del profesor es muy similar al vector esperado v que requiere la universidad. Por lo tanto, a menor índice A_n , mayor nivel, ya que el vector observado se asemeja mucho al esperado.

En la figura 4 se presentan los resultados de esta aplicación considerando los índices A_n y la distancia euclidiana. En general, vemos que el índice A_n obtiene un valor menor que la distancia Euclidiana.

Figura 4
Comparación del índice A_n y la distancia euclidiana de los profesores



3.2 Índice de Desarrollo Humano con Servicios

Ahora vamos a calcular el índice de heterogeneidad utilizando como vector esperado e (pesos iguales en todas las variables) y lo aplicaremos en desarrollo humano.

El Índice de Desarrollo Humano con Servicios (IDHS) fue por primera vez propuesto en Zamudio, Miranda y Tamez (2001) y Zamudio *et al.* (2017) presenta el cálculo de este índice para las Entidades Federativas de México, así como, para sus municipios. El IDHS se calcula como sigue:

$$IDHs = \frac{1}{3} InSer + \frac{1}{3} InEdu + \frac{1}{3} InEsp, \quad (10)$$

donde *InSer* es a su vez el índice de servicios (que utiliza como datos el acceso al agua potable, al drenaje y a la electricidad), *InEdu* que es el índice de educación (que tiene como insumos a la matriculación infantil y a la alfabetización en adultos) y el *InEsp* que es el índice de esperanza de vida. Así, decimos pues que el IDHs tiene tres dimensiones: *InSer*, *InEdu* e *InEsp*, cada uno calculado de forma independiente y que a su vez toman valores entre 0 y 1 cada uno.

Tomando los datos de Zamudio *et al.* (2017) de las tres componentes del IDHs para el 2015 (vector observado), aplicamos el cálculo del A_n (ecuación (2) con $n = 3$) a las Entidades Federativas de México. El vector esperado fue $(\frac{1}{3}, \frac{1}{3}, \frac{1}{3})$ pues es el que se considera para el cálculo del IDHs (ver ecuación (10)).

En la figura 5 se presentan los valores que obtuvieron las Entidades Federativas en las tres dimensiones del IDHs y el índice A_n . De manera general, el índice de esperanza de vida es mucho menor al de los otros dos: servicios y educación. El *InSer* está mostrando valores muy altos (cercanos a 1), esto sugiere que, en general, las personas en México tuvieron un acceso adecuado a los servicios básicos hasta el año 2015.

Observamos que los Estados de Oaxaca, Guerrero, Chiapas, San Luis Potosí y Veracruz obtuvieron el menor valor del índice A_n , indicando que estos estados obtuvieron índices muy parecidos en *InEsp*, *InSer* y *InEdu*; y por otro lado tenemos que Aguascalientes, Colima, Distrito Federal (ahora Ciudad de México), Jalisco y Nuevo León obtuvieron un índice A_n mayor, indicando mayor heterogeneidad en las dimensiones del IDHs.

En la figura 6 se presentan el IDHs de las Entidades Federativas y su respectivo A_n , además se muestra la regresión lineal entre ambos. Se observa un comportamiento muy importante: entre mayor es el IDHs de los Estados, mayor es su índice A_n . Por otro lado, los Estados con mayor IDHs fueron: Aguascalientes, Nuevo León y Distrito Federal, mientras que los que obtuvieron menor IDHs fueron: Oaxaca, Chiapas y Guerrero.

Figura 5
Índice de Esperanza de Vida (*InEsp*), Índice de Servicios (*InSer*), Índice de Educación (*InEdu*), e Índice A_n de las Entidades Federativas de México en 2015

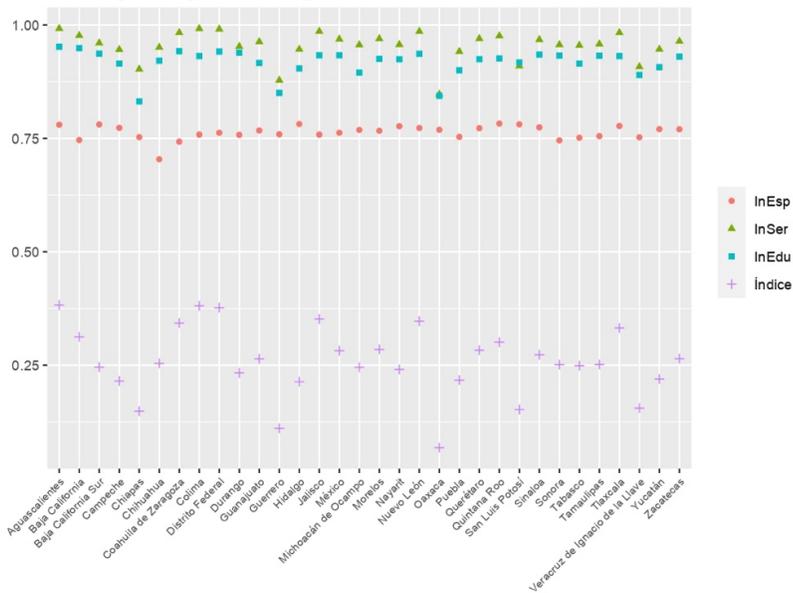
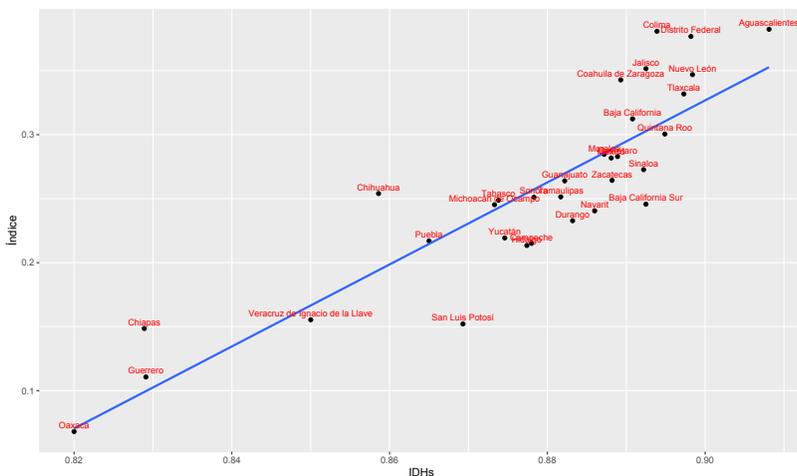


Figura 6
Regresión lineal del IDHs 2015 y el índice A_n de las Entidades Federativas de México



3.3 El salario mínimo en México

El aumento en el salario mínimo (SM) ha cambiado profundamente la estructura de la distribución de las remuneraciones en México, duplicando en 20 años el porcentaje de personas que ganan hasta un salario mínimo y reduciendo a un mínimo histórico la proporción de ocupados que ganan más de tres salarios mínimos (INEGI, 2024).

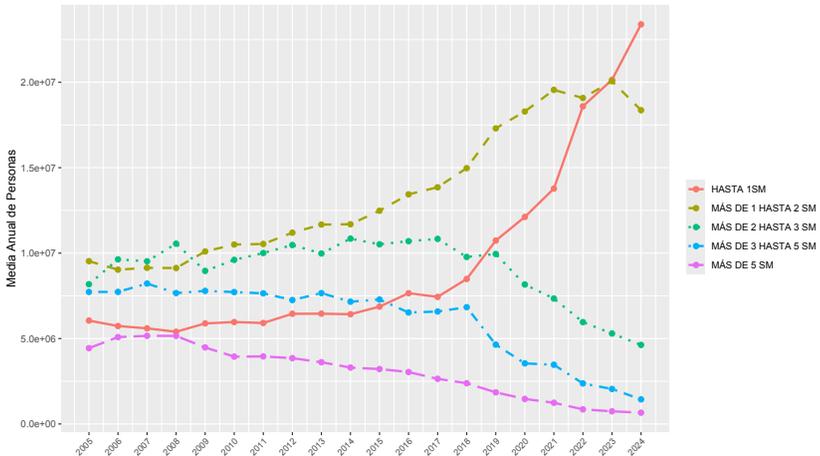
Esta composición tiene un impacto económico significativo por dos razones: primero, el aumento en el salario mínimo ha generado un crecimiento sin precedentes en los trabajos con menor remuneración, y segundo, esta información debe contrastarse con el aumento en el costo de vida. Los datos para este ejemplo –número de personas ocupadas– se obtuvieron de la Encuesta Nacional de Ocupación y Empleo (ENOE) del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), que se publica trimestralmente (excepto el segundo trimestre de 2020) y se clasifican de la siguiente manera:

- 1- Hasta un salario mínimo.
- 2- Más de 1 hasta 2 salarios mínimos.
- 3- Más de 2 hasta 3 salarios mínimos.
- 4- Más de 3 hasta 5 salarios mínimos.
- 5- Más de 5 salarios mínimos.

En la figura 7 se muestra el promedio anual (calculado a partir de los cuatro trimestres) del número de personas ocupadas en cada una de las categorías salariales previamente mencionadas. Se observa un incremento en el número de personas que ganan menos de un salario mínimo, así como un alto porcentaje de personas que ganan entre uno y dos salarios mínimos.

El número de personas pertenecientes a la clase media, representada por las categorías 3 y 4, se mantuvo constante entre 2005 y 2018; sin embargo, a partir de ese año ha disminuido. Este descenso se ha traducido en un aumento en el número de personas en la clase baja, correspondiente a las categorías 1 y 2, mientras que el número de personas en la clase alta, correspondiente a la categoría 5, también ha disminuido.

Figura 7
Media anual de personas ocupadas por categoría de salario mínimo en México

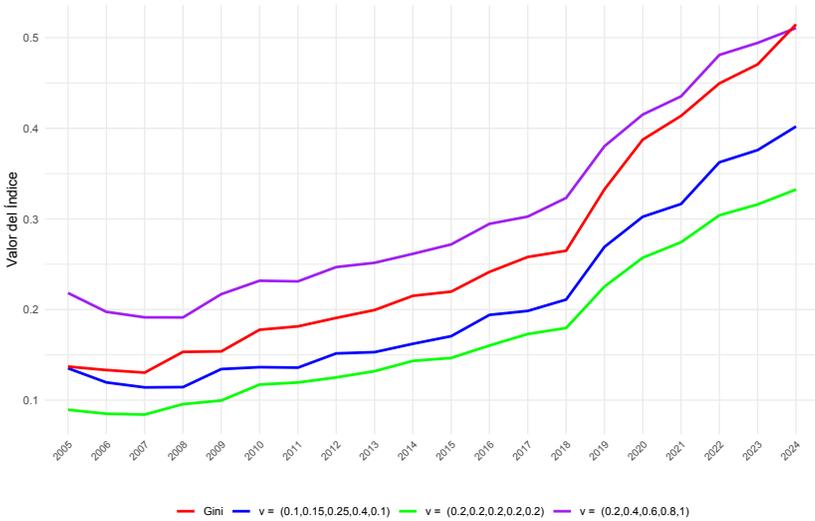


Ahora bien, utilizando los datos de las proporciones de las personas ocupadas en México en cada categoría de los salarios mínimos –vector observado–, se calculó el índice de Gini y el índice A_n con $n = 5$ y tres vectores esperados.

El vector $(\frac{1}{5}, \frac{1}{5}, \frac{1}{5}, \frac{1}{5}, \frac{1}{5})$ indica que se le dio el mismo peso a cada una de las categorías (es decir, se espera un porcentaje del 20% en todas las categorías); luego se consideró el vector $(0.10, 0.15, 0.25, 0.40, 0.10)$ que indica que el 10% de la población se espera gane hasta un salario mínimo al igual que más de cinco salarios mínimos, un 15% de uno a dos salarios mínimos, un 25% de dos a tres salarios mínimos y un 40% de tres a cinco salarios mínimos, así pues, se le está otorgando un mayor peso a la clase media.

También se consideró el vector esperado de $(\frac{1}{5}, \frac{2}{5}, \frac{3}{5}, \frac{4}{5}, \frac{5}{5})$, el cual sugiere que se espera una mayor proporción de personas con un salario más alto. La figura 8 muestra los resultados.

Figura 8
Índice de heterogeneidad A_n e índice de Gini aplicado a la distribución de salario de las personas ocupadas en México



En la figura 8, se observa claramente un cambio abrupto en los índices desde 2005 hasta 2018, fecha de cambio de gobierno federal. Durante el período de 2005 a 2009, la distribución del número de personas en las cinco categorías del salario mínimo era relativamente homogénea (índice verde bajo). Si se esperaba un aumento en el porcentaje de personas con salarios mayores, esto resulta ser incorrecto (ver índice morado), ya que el índice de heterogeneidad muestra un incremento continuo, indicando un aumento en el porcentaje de personas en situación de pobreza (confirmado por la figura 7), a pesar del incremento del salario mínimo en los últimos años. Por otro lado, si se anticipaba una mayor proporción en la clase media (ver índice azul), el índice A_n fue relativamente bajo de 2005 a 2018, aunque en 2018 experimentó un aumento, reflejando una mayor heterogeneidad entre los datos reales y el vector esperado (0.10,0.15,0.25,0.40,0.10).

Conclusiones

La propuesta de nuevos índices de índole social, económico, ambiental, de salud, etcétera, ha sido una tarea continua y muy importante desde hace muchos años, ya que representan alternativas para la cuantificación de características de un problema y, por ende, de mejora en las condiciones de los seres vivos.

Las metodologías utilizadas en los índices de desigualdad proporcionan una amplia gama de herramientas para cuantificar la desigualdad intrínseca, es decir, la heterogeneidad estadística. La relevancia de la aplicación de los índices de desigualdad se extiende a todos los campos de la ciencia y la ingeniería, de ahí nuestro gran interés por estudiarla.

Generalmente, los índices de desigualdad se definen al considerar un vector de datos observado que de manera implícita se contrasta con la conformidad o igualdad perfecta. Sin embargo, si permitimos que la conformidad perfecta no implica necesariamente igualdad perfecta, sino una distribución deseable o esperada, podemos construir índices de heterogeneidad. Fue así como en este artículo, hemos propuesto un nuevo índice de heterogeneidad, construido geoméricamente y cuyas propiedades se han probado analíticamente, que compara un vector observado con el esperado, cuyos tamaños están dados por el número de variables que componen al indicador. A diferencia de los índices tradicionales que asumen una conformidad perfecta basada en la igualdad absoluta, nuestro índice permite una definición más flexible de conformidad perfecta. Esto proporciona una medida más precisa de heterogeneidad en situaciones donde hay expectativas específicas sobre la distribución de las variables. Además, hemos demostrado analíticamente las propiedades del índice, garantizando su robustez y aplicabilidad en diferentes escenarios. En casos específicos donde el vector esperado está compuesto por los mismos elementos, nuestro índice se reduce a una medida de desigualdad tradicional, abarcando y extendiendo las aplicaciones de los índices tradicionales. La capacidad de definir vectores esperados específicos permite que el índice se adapte a diferentes disciplinas y contextos, ofreciendo una medida más relevante y contextualizada de la desigualdad o heterogeneidad.

Un caso particular se considera cuando el vector esperado está constituido por los mismos elementos en todas las entradas, por ejemplo, el vector e , que tiene 1's en todas sus entradas, en cuyo caso nuestro índice se convierte en uno de desigualdad. Sabemos que uno de los índices de desigualdad más relevantes es el índice de Gini, el cual considera, por ejemplo, los ingresos de los habitantes de una región determinada. Por lo tanto, podríamos afirmar que el índice de Gini es un indicador de desigualdad cuantitativa. En contraste, el índice propuesto en este estudio se definió como una medida de desigualdad más general.

Hemos aplicado este índice de heterogeneidad en distintas ramas académicas, obteniendo resultados consistentes con otros índices y con

clasificaciones de datos, de tal manera que nos brindan información relevante para la toma de decisiones.

Dado que el bienestar de las personas es de suma importancia, contar con este tipo de índices nos ayuda, por ejemplo, a realizar propuestas de nuevas políticas públicas de tal forma que se reduzca la brecha entre los grupos socioeconómicos, y a identificar patrones o tendencias de los datos; lo que puede ser útil para el análisis y la toma de decisiones.

Aunque el índice propuesto tiene una sólida base geométrica que facilita su interpretación, la construcción matemática subyacente puede ser compleja. Además, la elección del vector esperado puede influir significativamente en el valor del índice. Dependiendo de cómo se defina este vector, los resultados pueden variar, lo que podría introducir sesgos en la interpretación de los resultados.

Adicionalmente, la construcción del índice se basa en el número de combinaciones del tamaño del vector. Por ende, si este número es muy grande, el índice propuesto podría presentar dificultades operativas al momento de ser ejecutado. Potencialmente causaría que el cálculo falle debido a la complejidad computacional involucrada, por ejemplo, cuando $n = 15,000$.

Aunque la propuesta pudiera parecer abrumadora inicialmente debido a las fórmulas involucradas, se ha proporcionado en GitHub el código² necesario para reproducir este índice, demostrando que su implementación es realmente sencilla.

Agradecimientos

Agradecemos profundamente a los revisores por sus detalladas y constructivas observaciones. Sus comentarios han sido fundamentales para mejorar la calidad y claridad de nuestro artículo.

LJRE desea expresar su sincero agradecimiento a la Universidad Autónoma de Aguascalientes por el apoyo financiero brindado a través del proyecto PIM23-3.

² <https://github.com/judithr19/Indice-Hererogeneidad.git>

Referencias

- [1] Corder, G. W. y Foreman, D.I. (2011). "Nonparametric statistics for non-statisticians". Recuperado de [10.1002/9781118165881](https://doi.org/10.1002/9781118165881)
- [2] Cotler, P. (2007). *Políticas Públicas para un crecimiento incluyente*. Universidad Iberoamericana. Recuperado de <https://books.google.com.mx/books?id=y4EKHFigtnc>
- [3] Deeks, J. J., Higgins, J. P., Altman D. G., y C. S. M. Group. (2019). "Analysing data and undertaking meta-analyses". *Cochrane handbook for systematic reviews of interventions*, 241–284. Recuperado de <https://doi.org/10.1002/9781119536604.ch10>
- [4] Eliazar, I. (2017). "Investigating equality: the rényi spectrum". *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 481, 90–118. Recuperado de DOI: [10.1016/j.physa.2017.04.003](https://doi.org/10.1016/j.physa.2017.04.003)
- [5] Eliazar, I. (2018). "A tour of inequality". *Annals of Physics*, 389, 306–332. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.aop.2017.12.010>
- [6] Esparza, L. J. R., Lazcano, D. A. O., Ponce, J. C. M., & Cortés, O. M. M. D. (2020). Bilateral Gini index: Application for regional studies and international comparisons. *RBEST Revista Brasileira de Economia Social e do Trabalho*, 2, e020010-e020010. <https://doi.org/10.20396/rbest.v2i.13481>
- [7] Gini, C. y Salvemini, T. (1912). "Variabilidad e mutabilidad reprinted in pizetti e". *Salvemini. Mem. Metodol. Stat.*
- [8] INEGI (2024). [Microdatos]. ENOE. Recuperado el 30 de julio de 2024 de <https://www.inegi.org.mx/programas/enoe/15ymas/#microdatos>
- [9] Mondragón, A. (2002). "¿Qué son los indicadores?". *Revista de información y análisis*, 19, 52–58. Recuperado de https://gc.scalahed.com/recursos/files/r161r/w23935w/PSM_U4_R2.pdf
- [10] Medina, F. (2001). *Consideraciones sobre el índice de Gini para medir la concentración del ingreso*. Disponible en: <https://hdl.handle.net/11362/4788>
- [11] Nunes, A., Trappenberg, T. y Alda, M. (2020). "The definition and measurement of heterogeneity". *Translational psychiatry*, 10(1), 299. Recuperado de <https://doi.org/10.1038/s41398-020-00986>
- [12] Olatunji, J., Love R., Shim, Y., Ferrua, M., y East, A. (2017). "Quantifying and visualising variation in batch operations: A new heterogeneity index". *Journal of Food Engineering*, 196, 81–93. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2016.10.004>
- [13] Plata-Pérez, L., Sánchez-Pérez, J., y Sánchez-Sánchez, F. (2015). "An elementary characterization of the Gini index". *Mathematical Social Sciences*, 74, 79–83. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.mathsocsci.2015.01.00>

- [14] PNUD. (2015). "Índice de desarrollo humano para las entidades federativas". Recuperado de: <http://www.pued.unam.mx/export/sites/default/archivos/SUCS/2015/180215RTG.pdf>
- [15] Rodríguez, R. A., Reyes, M., y Favela, M. F. (2016). "La importancia de los indicadores sintéticos en el desarrollo sustentable". Recuperado de <http://ru.iiec.unam.mx/id/eprint/3315>
- [16] Simpson, E. H. (1949). "Measurement of diversity". *Nature*, 163(4148), 688-688. Recuperado de <http://dx.doi.org/10.1038/163688a0>
- [17] Sarabia, J. M. y Jordá, V. (2014). "Explicit expressions of the Pietra index for the generalized function for the size distribution of income". *Physica A: Statistica Mechanica and its Applications*, 416, 582-595. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.physa.2014.09.025>
- [18] Salazar, R. E. M., y García, J. M. J. P. (2014). "El índice de desarrollo humano como indicador social". *Nómadas. Critical Journal of Social and Juridical Sciences*, 44(4). Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/181/18153>
- [19] SEP. (2018). "Programa de Estímulo al Desempeño Docente (2008-2009)". Recuperado de <https://dgesui.ses.sep.gob.mx/sites/default/files/2020-03/Manual%20ESDEPED%202008%20Rec.Ext.pdf>
- [20] UAA. 2008. "Programa de Estímulos al Desempeño Docente (2008-2009)". Recuperado de https://dgdg.uaa.mx/fep/pdfs/estim_docente/reglamento_est_desemp_personal_docente_2019.pdf
- [21] UAA. 2022. "Convocatoria Estímulos al Desempeño Personal Docente 2022-2023". Recuperado de https://dgdg.uaa.mx/fep/pdfs/estim_docente/Convocatoria-%20U006%202022%202023%20UAA.pdf
- [22] Zamudio Sánchez, F. J., Miranda, M. G. P., y Tamez, C. A.V. (2001). "Primer informe sobre desarrollo humano de México 1995". Guanajuato: Universidad Autónoma Chapingo y Centro de Desarrollo Humano de Guanajuato AC.
- [23] Zamudio Sánchez, F. J., Santibáñez Cortés, J., Viana Carrillo, S., Andrade Barrera, M. A., Jiménez Machorro, J., Rodríguez Esparza, L. J., y Ávalos Vargas, A. (2017). *Desarrollo Humano en México 2015: el impacto del fondo regional*. Universidad Autónoma Chapingo.

Análisis de impacto económico multirregional de un desastre en México. El huracán Alex en el noreste del país en 2010

Analysis of multiregional economic impact of a disaster in Mexico. Hurricane Alex in the northeast of the country in 2010

Alfonso Mercado García*, David Mendoza-Tinoco** y Alba Verónica Méndez Delgado***

Información del artículo Resumen

Recibido:
25 abril 2024

Aceptado:
04 noviembre 2024

Clasificación JEL: C67,
Q01,Q54

Palabras clave: análisis insumo-producto, huella de un desastre, impacto económico de los desastres, costos indirectos multirregionales.

El presente documento ofrece un estudio de las afectaciones del huracán Alex en México en 2010, considerado como el de mayor destrucción en México, en el medio siglo reciente. Para ello, se aplica una metodología basada en el análisis insumo-producto multirregional. Con el modelo se calculan los costos económicos directos e indirectos, tanto en la región de impacto del fenómeno, como en el resto del mundo. Los resultados del estudio muestran que los costos indirectos representan 20% de los costos totales y que, de tales costos indirectos, 15.6% ocurrió en el extranjero, principalmente en Estados Unidos, y 84.4% en el territorio nacional.

* El Colegio de México, amercado@colmex.mx, <https://orcid.org/0000-0003-3789-5920>.

** Universidad Autónoma de Coahuila, d.mendoza@uadec.edu.mx, <https://orcid.org/0000-0002-0974-4810>.

*** Universidad Autónoma de Coahuila, albamendez@uadec.edu.mx, <https://orcid.org/0000-0001-9958-1025>.

Article information	Abstract
Received: 25 April 2024	This document analyses the economic effects of Hurricane Alex in Mexico in 2010, considered the most destructive in Mexico in the recent half century. To do this, a methodology based on multi-regional input-output analysis is applied. With the model, direct and indirect economic costs are calculated, both in the region of impact of the phenomenon and in the rest of the world. The findings show that indirect costs represent 20% of total costs and that, out of such indirect costs, 15.6% occurred abroad, mainly in the United States, and 84.4% occurred in the national territory.
Accepted: 04 November 2024	
JEL Classification: C67, Q01,Q54	
Keywords: input-product analysis, footprint of a disaster, economic impact of disasters, multi-region indirect costs.	

Introducción

Los desastres en general, y los relacionados con eventos naturales en especial, generan costos elevados a las economías impactadas. El aumento de eventos climatológicos extremos en el mundo se asocia al cambio climático ocasionado por la actividad de la economía. Estos eventos generan crecientes costos económicos en las regiones impactadas. Los costos económicos no se circunscriben al valor comercial de los bienes destruidos o dañados. La magnitud de dichos costos y su distribución dependen, entre otros factores, de la estructura socioeconómica (Bower, 2019; Dodd *et al.*, 2021).

Las imbricadas redes de los procesos económicos en la cadena de valor global diseminan los efectos negativos de los daños. Esto genera costos indirectos en los sectores vinculados a los directamente dañados, tanto en la misma región de impacto como en latitudes más allá de sus fronteras. El análisis de estos costos permite determinar la vulnerabilidad en las cadenas de valor. Es decir, los eventos climatológicos extremos que afecten la estructura productiva de una región tendrán efecto en otros sectores y en otras partes del mundo que no son directamente afectados. Su análisis permite evaluar políticas públicas para la recuperación, con la evaluación de distintos escenarios de asignación de recursos para la reconstrucción.

Es importante conocer cómo se originan y se distribuyen estos costos para un diseño más efectivo de políticas de adaptación, de manera que incorporen el alcance económico del impacto de dichos eventos (Mirza, 2003; Cavallo y Noy, 2011). El diseño de políticas de adaptación en un país

y a nivel internacional, ante el incremento de dichos eventos, necesita este tipo de estudios, ya que proporcionan información valiosa y representan una alternativa al paradigma tradicional de que las políticas de adaptación son diseñadas localmente (mientras que las de mitigación son principalmente globales).

El análisis del impacto económico de un desastre (AIED) tradicionalmente sólo calcula los costos directos. Son pocos aún los trabajos de AIED que cuantifican también los costos indirectos (Hallegatte, 2015). Los costos directos se originan por el daño del desastre en los bienes afectados (de consumo y de capital). Estos daños, adicionalmente, generan costos indirectos que se distribuyen a través de las cadenas económicas de valor, estableciendo restricciones en la capacidad productiva de los sectores económicos, contabilizándose como reducciones en la producción durante el tiempo que tarda en recuperarse la economía afectada (Kellenberg y Mushfiq Mobarak, 2011; Hallegatte y Przulski, 2010).

Este estudio aplica una metodología reciente (Mendoza-Tinoco, 2020, y Mendoza-Tinoco, Mercado-García y Guan, 2023), basada en el análisis de insumo-producto (AIP) multirregional, para modelar la reducción de la capacidad productiva de los factores primarios ante un desastre, así como los desequilibrios económicos generados. A partir de esta información se produce una alternativa de recuperación de la economía basada en un esquema de racionamiento productivo. Se presenta la aplicación de la metodología al caso del huracán Alex, considerado como el de mayor destrucción en México, en el medio siglo reciente, de 1970 a 2020.

Además de cuantificar los costos directos en términos de valor agregado, se calculan los costos indirectos, como la falta de producción ocasionada por la reducción de la productividad de los factores primarios durante el tiempo de recuperación productiva y las afectaciones en la cadena de valor global generadas mediante las conexiones intersectoriales internacionales. Un estudio previo a éste, sobre los daños del mismo huracán específicamente en el Estado de Nuevo León, calcula que 29% de los costos totales fueron indirectos (Mendoza-Tinoco, Méndez-Delgado y Mercado-García, 2019).

El principal objetivo del estudio es calcular el impacto económico producido por el huracán en los tres Estados más impactados (Nuevo León, Coahuila y Tamaulipas), diferenciando entre los costos directos y los indirectos. El objetivo secundario es medir el impacto del desastre en los países socios comerciales de México, considerando los mecanismos

económicos de la cadena de valor global. Considerando estos objetivos, se plantean las siguientes hipótesis de trabajo:

- 1) Dado que el huracán impactó principalmente a Nuevo León, el cual es el Estado con la mayor economía y población de los tres, se espera encontrar que los costos indirectos agregados de los tres Estados equivalgan a un porcentaje menor pero cercano a 29% de los costos totales, el cual corresponde a dicho Estado.
- 2) Dados los vínculos comerciales y de inversión de México con Estados Unidos, especialmente de los tres Estados del estudio, los cuales son fronterizos con dicho país, se espera encontrar que un alto porcentaje de los costos indirectos en los países socios comerciales de México corresponde a Estados Unidos.

El documento se estructura en siete apartados. Después de esta introducción, el apartado 2 explica el marco conceptual del estudio. El apartado 3 da los pormenores metodológicos de los cálculos. El apartado 4 describe los antecedentes y la naturaleza del caso estudiado. El apartado 5 expone la naturaleza y las fuentes de los datos. El apartado 6 ofrece los principales resultados. El apartado 7 presenta una recapitulación y comentarios finales.

1. Marco conceptual de los costos de los desastres

Los desastres relacionados con eventos climatológicos extremos han ido en aumento en las regiones del mundo, tanto en frecuencia como en intensidad (EMDAT, 2020). Eventos que tenían una probabilidad de ocurrencia de uno por cada cien o mil años, ahora ocurren cada 10, 5 o 2 años. Al mismo tiempo que se dan lluvias intensas que generan gran devastación en algunas regiones del planeta, hay sequías severas también devastadoras en otras regiones. Estos eventos extremos han generado pérdidas de vida humana, de biodiversidad y del acervo cultural de la humanidad, significando todo ello altos costos económicos (Pelling, Özerdem y Barakat, 2002).

El diseño de políticas públicas orientadas a minimizar los daños por los desastres necesita conocer la magnitud de tales daños y los mecanismos de su distribución hacia otros sectores o regiones, así como los puntos más vulnerables de la sociedad por las afectaciones directas e indirectas (Kousky, 2014; Hallegatte, 2016; Lu, Chen y Kuang, 2020). También las políticas de compensación por los daños y de remediación necesitan la información, el análisis y los resultados de estos estudios.

La ciencia económica cuenta con métodos para calcular el costo económico ocasionado por estos eventos. Aunque estos métodos dejan fuera unas dimensiones relevantes de los daños (como las pérdidas humanas o la pérdida de biodiversidad), constituyen una buena aproximación de la magnitud y la estructura del daño en la región impactada y, sobre todo, ayudan a la asignación de recursos para políticas y acciones de adaptación y gestión de riesgos (Dosi, 2001; Kousky, 2014; AG van Bergeijk y Lazzaroni, 2015).

Este trabajo se circunscribe en la estimación de los costos económicos a partir de la destrucción material generada por un evento natural. La destrucción de bienes duraderos, es decir, bienes inmuebles, bienes de capital y bienes de la infraestructura de una economía, genera costos directos para su reparación o reposición. Tradicionalmente, son estos costos los que se contabilizan para determinar el impacto económico de algún evento natural. Estos costos suelen calcularse con base en los precios de mercado de los bienes destruidos (Pelling *et al.*, 2002; Botzen, Deschenes y Sanders, 2020).

Adicionalmente, la destrucción afecta a los factores productivos. La destrucción de bienes de los hogares y de infraestructura restringen la productividad del factor trabajo, por retrasos en traslados o dificultades para las actividades cotidianas del hogar. Mientras que la afectación a los bienes de capital causa una reducción en la capacidad productiva del factor capital. Cabe mencionar que los daños a la infraestructura también generan reducciones en la capacidad productiva en cuanto al suministro de energía o la distribución de insumos.

El imbricado encadenamiento de los sectores productivos implica una fuerte dependencia entre proveedores y usuarios de insumos intermedios. En caso de reducción de la capacidad productiva de algún sector, tanto los sectores proveedores como los compradores en la cadena de valor también tendrán contracciones. A su vez, esto inducirá reducciones de los sectores vinculados con éstos. Y así sucesivamente. La suma de estos efectos negativos intersectoriales en la producción de la economía constituye el resto de los costos indirectos del evento. Y es eso lo que la metodología que se presenta pretende contabilizar (Li *et al.*, 2013; Hallegatte, 2015; Botzen *et al.*, 2020).

Recapitulando, los costos económicos directos se refieren a reducciones en el valor de una variable de *stock*, que es el acervo de capital y de bienes muebles e inmuebles. Por otro lado, los costos indirectos se refieren a la

reducción en el valor de una variable de flujo, que es la producción corriente durante el período de afectación.

En la bibliografía económica reciente, empieza a incorporarse el efecto que los desastres relacionados con eventos naturales pueden tener sobre el desarrollo. Es por ello cada vez más apremiante el diseño de políticas públicas hacia los desastres, con objetivos de adaptación al cambio climático y de desarrollo. Así, las afectaciones no son solamente relevantes para el desarrollo regional, sino también para el desarrollo global (Pelling *et al.*, 2002; McDermott, Barry y Tol 2014; Panwar y Sen, 2019).

2. La metodología del estudio

El objetivo del estudio es calcular los daños derivados de un desastre. Se necesita cuantificar cómo el choque económico de un evento climático extremo genera costos que se transmiten y se propagan a las economías de varias regiones. El procedimiento es el de un AIED multirregional que incluye costos directos e indirectos, es decir, la Evaluación Multirregional de la Huella de un Desastre (EMHD). La EMHD es un AIED multirregional que considera los costos indirectos ocasionados más allá de las fronteras de México (Mendoza-Tinoco *et al.*, 2023)¹.

Primero, se evalúan los costos económicos de los daños físicos derivados de un desastre. Posteriormente se incorporan diversos elementos del AIED en un modelo integrado. Estos elementos incluyen la dimensión multirregional del análisis, la recuperación dinámica del tiempo, la transición de la inversión en recuperación de capital hacia la recuperación de la capacidad productiva, y los efectos de los daños residenciales. Con la integración de dichos elementos se busca evaluar el impacto económico total de los desastres naturales, considerando los efectos en cascada en las regiones y países a lo largo del tiempo.

En principio, la metodología es potencialmente aplicable a un desastre asociado a un fenómeno natural u otro tipo de desastre. Siempre que un choque negativo a la economía destruya parte de la capacidad productiva, la EMHD podría ser aplicado para conocer los costos económicos totales de dicho evento.

¹ Se utiliza el término Evaluación Multirregional de la Huella del Desastre, como interpretación del término *Multirregional Flood Footprint* desarrollado por Mendoza-Tinoco *et al.* (2023).

A continuación, se presentan los fundamentos para modelar la evaluación. Posteriormente, se detalla el proceso de recuperación, que en este caso supone un racionamiento específico, donde las relaciones interindustriales son prioritarias. Luego, se explican los procedimientos para considerar la recuperación económica después del desastre, el racionamiento de la producción disponible luego del evento, la afectación en la matriz de capital, el impacto en las importaciones y el impacto en toda la economía.

2.1 Fundamentos de la modelación

Este estudio se basa el AIP porque permite hacer un análisis regional, calcular los efectos indirectos y medir los daños en un escenario de desequilibrio económico provocado por el evento climático. En seguida, se presenta el modelo básico del AIP, a partir de Miller y Blair (2009)² y, luego, sus extensiones para la EMHD.

a) El modelo básico del AIP

Las transacciones interindustriales de la economía se organizan en un sistema de ecuaciones lineales y se pueden presentar en un arreglo matricial de la siguiente forma:

$$x = Ax + f \quad (1)$$

Donde x es un vector-columna de dimensión $n \times 1$ (n es el número de sectores) que representa la producción total de cada sector³.

Ax representa el vector de demanda intermedia, donde cada elemento de la matriz A ($[a_{ij}]$) es el coeficiente técnico que indica la cantidad del producto i necesario para producir una unidad del producto j . Cabe

² El modelo, desarrollado por el economista ruso Wassily Leontief, incorpora en el análisis el flujo circular de la economía: en cada industria, los insumos se procesan para producir bienes y servicios, los cuales sirven a su vez de insumos a otras industrias a lo largo de la cadena productiva, y que, en el agregado, conforman el proceso de producción de bienes y servicios para la demanda final. Esta demanda final efectiva, equivalente al producto interno bruto (PIB), está constituida por el consumo privado de las familias, la formación bruta de capital fijo o inversión bruta, el gasto de gobierno y las exportaciones netas (exportaciones menos importaciones).

³ Los vectores se denotan con letras cursivas minúsculas y en negritas. Las matrices se representan con letras mayúsculas y en negritas. Los escalares con letras mayúsculas.

destacar que la matriz A es una matriz simétrica de dimensión $n \times n$, industria a industria⁴.

Por último, f indica el vector de la demanda final de cada industria y tiene dimensión $n \times 1$.

Se considera que la economía está en equilibrio, con pleno empleo de los factores productivos, en la siguiente ecuación que contiene todas las transacciones intermedias de bienes y de requerimientos de mano de obra por sector:

$$[A \ f / l \ l' \ 0][x \ l] = [x \ l] \quad (2)$$

Donde l' es un vector renglón de coeficientes técnicos de cada industria $\left(\frac{L(i)}{x(i)}\right)$, que muestra la cantidad de trabajo (en número de trabajadores) $(L(i))$, necesaria para producir una unidad de producto $(x(i))$, en la industria i . Finalmente, l , es un escalar que representa el número total de trabajadores en la economía.

b) Extensiones para la EMHD

Después de un choque negativo a la economía, como el provocado por algún desastre natural, es lo común que los mercados presenten desequilibrios, y esto genera brechas entre una oferta que se reduce por las perturbaciones a la capacidad productiva de la industria y la fuerza laboral, y alteraciones en la demanda por cambios en los patrones de consumo ante la emergencia. También se generan cambios en la demanda producidos por la nueva necesidad de destinar recursos a bienes de reconstrucción.

La capacidad productiva del capital industrial se ve contraída después del desastre. Y la proporción del daño a cada sector está dada por el Vector de Daños (VD) al capital (Γ_{cap}^t) , el cual se obtiene directamente de la información sobre los daños causados a la infraestructura industrial de la región impactada. Esta información se debe transformar como proporción del capital industrial de la región, para determinar, finalmente, cuál será la proporción de capacidad productiva que permanece después del desastre. Esta proporción se va reduciendo en el proceso de recuperación

⁴ Se utiliza la notación (ij) , para denotar pertenencia al sector renglón i , y el sector columna j . Debido a la existencia de subíndices que denotan características de la variable, y que pudiera causar confusión.

que se detalla más adelante. Entonces, la capacidad productiva del capital, en cada período se define como

$$x_{cap}^t = (I - \Gamma_{cap}^t) * x^0$$

Entonces, después de considerar las restricciones del capital y el trabajo, la capacidad total de la producción, en cada período de tiempo t , es proporcional al mínimo de ellas, x_{tp}^t ⁵. Esto se debe a la estructura misma de las funciones de producción consideradas dentro del AIP, conocidas como funciones de complementos perfectos:

$$x_{tp}^t = \min \{x_{cap}^t, x_l^t\} \quad (3)$$

Donde x_{cap}^t es la capacidad productiva del capital en el tiempo t , y x_l^t es la capacidad productiva del trabajo en el tiempo t de la recuperación.

Por otro lado, la demanda total en cada período durante la recuperación, en cada sector, considera las necesidades de insumos de dicho sector, $\sum_{j=1}^n a_{ij}x_{td}^t(j)$, más la demanda final. Aquí, el subíndice td , en la variable x_{td}^t , indica demanda total.

La demanda final durante el tiempo de recuperación, $f_{rec}^t(i)$, además de la demanda final adaptada para cada sector al tiempo t , $f^t(i)$, incluye el gasto en los bienes de capital necesarios para la reconstrucción, $f_{cap}^t(i)$ (ecuación (4)).

Entonces, la expresión para la demanda total del sector i , al tiempo t , es de la siguiente forma:

$$x_{td}^t(i) = \left[\sum_{j=1}^n a_{ij}x_{td}^t(j) \right] + f_{rec}^t(i) \quad (4)$$

Donde

$$f_{rec}^t(i) = \sum_k f_k^t(i) + f_{cap}^t \quad (4.1)$$

Donde la sumatoria $\sum_k f_k^t(i)$ representa la demanda final total, de las categorías, k : hogares, gobierno, capital, exportaciones, en cada período, t , durante la recuperación.

⁵ El subíndice tp es indicativo de producción total. El superíndice t , en ésta y las demás variables, indica el valor en el mes correspondiente durante la recuperación.

La forma en que la demanda para la restauración se convierte en capacidad productiva está dada por la incorporación de la matriz de capital, que justamente señala las proporciones necesarias de los sectores clave para la generación de una unidad adicional de capacidad productiva por sector.

2.2 La recuperación económica después de un desastre

La forma de utilizar los recursos restantes, para alcanzar las condiciones anteriores al desastre, se modela siguiendo un esquema de racionamiento.

Primero se determina la capacidad de producción disponible en cada período posterior al desastre, x_{tp}^t . En el contexto del análisis de Leontief, la capacidad productiva está determinada por el mínimo de cada factor productivo (capital y trabajo), como en la ecuación (3).

Como segundo paso, la capacidad productiva restringida se compara con la demanda para determinar la estrategia de asignación de los recursos restantes y para la planificación de la reconstrucción. Se asume que existe una relación más fuerte entre empresas, por lo que se modela un esquema de prioridad a la demanda intermedia, Ax_{tp}^t , y lo que resta se utiliza para la demanda final, que incluye la demanda para reconstrucción, como en la expresión siguiente:

$$(x_{tp}^t - Ax_{tp}^t) * (f_{rec}^t / (f^0 + f_{rec}^t))$$

Las reglas de este proceso constituyen lo que se llama el esquema de racionamiento.

2.3 Escenarios de racionamiento de priorización proporcional

Se utilizó un esquema de racionamiento de priorización proporcional que asigna primero la producción restante entre la demanda interindustrial (Ax_{tp}^t) que se requiere después del desastre en cada período durante el proceso de recuperación, t , y luego se enfoca en las categorías de demanda final de forma proporcional a la distribución previa al desastre. Se sigue el razonamiento de que las empresas guardan una relación prioritaria y más estable con sus proveedores antes que con los consumidores finales.

Definiendo $o^t(i) = \sum_j a(ij)x_{tp}^t(j)$ como la producción requerida en la industria i para satisfacer la demanda intermedia de las otras industrias, pueden surgir dos posibles escenarios después del desastre.

a) Primer escenario

El primer escenario ocurre si $x_{tp}^t(i) < o^t(i)$, en cuyo caso la producción disponible de la industria i en el tiempo t en la situación post-desastre ($x_{tp}^t(i)$) no puede satisfacer siquiera las demandas intermedias de otras industrias.

Esta situación constituye un cuello de botella en la cadena de producción, donde la producción en la industria j se vería limitada al nivel de producción $\frac{x_{tp}^t(i)}{o^t(i)} x_{tp}^t(j)$, donde $\frac{x_{tp}^t(i)}{o^t(i)}$ es la proporción en que se restringe la producción en la industria j , ($x_{tp}^t(j)$). La producción en el sector j será proporcional a la mayor de las restricciones; es decir, al menor de los coeficientes $\frac{x_{tp}^t(i)}{o_i^t(i)}$. Ello ocurre para cada industria, después debe considerarse el hecho de que las industrias que producen menos también demandarán menos, afectando y reduciendo la producción de otras industrias.

Este proceso se lleva a cabo de forma iterativa, de tal manera que esta situación conduce a un equilibrio parcial, donde se define Ax_{tp}^{t*} como el nivel de la demanda intermedia adaptada.

El asterisco en x_{tp}^{t*} representa la capacidad de producción adaptada que proporciona el equilibrio parcial y es menor que la capacidad de producción disponible (x_{tp}^t). Ello continúa hasta que la producción total disponible en cada momento ($x_{tp}^t(i)$) pueda satisfacer la demanda intermedia en el tiempo t , $o^t(i)$. A partir de este punto, el racionamiento se hace de forma análoga al siguiente caso.

Cabe mencionar que este primer escenario sólo ocurre cuando el choque a la economía ha sido de tal magnitud que alguna(s) de las empresas no son capaces de satisfacer siquiera la demanda intermedia.

b) Segundo escenario

Un segundo escenario se produce cuando $x_{tp}^t(i) > o^t(i)$. Entonces, la demanda intermedia puede satisfacerse sin afectar la producción de otras industrias.

c) Los dos escenarios

En los dos escenarios, la producción restante después de satisfacer la demanda intermedia se asigna a la demanda de recuperación y la demanda final adaptada de los sectores industriales. Cabe mencionar que los escenarios dependen del daño a cada sector, es decir, puede darse el caso a) en un sector que haya sufrido un daño severo y su capacidad productiva no sea suficiente para satisfacer las necesidades de otras industrias que dependen de sus insumos. Al mismo tiempo, el escenario b) se daría en sectores que no fueron muy afectados, y su capacidad productiva es suficiente para satisfacer su demanda intermedia, y tiene un remanente para ser repartido entre sus consumidores finales.

Adicionalmente, se modela cómo un supuesto que parte de la demanda final insatisfecha estará cubierta por las importaciones.

2.4 La matriz de capital en el AIED

La matriz de capital es un elemento del AIP que permite determinar la inversión que un sector necesita hacer en otros sectores para incrementar en una unidad su capacidad productiva. En el AIED, se considera el proceso de la inversión en restauración para incrementar la capacidad productiva perdida, como una variable exógena que permite planificar la recuperación.

De manera formal, una matriz de capital, \mathbf{K} , es una matriz cuadrada donde cada elemento $[k(i, j)]$ denota la cantidad de bienes de capital producidos por el sector i para aumentar la capacidad de producción del sector j en una unidad.

La inversión de capital para la reconstrucción, $K * \Delta x_{cap}^t$, se calcula como la participación de la demanda en bienes de capital para la reconstrucción (f_{rec}^t) entre la demanda final total, multiplicada por la producción restante después de satisfacer la demanda intermedia, $(x_{tp}^t - Ax_{td}^t)$. El término $f_{rec}^t / (f^0 + f_{rec}^t)$ representa una "división punto" o la división elemento a elemento del vector columna vector f_{rec}^t , y el vector columna $(f^0 + f_{rec}^t)$. A su vez, este vector de proporciones se multiplica, elemento a elemento, por el vector columna $(x_{tp}^t - Ax_{td}^t)$. El elemento resultante, $K * \Delta x_{cap}^t$, es un vector columna como se muestra en la ecuación (5):

$$K * \Delta x_{cap}^t = (x_{tp}^t - Ax_{td}^t) * (f_{rec}^t / (f^0 + f_{rec}^t)) \quad (5)$$

Cabe señalar que, en este caso, la inversión en restauración de capital industrial implica tanto los requerimientos técnicos de capital, por industria, desglosados en la matriz de capital \mathbf{K} , como la cantidad de capacidad productiva que se añade al siguiente período (Δx_{cap}^t).

2.5 Impacto del desastre en las importaciones

Por otro lado, se supone que, ante la emergencia ocasionada por un desastre, una parte de las importaciones se destinará al proceso de reconstrucción. Se puede expresar, entonces, la participación de las importaciones que se invierten en la reconstrucción del capital, para estimar su contribución al aumento de la capacidad de producción durante el proceso de reconstrucción. Una vez que el monto de las importaciones designadas para la inversión de capital se determina, como en la ecuación (6), se puede obtener fácilmente la capacidad productiva que ha sido restaurada mediante importaciones (Δx_m^t).

$$K * \Delta x_m^t = m^t * (f_{rec}^t / (\sum_k f_k^0 + f_{rec}^t)) \quad (6)$$

Debe recordarse que la sumatoria $\sum_k f_k^0$ representa la demanda final total de las categorías, k : hogares, gobierno, capital, exportaciones, en la situación previa al desastre⁶. Es decir, las importaciones tienen una participación proporcional a la demanda por reconstrucción del capital. Entonces, la inversión total en la restauración del capital de cada período es:

$$K * \Delta x_{tp}^t = K * (\Delta x_{cap}^t + \Delta x_m^t) \quad (7)$$

La multiplicación por la inversa de la matriz de capital proporciona la capacidad productiva industrial que se añade para el siguiente período, $\Delta x_{tp}^t = \Delta x_{cap}^t + \Delta x_m^t$. Así, para el siguiente período, las posibilidades de producción de la capacidad industrial (el factor capital) están dadas por la siguiente expresión:

$$x_{cap}^{t+1} = x_{cap}^t + \Delta x_{tp}^t \quad (8)$$

Esto permite reformular la función del vector f_{cap}^t en términos de una matriz de capital de Leontief (\mathbf{K}). Al sustituir el término f_{cap}^t por el término $K \Delta x_{tp}^t$ de la ecuación (4), en términos de la matriz de capital, y se obtiene

⁶ El subíndice 0 indica el valor de la variable en la situación previa al desastre.

la demanda total que la economía necesita en cada período durante el proceso de recuperación, como se muestra en la ecuación (9).

$$x_{td}^t = Ax_{td}^t + \sum_k f_k^t + K\Delta x_{tp}^t \quad (9)$$

Estas expresiones generan, por un lado, la capacidad productiva del factor capital⁷ y por el otro, la demanda de producción necesaria en cada período durante el proceso de recuperación, cerrando tanto la brecha de los desequilibrios entre oferta y demanda, como la brecha entre la producción actual y la previa al desastre. Una siguiente iteración de este proceso comienza nuevamente y prosigue hasta que la demanda y la producción totales se encuentren en equilibrio y en el mismo nivel que antes del desastre.

2.6 Impacto económico total

Finalmente, el impacto económico total del evento (**iet**) es la suma de los costos directos (va_{dir}) y los costos indirectos (va_{ind}) generados durante cada período del proceso de recuperación, como se expresa en la ecuación (10).

$$iet = va_{dir} + va_{ind} = f_{rec}^0 + (Tx^0 - \sum_t x_{tp}^t) \quad (10)$$

Los costos se miden en términos de valor agregado, que en el caso de los daños directos es igual al costo de reposición, a precios de mercado. Esto constituye la demanda total de recuperación, f_{rec}^0 .

Adicionalmente, los costos indirectos se calculan como la acumulación de las diferencias entre el nivel de producción antes del desastre (x^0) y la producción restringida después del desastre en cada período (x_{tp}^t), lo cual es igual al término $(Tx^0 - \sum_t x_{tp}^t)$, donde, T es un escalar que indica el tiempo estimado para la recuperación de la economía. Este se contabiliza como el número de períodos (iteraciones) que tardan las variables, producción total (x_{tp}), demanda total (x_{td}), capacidad productiva del capital (x_{cap}) y del trabajo (x_l), para regresar a su nivel previo al desastre, y se eliminan los desequilibrios entre ellas.

⁷ La capacidad productiva del factor trabajo se modela de manera exógena a partir de parámetros de recuperación basados en información de los reportes de cada desastre. Algunos parámetros son endógenos, como la recuperación de la infraestructura de transporte.

En esta versión unirregional del modelo, la estimación de los costos indirectos sólo considera a la región impactada. Sin embargo, un desarrollo posterior a la metodología considera los impactos a otras regiones, divididas en este caso por países, y que se distribuyen principalmente a través de las transacciones interindustriales globales, y de comercio internacional. Para esta versión multirregional del modelo, se incorpora un cuadro multirregional de insumo-producto para tomar en cuenta los efectos mencionados.

3. Los datos

El modelo utiliza dos conjuntos de datos. El primero se refiere a la estructura socioeconómica de la región impactada y el segundo, a las características del desastre y su impacto destructivo directo. Los datos son de 2010, y cuando son valores monetarios, están en millones de dólares a precios de dicho año. La temporalidad de la información es mensual, lo que implica que para las variables de la matriz de insumo-producto, los valores se dividen entre 12 para considerar su valor mensual medio.

3.1 Datos económicos

La principal fuente de información estadística es la Base de Datos de Insumo Producto Mundial (WIOD por las siglas en inglés de World Input Output Database), en la versión que se distribuyó en 2013, y comprende datos para el período de 1995 a 2011. Se consideraron sólo los datos para 2010. La información está acomodada en una matriz multirregional de 40 países y una región “resto del mundo”. Además, esta base de datos desagrega la actividad económica en 35 sectores productivos.

Para regionalizar la información estadística en los tres estados considerados, se utilizaron datos del censo económico de 2014 del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), sobre el acervo de capital, y el empleo. Para el caso de la vivienda, se utilizaron los tabulados de Acervos de Capital por Entidad Federativa del INEGI, con año base 2013 y homologados al 2010⁸. En cuanto a la demanda final, o el PIB, se utilizó información del Banco de Información Económica.

⁸ Obtenido del INEGI:

<https://www.inegi.org.mx/app/tabulados/default.aspx?pr=36&vr=1&in=4&tp=20&wr=1&cno=2&idrt=110&opc=t>

En el modelo multirregional se considera la proporción del daño en la región, con relación al capital. Es decir, el vector de daños se obtiene de estimar el nivel de capital industrial dañado en los tres Estados como una sola región, como proporción del capital nacional (con base en los datos del censo económico). Esta proporción se aplica a los datos de *stock* de capital de la WIOD. Con esto se evita tener que homologar por unidades monetarias. Así, se extrapola el daño regional a un daño nacional, y con ello se lleva a cabo la estimación de interrupciones en los flujos ya de México (y no de la región), con el resto de los 44 países y región resto del mundo (es decir, aprovechando la estructura de la matriz multirregional).

Para la relación entre sectores del INEGI y de la WIOD se hizo una matriz de concordancia, de 19 sectores a 35. Para los sectores que se desagregaron se ponderó por el peso del capital correspondiente a la base de la WIOD, bajo el supuesto de un mayor capital expuesto ante los desastres para aquellos sectores con valores más altos.

Finalmente, se adoptó el supuesto de que la demanda final en los tres Estados del estudio tiene la misma distribución que la nacional (entre el gasto de los hogares, el gasto del gobierno, la formación de capital, las exportaciones y las importaciones).

3.2 Datos de los años

La principal fuente de datos de los daños al capital físico, ocasionados por el huracán, provienen del reporte 'Características e impacto socioeconómico de los principales desastres ocurridos en la República Mexicana durante 2010', generado por CENAPRED (2012). Se consideró principalmente el daño al capital físico, distinguiendo entre el capital industrial (productivo) y el capital residencial. Para el capital residencial, se consideró la información generada por el reporte mencionado, y que se puede apreciar en la tabla 1.

Este monto, después de transformarse en las unidades monetarias correspondientes, se incorporó como proporción de capital físico a ser restituido durante el proceso de recuperación. Cabe señalar que para ello se consideraron las proporciones y extrapolaciones siguientes. De acuerdo con datos del INEGI, el capital en vivienda corresponde al 47.07 por ciento del capital físico total.

Después, se hizo una extrapolación por la proporción de capital residencial correspondiente a la región de análisis, y que corresponde al 9.92 por ciento respecto al nacional. Finalmente, se calculó la proporción

dañada de acuerdo con los datos de la tabla 1, que resultó en el 3.85 por ciento de daños en viviendas.

Cabe mencionar que para este estudio se omitieron los efectos de las interrupciones laborales y el cambio de comportamiento en el consumo final debido a la falta de datos, y a que el análisis de sensibilidad, que este equipo de investigación llevó a cabo, mostró resultados altamente reactivos a dichos parámetros.

Tabla 1
Resumen de daños ocasionados por el Huracán Alex en 2010 (miles de pesos)

Concepto	Tamaulipas		Nuevo León		Coahuila	
	Total	% estatal	Total	% estatal	Total	% estatal
Infraestructura social						
Vivienda	102,379	4.9	962,647	4.5	378,699	26.5
Salud	30,700	1.5	65,622	0.3	38,000	2.7
Educación	16,498	0.8	469,330	2.2	5,552	0.4
Infraestructura hidráulica	178,212	8.5	5,777,468	26.9	101,194	7.1
<i>Subtotal</i>	<i>327,790</i>	<i>15.6</i>	<i>7,275,069</i>	<i>33.8</i>	<i>523,446</i>	<i>36.7</i>
Infraestructura económica						
Comunicaciones y transportes	406,400	19.3	7,411,985	34.5	366,237	25.6
Infraestructura eléctrica	71,691	3.4	332,517	1.5	95,724	6.7
Infraestructura naval	5,814	0.3	---	---	---	---
Infraestructura urbana	136,821	6.5	5,612,025	26.1	63,344	4.4
<i>Subtotal</i>	<i>620,728</i>	<i>29.5</i>	<i>13,356,528</i>	<i>62.1</i>	<i>525,306</i>	<i>36.7</i>
Sectores productivos						
Agricultura, ganadería y acuicultura	1,022,707	48.7	181,214	0.8	330,870	23.0
Turismo	---	---	58,550	0.3	---	---
Comercio y Servicios	14,489	0.7	466,390	2.2	31,675	2.2
<i>Subtotal</i>	<i>1,037,197</i>	<i>49.4</i>	<i>706,155</i>	<i>3.3</i>	<i>362,546</i>	<i>25.2</i>
Otros sectores						
Atención de la Emergencia	60,129	2.9	96,523	0.4	19,055	1.3
Medio ambiente	55,794	2.7	66,581	0.3	---	---
<i>Subtotal</i>	<i>115,923</i>	<i>5.5</i>	<i>163,104</i>	<i>0.8</i>	<i>19,055</i>	<i>1.3</i>
Total	2,101,639	100.0	21,500,857	100.0	1,430,354	100.0

Fuente: CENAPRED (2012).

4. El caso estudiado

La metodología explicada en la sección correspondiente se aplica para el estudio de la afectación del huracán Alex en el noreste de México, en 2010. Se selecciona este evento porque ha sido uno de los más catastróficos en los últimos 50 años. La devastación del huracán impactó a los factores productivos y la infraestructura de la región. El estudio de un desastre asociado a este tipo de fenómenos meteorológicos es relevante porque éstos son los que más afectan a México.

4.1 Descripción del caso

Las características hidrográficas y la distribución geográfica de grandes aglomeraciones urbanas en zonas de riesgo hacen al país altamente vulnerable a estos fenómenos naturales. En junio de 2010, el huracán Alex impactó principalmente a Monterrey, Nuevo León, la cual es la segunda zona metropolitana más grande del país, en términos de población y del producto interno bruto (PIB). Los otros Estados más afectados fueron Tamaulipas y Coahuila.

En dicho año, Nuevo León era el cuarto Estado más habitado de los 32 que conforman la República Mexicana, superado por el Estado de México, la Ciudad de México y Jalisco. Su participación en el total nacional de la población era 4.1%. La participación de Coahuila era 2.45% y la de Tamaulipas, 2.91%. Además, Nuevo León era el tercer Estado con mayor PIB de México. Su PIB equivalía a 7.3% del nacional (superado solamente por el Estado de México y la Ciudad de México). Coahuila tenía una participación de 3.49% y Tamaulipas, 3.08% (tabla 2).

Como se dijo en la introducción, se considera que el huracán Alex es el de mayor daño en México en los años entre 1970 y 2020. De acuerdo con los cálculos oficiales del Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED) en 2014, la afectación en los tres Estados tuvo un costo directo cercano a los 25 000 millones de pesos (2 000 millones de dólares estadounidenses, conforme al tipo de cambio vigente publicado por el Banco de México 2023⁹), los cuales correspondieron a 27% del costo directo del total de desastres en México en 2010. El costo directo de los daños en Nuevo León fue 21 500 millones de pesos (1 750 millones de dólares estadounidenses); es decir, 86% del total de estos Estados y 23%

⁹ Se calculó el tipo de cambio promedio diario, del 1º de junio de 2010 al 30 de septiembre de 2011. Este período comprende el tiempo en el cual se estima la recuperación del huracán, que en el modelo resulta en 10 meses. El cálculo resultante es 12.28 dólares por peso.

del costo directo del total de desastres en el territorio nacional durante ese año. Tamaulipas tuvo 8.3% de los costos directos agregados de los tres Estados y Coahuila, 5.7%.

Tabla 2
Participación porcentual de los tres Estados en el total nacional

Región	Población	PIB				
	2010	2008	2009	2010	2011	2012
Coahuila	2.45	3.44	3.13	3.49	3.64	3.72
Nuevo León	4.14	7.25	7.24	7.34	7.13	7.18
Tamaulipas	2.91	3.36	3.18	3.08	2.92	2.95
Los tres Estados	9.50	14.05	13.56	13.90	13.70	13.84

Fuente: (INEGI, 2024a y 2024b).

El huracán se formó en el océano Atlántico, entró a territorio mexicano, a fines de junio de 2010. Primero tocó tierra en la Península de Yucatán, cruzando por los Estados de Quintana Roo y Yucatán, debilitándose. Después de cruzar el Golfo de México, fortaleciéndose, el meteoro volvió a tocar tierra mexicana por el norte del Estado de Tamaulipas, afectando principalmente a las ciudades de Matamoros, Reynosa y Victoria (ésta, capital del Estado) (CENAPRED, 2020 y Hernández Unzón, A. y C. Bravo Lujano, s/f).

El fenómeno se adentró en Nuevo León, pasando por la ciudad de Monterrey, la más poblada de esa zona noreste de México, y capital de Nuevo León, en la noche del 30 de junio de 2010. La trayectoria terminó en Coahuila, el Estado vecino al de Nuevo León. A su paso, el meteoro destruyó viviendas e infraestructura, y gran parte de la población quedó sin energía eléctrica, sobre todo en Monterrey, con el desbordamiento del río Santa Catarina y amplia destrucción. Las comunicaciones por tierra y por vía aérea se cerraron (Hernández Unzón, A. y C. Bravo Lujano, s/f, y Torres Navarro *et al.*, 2010).

Como se menciona en la introducción, otro estudio previo a éste, sobre el mismo huracán calcula que en Nuevo León, 29% de los costos totales fueron indirectos (Mendoza-Tinoco *et al.*, 2019).

5. Resultados

A continuación, se presentan los principales resultados del modelo, especialmente los costos directos e indirectos del desastre, considerando la evolución de la capacidad productiva durante el período de recuperación, dados los vínculos intersectoriales y la magnitud relativa de los impactos. Además, los resultados se presentan desagregados por región y por sector.

La evolución de los impactos económicos mensuales se presenta en tres partes en la gráfica 1. La parte *a* ilustra las relaciones entre la producción necesaria para satisfacer la demanda final y la capacidad productiva, dada la destrucción de bienes de capital, midiendo en el eje horizontal el tiempo en meses y, en el vertical, el valor de la demanda en millones de dólares. Se aprecia una tendencia de la capacidad total creciente en los primeros meses, la cual luego se estabiliza rápidamente, mientras que la producción demandada va recuperándose más lentamente.

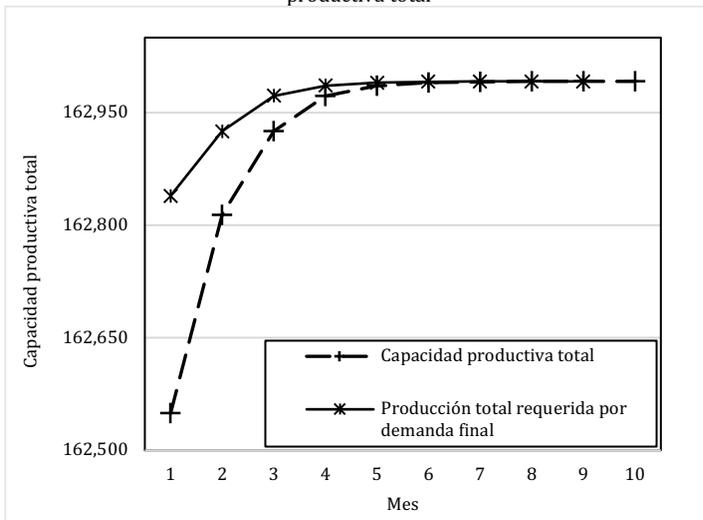
Esta tendencia de la recuperación puede estar impactada por el esquema de racionamiento seleccionado, el cual, al dar prioridad a las transacciones interindustriales, enfoca los esfuerzos a recuperar la capacidad productiva. Mientras que la reducción en el crecimiento para períodos posteriores se corresponderá principalmente a los desequilibrios entre capacidad productiva y demanda.

La parte *b* de la gráfica 1 compara la demanda final en cada período de tiempo durante la recuperación con los esfuerzos de reconstrucción, tanto los locales como los esfuerzos conjuntos locales-externos, incorporando la aportación de las importaciones al proceso de recuperación. Adicionalmente, en la misma gráfica, esta capacidad productiva es comparada con el nivel de demanda efectiva previa al desastre. Se observa una recuperación de la capacidad productiva y una contribución relevante de las importaciones al proceso de recuperación.

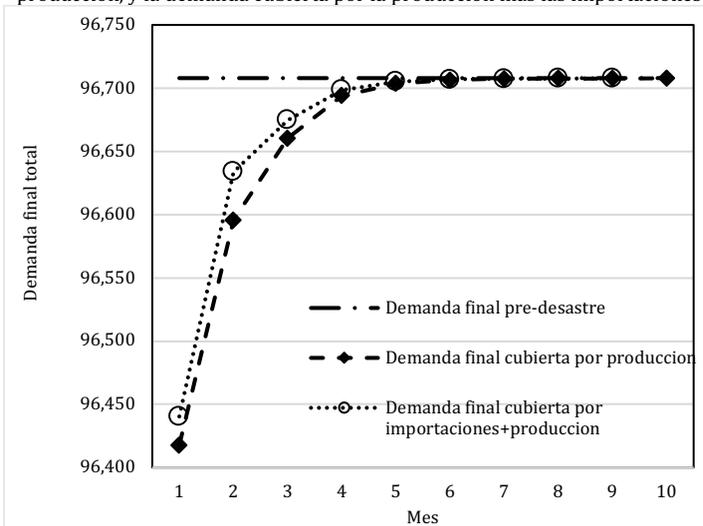
La parte *c* de la gráfica 1 presenta los costos totales del daño por mes. Resume el proceso de recuperación, considerando los equilibrios parciales en cada momento del tiempo durante la recuperación, y comparándolos con el nivel previo al desastre. La suma de las diferencias entre estas cantidades de capacidad productiva y de demanda, en términos de valor agregado, constituye el costo económico total del desastre, o la huella del desastre. En esta parte de la gráfica destaca la rápida recuperación en los primeros meses, pero persisten algunos desequilibrios que desaparecen hasta el mes 10.

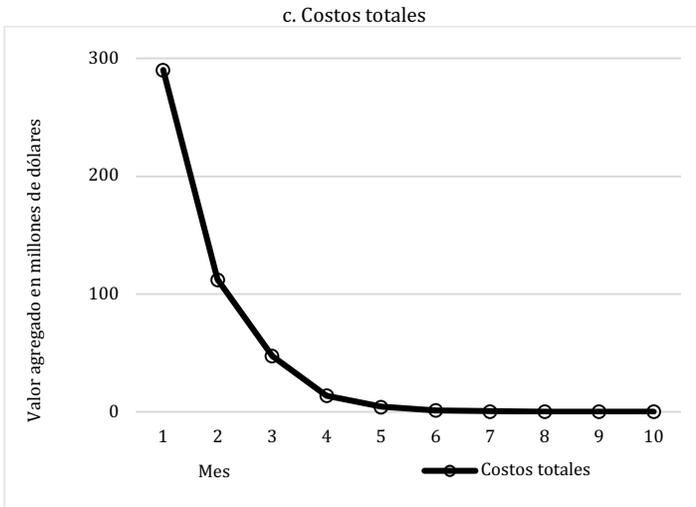
Figura 1
Evolución de los impactos económicos durante la recuperación de junio de 2010 a abril de 2011 (en millones de dólares)

a. Desequilibrios entre la demanda, la capacidad productiva laboral y la capacidad productiva total



b. Desequilibrios entre la demanda en recuperación, la demanda cubierta por la producción, y la demanda cubierta por la producción más las importaciones





Fuente: elaboración propia basada en los resultados del modelo.

La tabla 3 presenta los valores de las variables más relevantes, es decir, la producción total, la demanda final, y la capacidad productiva, en su nivel previo al desastre, como a lo largo del período de recuperación después del desastre.

Tabla 3
Valores mensuales pre-desastre y durante el proceso de recuperación (millones de dólares)

Concepto	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5	Mes 6	Mes 7	Mes 8	Mes 9	Mes 10
Capacidad productiva										
Capacidad previa al desastre	162,992	162,992	162,992	162,992	162,992	162,992	162,992	162,992	162,992	162,992
Capacidad real	162,550	162,813	162,925	162,972	162,986	162,990	162,991	162,991	162,992	162,992
Producción total requerida por la demanda final	162,839	162,925	162,972	162,986	162,990	162,991	162,991	162,992	162,992	---
Demanda final										
Previa al desastre	96,708	96,708	96,708	96,708	96,708	96,708	96,708	96,708	96,708	96,708
Cubierta por producción	96,418	96,596	96,660	96,694	96,704	96,707	96,707	96,708	96,708	96,708
Cubierta por importaciones + producción	96,440	96,634	96,675	96,699	96,705	96,707	6,708	96,708	96,708	---

Fuente: elaboración propia con resultados de la modelación.

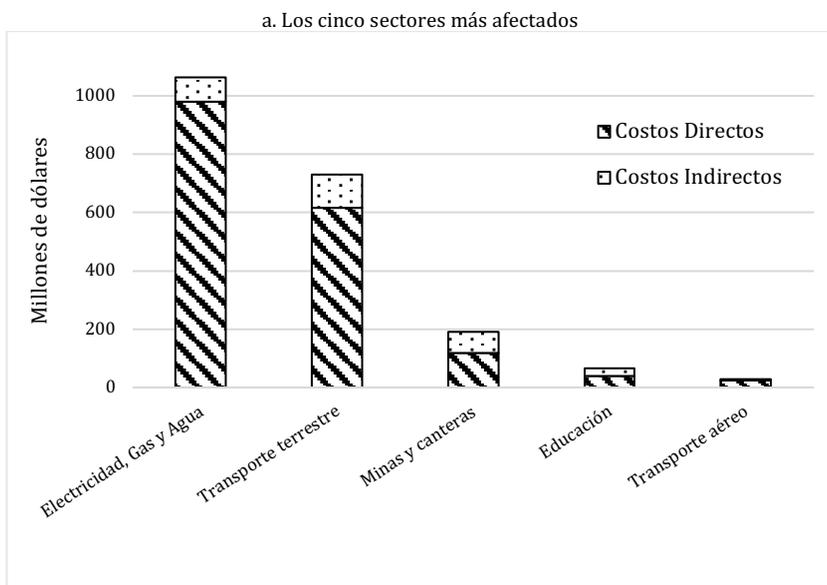
En lo que respecta al análisis intersectorial, la gráfica 2 presenta los costos de los daños por sector, distribuidos por costos directos e indirectos. La parte a) presenta la distribución para los 5 sectores más afectados. Por

cuestiones de escala, la parte b) presenta la distribución para el resto de los sectores.

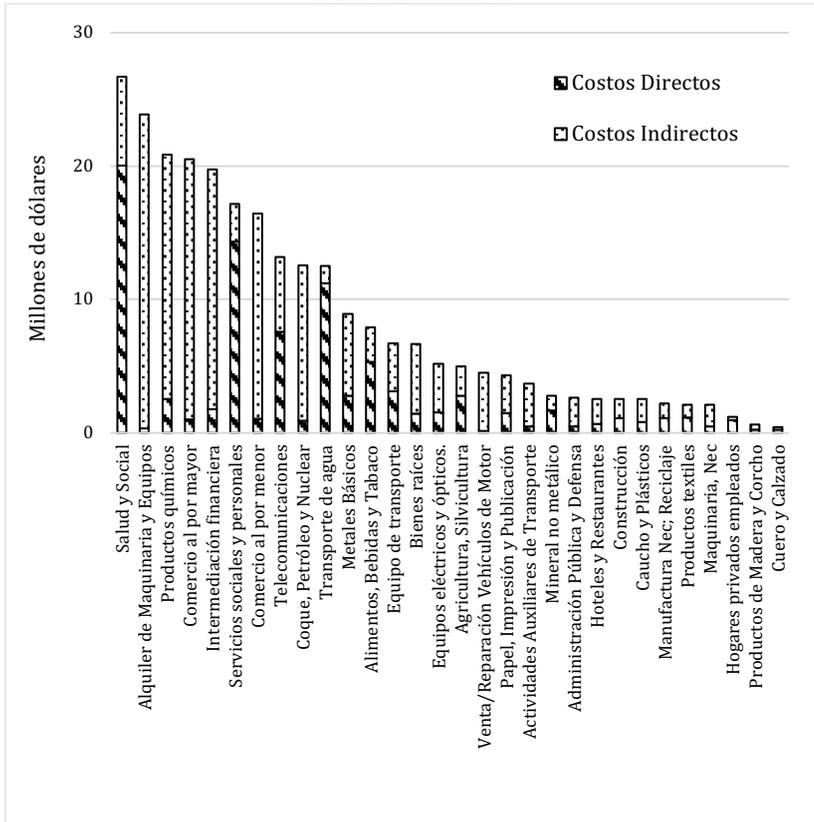
Se aprecia la mayor afectación al sector de las telecomunicaciones, así como en sectores cuyo capital se concentra en bienes inmuebles (como, por ejemplo, los sectores agrícolas, bienes raíces y minería). También sectores relacionados con la infraestructura (como el de electricidad, suministro de agua y gas) sufrieron afectaciones relativamente considerables.

Por otro lado, la gráfica 3 ofrece la distribución porcentual de los costos directos y los indirectos, respecto de los costos totales en cada sector económico. Aunque en términos absolutos, estos costos son relativamente pequeños, se aprecian los encadenamientos intersectoriales, donde los costos indirectos son incluso mayores que aquellos ocasionados directamente por el desastre. Los casos más relevantes son los sectores de renta de maquinaria, la intermediación financiera, y el comercio al por menor. Estos resultados muestran los sectores que fueron indirectamente más vulnerables al desastre.

Figura 2
Distribución de los costos directos y los indirectos por tipo de sector



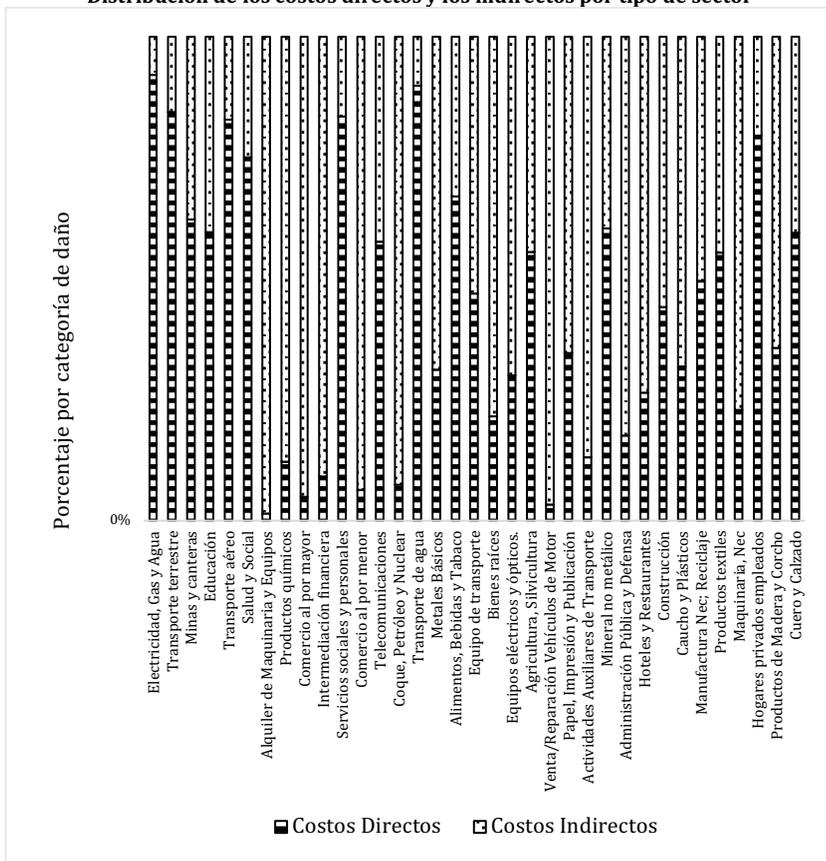
b. Los demás sectores



Fuente: elaboración propia con resultados del modelo.

Otros resultados del modelo revelan una afectación a la fuerza laboral, equivalente a 4.14% de los costos indirectos y una reducción del consumo de bienes no básicos de 20% de la población afectada. Estos dos impactos representan respectivamente 0.8% y 0.4% adicionales de los costos indirectos.

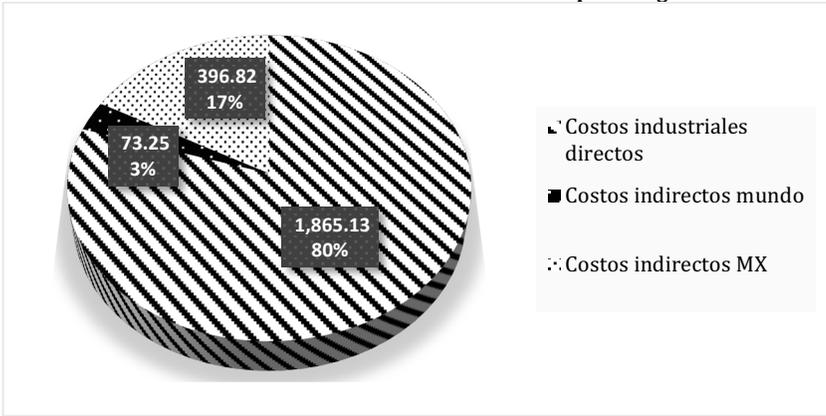
Figura 3
Distribución de los costos directos y los indirectos por tipo de sector



Fuente: elaboración propia basada en los resultados del modelo.

La gráfica 4 muestra la distribución de los costos totales de los daños entre los costos directos, los costos indirectos en el territorio nacional y los costos indirectos en el exterior. Los resultados de los cálculos revelan que, por cada 100 dólares de costos por daños directos, se generaron 25 dólares de costos indirectos y que, de los costos totales, 20.1% corresponde a costos indirectos. Entonces, dado que los costos directos fueron 1,865 millones de dólares, los costos indirectos totales 470 millones de dólares, de los cuales 397 se dieron dentro del territorio nacional, mientras que 73 millones de dólares ocurrieron en el exterior. Esto indica que 15.6% de los costos indirectos se presentaron fuera del territorio nacional.

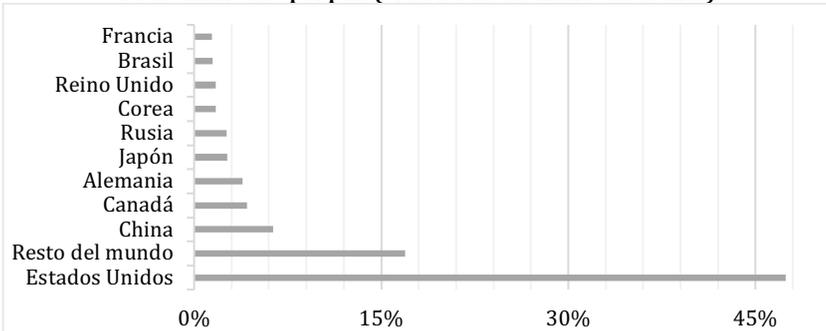
Figura 4
Distribución de los costos totales de los daños por categoría



Fuente: elaboración propia basada en los resultados del modelo.

Finalmente, la gráfica 5 muestra la distribución del *impacto contagiado* del daño por el desastre natural al resto del mundo, mostrando una relación entre la proporción de los costos indirectos del daño y las relaciones comerciales con cada país socio. Se presentan los diez países con los mayores costos indirectos. Sobresale, con mucho, el costo indirecto para Estados Unidos, concentrando 47% del total.

Figura 5
Costos indirectos por país (% de los costos indirectos totales)



Fuente: elaboración propia basada en los resultados del modelo.

Recapitulación y comentarios finales

Los resultados del modelo de EMHD muestran que los costos indirectos agregados de los tres Estados equivalen a 20% de los costos totales, porcentaje inferior y aproximadamente cercano a 29% correspondiente

al análisis del Estado de Nuevo León (Mendoza-Tinoco *et al.*, 2019). Este resultado comprueba la primera hipótesis de trabajo, sugiriendo que los costos indirectos ocasionados por los daños directos en Tamaulipas y Coahuila fueron menos que proporcionales a los generados en Nuevo León. Entonces, al aumentar los costos directos de forma más que proporcional en relación con los indirectos, generan esta diferencia en los resultados. Es decir, las afectaciones indirectas fueron menores en Tamaulipas y Coahuila porque los daños a la estructura industrial no fueron de una magnitud tan grande como en Nuevo León.

El estudio respalda la segunda hipótesis de trabajo. Ciertamente, dados los vínculos comerciales y de inversión de México con Estados Unidos, especialmente de los tres Estados del estudio, los cuales son fronterizos con dicho país, se encontró que un alto porcentaje de los costos indirectos en los países socios comerciales de México corresponde a dicho país vecino. En efecto, resulta que el mayor costo indirecto para el extranjero es, con mucho, el correspondiente a Estados Unidos. Considerando los vínculos económicos de la cadena de valor global, se encuentra que los costos indirectos del desastre para los socios comerciales de México equivalen a 15.6% de los costos indirectos. Sobresale, con mucho, el costo indirecto para Estados Unidos, cercano la mitad de dichos costos en el extranjero.

También son interesantes los resultados de los impactos sectoriales, destacando los mayores costos en el transporte terrestre y en sectores cuyo capital se concentra en bienes inmuebles (como, por ejemplo, alquiler de maquinaria, bienes raíces y minería) y en sectores relacionados con la infraestructura (como el de electricidad, suministro de agua y gas).

Como comentarios finales, es preciso plantear limitaciones y retos para mejorar la calidad de las estadísticas y del modelaje. En primer lugar, el modelo utilizado en este estudio posee rigideces sobre las que es deseable generar mayor flexibilidad a fin de registrar de forma más fehaciente los impactos de los desastres naturales. Entre ellas, la sustituibilidad entre los insumos locales y los importados. Otro tema importante es el de modelar cambios en la productividad de los factores y en los precios.

En segundo lugar, en la literatura empírica del AIED se acepta que los desastres pueden generar efectos positivos parciales, principalmente en los sectores de reconstrucción o de productos básicos necesarios, en las

regiones que no fueron impactadas, durante el tiempo y proceso de recuperación.

Finalmente, se reconoce aquí que la disponibilidad misma de los datos sobre los desastres suele ser imprecisa en la inmediatez de la emergencia. Necesita compilarse de forma precisa y sin rezagos. Los modelos de simulación y generación de funciones de daño, así como los sistemas de monitoreo en tiempo real, permitirán en el futuro generar mecanismos para incorporar esta información más rápidamente y tener cálculos inmediatos y precisos. Asimismo, la sinergia con estas técnicas permitirá la generación de escenarios para pronosticar el impacto económico del cambio climático.

Referencias

- [1] AG van Bergeijk, P. y Lazzaroni, S. (2015). "Macroeconomics of natural disasters: Strengths and weaknesses of meta-analysis versus review of literature". *Risk Analysis*. 35.6: 1050-1072.
- [2] Banco de México (2023. Estadísticas en línea). Sistema de Información Estadística. Recuperado el 27 de diciembre de 2023 de: <https://www.banxico.org.mx/SieInternet/consultarDirectorioInternetAction.do?sector=6&accion=consultarCuadro&idCuadro=CF373&locale=es>
- [3] Botzen, W. J. W., Deschenes, O. y Sanders, M. (2020). "The economic impacts of natural disasters: A review of models and empirical studies". *Review of Environmental Economics and Policy*.
- [4] Bouwer, L. M. (2019) "Observed and projected impacts from extreme weather events: implications for loss and damage". *Loss and Damage from Climate Change*. Springer, Cham. 63-82.
- [5] Cavallo, E. y Noy, I. (2011). "Natural disasters and the economy—a survey." *International Review of Environmental and Resource Economics*. 5.1: 63-102.
- [6] CENAPRED (2012). "Características e impacto socioeconómico de los principales desastres ocurridos en la República Mexicana en el año 2010". En N. García Arróliga, R. Martín Cambraíns, K. Méndez Estrada y R. Reyes Rodríguez (eds.). *Impacto socioeconómico de los desastres naturales*. México. Dirección de Análisis y Gestión de Riesgos. Centro Nacional de Prevención de Desastres.
- [7] CENAPRED (2020, 29 de junio. Blog en línea). "A 10 años del huracán Alex". Centro Nacional de Prevención de Desastres. Recuperado el 28 de diciembre de 2023 de <https://www.gob.mx/cenapred/articulos/a-diez-anos-del-huracan-alex?idiom=es>.
- [8] Dodd, R. J., Chadwick, D. R., Harris, I. M., Hines, A., Hollis, D., Economou, T., ... y Jones, D. L. (2021). "Spatial Co-localisation of Extreme Weather Events: A Clear and Present Danger". *Ecology Letters*. 24.1: 60-72.

- [9] Dosi, C. (2001). Environmental Value, Valuation Methods, and Natural Disaster Damage Assessment. CEPAL.
- [10] EMDAT (2020). *OFDA/CRED International Disaster Database*. Université Catholique de Louvain. Bruselas.
- [11] Hallegatte, S. (2015). "The Indirect Cost of Natural Disasters and An Economic Definition of Macroeconomic Resilience". *World Bank Policy Research Working Paper*. 7357.
- [12] Hallegatte, S. (2016). *Natural Disasters and Climate Change*. Springer International Publisher.
- [13] Hallegatte, S. y Przulski, V. (2010). "The economics of natural disasters: concepts and methods". *World Bank Policy Research Working Paper*. 5507.
- [14] Hernández Unzón, A. y Bravo Lujano, C. (s/f. Documento en PDF). Reseña del huracán "Alex" del Océano Atlántico. Coordinación General del Servicio Meteorológico Nacional, CONAGUA. Ciudad de México. Recuperado el 6 de enero de 2024, de <https://smn.conagua.gob.mx/tools/DATA/Ciclones%20Tropicales/Ciclones/2010-Alex.pdf>
- [15] INEGI (2024a. Información estadística en línea). Población total por entidad federativa y grupo quinquenal de edad según sexo, serie de años censales de 1990 a 2020. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Aguascalientes. Recuperado el 5 de enero de 2024 de https://www.inegi.org.mx/app/tabulados/interactivos/?pxq=Poblacion_Poblacion_01_e60cd8cf-927f-4b94-823e-972457a12d4b (los datos de 2010 se basan en: INEGI. Censo de Población y Vivienda 2010).
- [16] INEGI (2024b. Información estadística en línea). Producto Interno Bruto por Entidad Federativa (PIBE). Año base 2018 | Tabulados Predefinidos | PIB de las actividades económicas por entidad federativa. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Aguascalientes. Recuperado el 4 de enero de 2024 de <https://www.inegi.org.mx/programas/pibent/2018/#tabulados>
- [17] Kellenberg, D. y A. Mushfiq Mobarak (2011) "The economics of natural disaster". *Annual Review of Resource Economics*. 3.1: 297-312.
- [18] Kousky, C. (2014). "Informing climate adaptation: A review of the economic costs of natural disasters". *Energy Economics*. 46: 576-592.
- [19] Li, J., Crawford-Brown, D., Syddall, M., y Guan, D. (2013). "Modeling imbalanced economic recovery following a natural disaster using input-output analysis". *Risk Analysis*. 33.10: 1908-1923.
- [20] Lu, H., Chen, M. y Kuang, W. (2020). "The impacts of abnormal weather and natural disasters on transport and strategies for enhancing ability for disaster prevention and mitigation". *Transport Policy*. 98: 2-9.
- [21] McDermott, T. K. J., Barry, F. y Tol, R. S. J. (2014). "Disasters and development: natural disasters, credit constraints, and economic growth". *Oxford Economic Papers*. 66.3: 750-773.
- [22] Mendoza-Tinoco, D., Hu, Y., Zeng, Z., Chalvatzis, K. J., Zhang, N., Steenge, A. E., y Guan, D. (2020). "Flood footprint assessment: a multiregional case of 2009 central European floods". *Risk Analysis*. 40.8: 1612-1631.
- [23] Mendoza-Tinoco, D., Mercado-García, A. y Guan, D. (2023). *Multiregional Flood Footprint Analysis. An Appraisal of the Economic Impact of Flooding Events*.

SpringerBriefs in Economics. Cham, Suiza. DOI:
<https://doi.org/10.1007/978-3-031-29728-1>.

- [24] Mendoza-Tinoco, D., Méndez-Delgado, A. V. y Mercado-García A. (2019), "Costos económicos del huracán Alex en Nuevo León, México." *Revista Problemas del Desarrollo*. Instituto de Investigaciones Económicas, UNAM, 198 (50), julio-septiembre (pp. 3 - 29); <https://doi.org/10.22201/iiiec.20078951e.2019.198.67469>; disponible en línea:
<https://www.probdes.iiiec.unam.mx/index.php/pde/article/view/67469/61395>
También en inglés:
www.probdes.iiiec.unam.mx/index.php/pde/article/view/67469/61417
- [25] Mirza, M. M. Q. (2003) "Climate change and extreme weather events: can developing countries adapt?" *Climate Policy*. 3.3: 233-248.
- [26] Panwar, V. y Sen, S. (2019). "Economic impact of natural disasters: An empirical reexamination". *Margin: The Journal of Applied Economic Research*. 13.1: 109-139.
- [27] Pelling, M., Özerdem, A. y Barakat, S. (2002). "The macro-economic impact of disasters". *Progress in Development Studies*. 2.4: 283-305.
- [28] Torres Navarro, I., Valdez Carrasco, I., Arévalo Pérez, B. N., Cruz Hernández, G., Ramírez Vázquez, R. y Ojeda González, J. C. (2010). *Huracán Alex en Nuevo León, la memoria. Riesgos, testimonios y acción social*. México, Secretaría de Desarrollo Social, Gobierno de Nuevo León.



Macroeconomic costs of gender gaps: the case of Mexico

Costos macroeconómicos de las desigualdades de género en un modelo con emprendimiento y producción doméstica: el caso de México

David Cuberes* y Marc Teignier**

Article information	Abstract
Received: 07 March 2024	This paper uses the framework of Cuberes and Teignier (2018) to study the quantitative effects of gender gaps in entrepreneurship and workforce participation in Mexico. The focus on one specific country allows us to have detailed information on men and women's participation in household production and their productivity in that sector. In line with our previous research, the occupational choice model predicts substantial losses in the country's income per capita. Gender gaps in the Mexican labor market, especially in labor force participation, represent a 22% fall in total output. Market output drops by 26.5%, while household output experiences a five-fold increase. The presence of the large gap in labor force participations implies that it is important to introduce the household sector into the model to take the production that takes place outside the market sector into account.
Accepted: 29 December 2024	
JEL Classification: E2, J21, J24, O40.	
Keywords: gender inequality, household production, factor misallocation, aggregate productivity.	
Información del artículo	Resumen
Recibido: 07 marzo 2024	Este artículo utiliza el modelo de Cuberes and Teignier (2018) para estudiar los efectos cuantitativos de las desigualdades de género en emprendimiento y participación laboral en México. Centrarnos en un país nos permite tener información detallada de la
Aceptado: 29 diciembre 2024	

* Maynooth University, David.Cuberes@mu.ie, <https://orcid.org/0000-0002-4933-9369>.

** Universitat de Barcelona, marc.teignier@ub.edu, <https://orcid.org/0000-0003-0760-5662>.



Clasificación JEL: E2,
J21, J24, O40.

Palabras clave:
desigualdad de género,
producción doméstica,
productividad
agregada.

participación laboral en la producción doméstica de hombres y mujeres, así como de su productividad en este sector. Nuestro modelo predice pérdidas significativas en el ingreso per cápita del país. Las desigualdades de género en el mercado laboral mexicano, especialmente en participación laboral, representan una caída de la producción del 22%. La producción de mercado cae un 26.5% mientras que la producción doméstica aumenta cinco veces. La presencia de desigualdades de género significativas en la participación laboral implica que es importante introducir un sector doméstico en el modelo para capturar la producción que se da fuera del mercado.

Introduction

Gender inequality is present in many socioeconomic indicators around the world in both developed and developing countries. Although recent decades have witnessed a significant reduction in gender gaps in many countries, the prevalence of gender inequality is still high and it is present in several dimensions, including treatment in the labor market, education, political representation, and bargaining inside the household. In the labor market, for example, women typically receive lower wages, are underrepresented in many occupations, work fewer hours than men, and have less access to productive inputs. We also know that women typically carry out a much larger share of household chores than men¹.

In this paper we calibrate the model in Cuberes and Teignier (2018) using Mexican data. In the model, agents are endowed with a random skill level, based on which they decide to work as either employers, self-employed workers, market workers, or, in the case of women, become household sector workers. We could certainly allow men to work in the household sector too. However, if we make the plausible assumption that women are more productive at home than men, the main results of the paper would still hold.

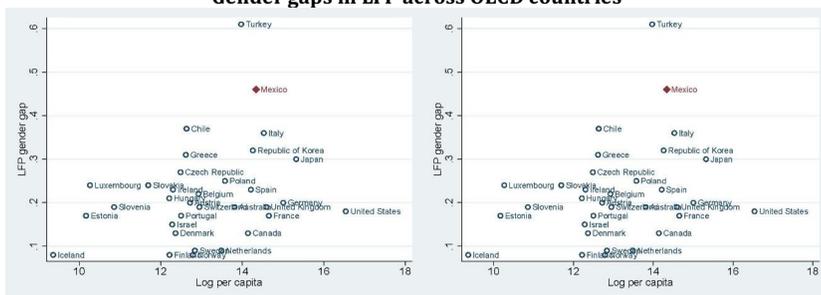
In our framework, women are identical to men in terms of their managerial skills, but they are subject to several exogenous constraints in their labor market choices. As we show below, these restrictions distort the occupational allocation and reduce aggregate productivity and income per capita.

Mexico is an interesting country to study gender inequality in the labor market and its impact on macroeconomics. In Cuberes and Teignier

¹ See Cuberes and Teignier (2014) and Olivetti *et al.* (2024).

(2016) we use data from the International Labor Organization to calculate the gender gaps in labor force participation and employership. Figure 1 shows that Mexico is a very clear outlier among OECD countries.

Figure 1
Gender gaps in LFP across OECD countries



Throughout the paper we compare our results to those of calibrated model for the United States. We think that using the U.S as the benchmark model is useful for two reasons. First, the two economies have very marked differences, both in terms of fundamentals and in terms of the role played by women in the labor market. Second, several of the parameters used to calibrate the model are taken from US data, for which the data are much more reliable than in any other country.

As in our previous work, we find that the income losses associated with gender gaps in the labor market are substantial. In Mexico, these costs amount to about 22% of income per capita, almost twice as high as in the U.S. case (12.8%). An important finding is that most of the income loss of Mexico is generated by the extremely large gap in labor force participation. Since only 46 women participate in the labor market for every 100 men, the income losses associated with the LFP gap are huge (14% vs 4.7% in the US case).

Measuring the household sector output in the model is important because there is a very large fraction of women not working in the labor market who can work in the household. The introduction of labor market gender gaps generates a five-fold increase in household production, much larger than in the US case. With respect to the entrepreneurship gender gap, in the case of Mexico, its role is dwarfed by the LFP gap.

In literature, there are a few theory-based papers that explore how gender inequality has adverse effects on economic growth. Lagerlof (2003), for

instance, argues that gender equality in education affects fertility and the human capital of children and has a positive impact on economic growth. Esteve-Volart (2009) presents a model in which the gender gap in employment leads to a reduction in the stock of talent available in the economy and to distortions in the allocation of talent across different occupations. Cavalcanti and Tavares (2016) construct a growth model based on Galor and Weil (1996) in which there is exogenous wage discrimination against women. Calibrating their model using U.S. data, they find great effects associated with these wage gaps. Hsieh *et al.* (2019) use a Roy model to estimate the effect of the changing occupational allocation of white women, black men, and black women between 1960 and 2008 on U.S. economic growth and find that the improved allocation of talent within the United States accounts for 17 to 20 percent of growth over this period. Cuberes and Teignier (2016) develop a model to calculate the macroeconomic effects of gender inequality in the labor market using data from the International Labor Organization for a large sample of countries.

The rest of the paper is organized as follows. In Section 2 we present the theoretical framework. We show the parameter values and the numerical results in Section 3, while Section 4 concludes.

1. Theoretical framework

In this section, we present the theoretical framework used to generate the quantitative predictions of Section 3, which is an extension of the model proposed by Cuberes and Teignier (2016). The details of the model solution are presented in the Appendix.

1.1 Setup description

The economy we consider has two sectors (market and household) that produce a homogeneous good, as well as a continuum of agents, indexed by their skill level x , who own one unit of time. Talent here should be interpreted more broadly than in Lucas (1978) or Cuberes and Teignier (2016) since now it not only affects the entrepreneurs' profits, but also the workers' earnings.² We assume the economy is closed, with an exogenous workforce of size P . Skill-adjusted labor and capital are supplied to firms by the consumers, in exchange for a wage rate per unit of skill, w , and a capital rental rate, r , respectively. These inputs are then combined by firms to produce a unique, homogeneous consumption good.

² In what follows we will refer to an entrepreneur as someone who works as either an employer or a self-employed.

The stock of capital has a steady-state value and, hence, its marginal product is equal to the depreciation rate plus the intertemporal discount factor.

Men choose to become either firm worker in the market sector, who earn the equilibrium wage rate w times their skill level x , or entrepreneurs, who earn the profits generated by the firm they manage in the market sector. Women can also become workers or entrepreneurs, but they also have the option of producing in the household sector. As in Lucas (1978) and Buera and Shin (2011), the production function of an employer is given by

$$y(x) = x(k(x)^\alpha n(x)^{1-\alpha})^\eta, \quad (1)$$

where x denotes the talent or productivity level of the employer, $n(x)$ is the units of skill-adjusted labor hired by the employer, $k(x)$ is the units of capital rented by the employer, and $y(x)$ represents the units of output produced. The parameter $\eta \in (0,1)$ measures the *span of control* of entrepreneurs and, since it is smaller than one, entrepreneurial technology involves an element of diminishing returns. Since the price of the homogeneous good is normalized to one, employers' profits are equal to $\pi(x) = y(x) - rk(x) - wn(x)$.

On the other hand, an agent with talent x who chooses to become self-employed in the market sector operates a technology given by

$$\tilde{y}(x) = \tau x(\tilde{k}(x)^\alpha \tilde{n}(x)^{1-\alpha})^\eta, \quad (2)$$

where $\tilde{k}(x)$ denotes the units of capital used and $\tilde{y}(x)$ the units of output produced. $\tilde{n}(x) = x$ are the skill-adjusted labor units that the self-employed agents work in his or her own firm.³ The parameter τ , which is calibrated to match the aggregate share of self-employed workers, captures the fact that self-employed agents must spend some time on management tasks. Self-employed profits are equal to $\tilde{\pi}(x) = \tilde{y}(x) - r\tilde{k}(x)$.

Finally, women can also produce in the household sector, operating the following technology:

³ The consumption good produced by the self-employed and the capital they use is the same as the one in the employers' problem. However, it is convenient to denote them y and k to clarify the exposition.

$$y_h = (Ak_h + Bn_h)^\eta, \quad (3)$$

where k_h denotes the units of capital rented to produce in the household sector and n_h the units of time allocated to the household sector. Note that this production function can be seen as the perfect substitute of the one in equation (1), with the productivity parameters A and B being independent of the agent talent. Women choose k_h and n_h in order to maximize their total earnings, which are given by their market-sector plus their household sector earnings.⁴ Specifically, when the opportunity cost of time is their market wage wx , women choose to allocate their unit of time in the household sector when $\frac{A}{B} < \frac{r}{wx}$, and they choose to allocate it to the market otherwise.⁵ Under this household production function, changes in the home technology parameter A (which can be interpreted as an increase in the availability of home appliances or the consumer durable goods revolution mentioned in Greenwood *et al.*, 2005) lead to a rise of female labor participation, as in the model by Greenwood *et al.* (2005) which is empirically assessed by Cavalcanti and Tavares (2008).

1.2 Frictionless Equilibrium

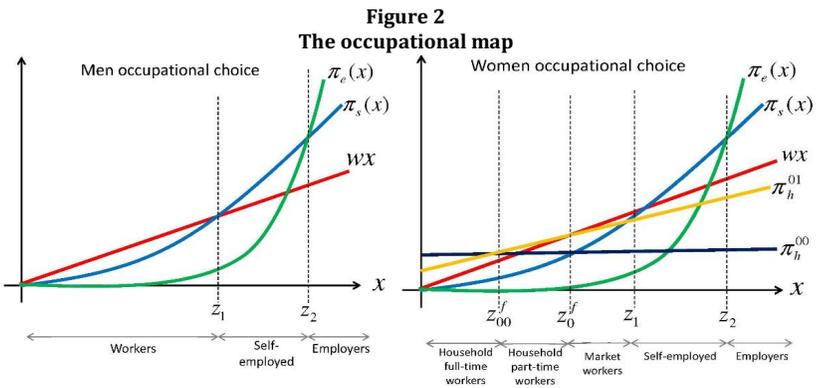
In equilibrium, employers choose the units of labor and capital they hire in order to maximize their current profits, denoted by π_e ; while self-employed workers choose the units of capital to rent in order to maximize their profits, denoted by π_s . Market workers earn labor compensation equal to wx . Women also choose the units of capital to rent for the household-sector production and the fraction of their time they want to allocate to this sector. If they choose to become full-time household workers, they earn an income denoted by π_h^{00} , while if they choose to become part-time household workers, they earn an income denoted by π_h^{01} , which includes market-sector earnings plus household-sector earnings.

The first plot of Figure 2 displays the payoff of the three market occupations at each talent level and shows the optimal occupational choices in equilibrium for men. Men with the highest skill level (those with talent above z_2) become employers, whereas those with intermediate skill

⁴ Arguably this is a unitary approach to the problem in the sense that a household in this model is effectively composed of only one person who can either be a man or a woman. A more realistic but complicated approach would recognize the importance of intra-household decisions as in Chiappori (1997). We leave this promising avenue for further research.

⁵ As explained in Appendix A, depending on the parameter values, women choosing to work at home may still want to rent some capital because their time endowment is limited. At the same time, there may be a group of women who allocate part of their time to the household sector and part of their time to the market sector.

levels become self-employed. Finally, men with a level of talent lower than z_1 become market workers. The second plot of Figure 2 displays the slightly more complicated occupational map for women. As it was the case for men, women with talent above z_2 become employers, whereas those with talent between z_1 and z_2 choose to be self-employed. Women work in the market sector if their talent is between z_0^f and z_1 . Women with talent below z_0^f allocate their time to the household sector production, either part time (between z_{00}^f and z_0^f) or full time (below z_{00}^f).⁶



In this economy, aggregate (market) production is the sum of output by male employers and male self-employed, as well as output by female employers and female self-employed:

$$Y = N \left[\int_{z_2}^{\infty} y(x) d\Gamma(x) + \int_{z_1}^{z_2} \tilde{y}(x) d\Gamma(x) \right].$$

where $\Gamma(x)$ denotes the talent cumulative density function, which, again, it is assumed to be the same for men and women. The first term inside the bracket represents the production by male and female employers, whereas the second is the corresponding term for the self-employed.

Total production in the economy, Y_T , is the sum of market output (Y) and household output, Y_h .

$$Y_T = Y + Y_h.$$

⁶ To be precise, h_{00} and h_{01} are defined here as the household production profits by household workers relative to market workers, who may also choose to engage in household production but using only capital.

Y_h is equal to household production by full-time household workers, y_h^{00} , plus household production by part-time household workers, y_h^{01} , plus household production by female market workers, y_h^1 (who use some capital in the household sector in order to produce there):

$$Y_h = \frac{N}{2} \left(\int_B^{z_{00}^f} y_h^{00} d\Gamma(x) + \int_{z_{00}^f}^{z_0^f} y_h^{01}(x) d\Gamma(x) + \int_{z_0^f}^{\infty} y_h^1 d\Gamma(x) \right).$$

1.3 Introducing gender gaps into the framework

The model assumes that women are identical to men in terms of their innate skills, but they face exogenous constraints in their market-sector occupational choice. These frictions may reflect discrimination, or other demand factors, but they might also reflect differences in optimal choices of women, or other supply factors. In this sense, our estimated effects should be interpreted as the result of all the factors that make women behave differently than men in the labor market, including the presence of social norms.

The first constraint we impose is that females face a probability μ of being “allowed” to be an employer and a probability $1 - \mu$ of being excluded from employership.⁷ Out of the group of women not allowed to be employers, some have the possibility of becoming self-employed while the rest are also excluded from self-employment. In particular, women excluded from employership have a probability μ_o of being allowed to be self-employed and a probability $(1 - \mu_o)$ of not being allowed to be self-employed. As a result, a fraction $(1 - \mu)(1 - \mu_o)$ of women is shut out from entrepreneurship, i.e. both employership and self-employment can only become workers. Appendix B shows a graphical representation of the occupational choice of women taking the just described constraints into account.⁸ Finally, the third fraction we introduce is that only a fraction λ of women is allowed to participate in the labor market, while a fraction $(1 - \lambda)$ of randomly selected women is excluded from all the possible

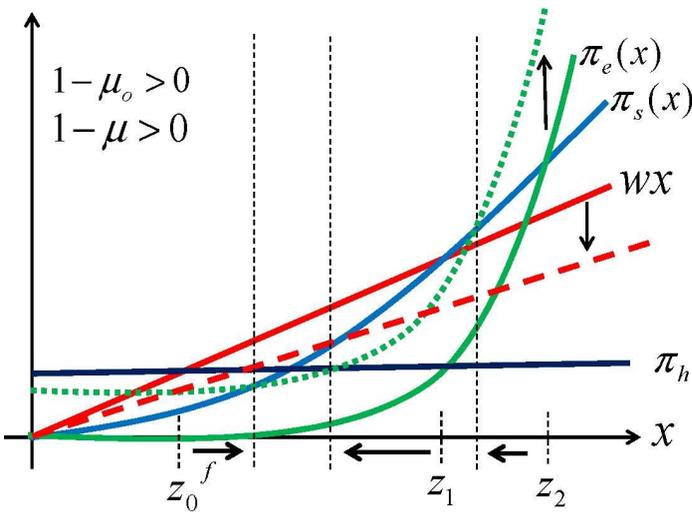
⁷ Again, this constraint may represent either demand barriers, supply choices, or a combination of the two.

⁸ Note that, in this setup, we are not allowing for the possibility of women being excluded from self-employment but not from employership, since we think that whichever are the barriers women face to become self-employed, they should apply even more strongly to become an employer. In terms of the parameters of the model, if $\mu = 1$, then the value of μ_o does not affect the occupational choices of women.

occupations in the labor market.⁹ In this setup, women who do not participate in the formal labor market become full-time workers in the household sector and, hence, the estimated aggregate income loss due to the λ gender gap depends on the difference between the market participants earnings and the household-sector earnings.

The effects of the entrepreneurship gaps, μ and μ_o , are illustrated in Figure 3 for the case without part-time workers. When some women are excluded from entrepreneurship, the supply of market workers increases, leading to a fall in the wage rate and a rise in the employers' profit function. This makes both z_1 and z_2 fall, implying a lower average talent of entrepreneurs and a lower firm productivity. The capital stock adjusts downwards to keep its marginal product equal to the depreciation rate plus the intertemporal discount factor. Moreover, in the case of women, there is a rise in z_0^f , implying that the number of workers in the market-sector falls and the number of workers in the household sector rises. As a result of all these effects, the market-sector output decreases. If part-time work was also considered, the fall in wages would lead to a rise of both z_{00}^f and z_0^f , implying also a fall in female market labor.

Figure 3
Qualitative effects of entrepreneurship gender gaps



⁹ We say that women excluded from the labor force are randomly selected because the talent of these excluded women is drawn from the same distribution as the rest of the population.

The effects of the labor force participation gap, λ , are more straightforward. When some women get excluded from the market sector, they become household-sector workers, leading to a fall in the market-sector labor and a rise in the home-sector labor.¹⁰ As before, the capital stock adjusts downwards to keep its marginal product equal to the depreciation rate plus the intertemporal discount factor. These effects clearly reduce total output from the market sector, but they are likely to slightly increase output per worker because the household-sector capital demand falls and, thus, the market sector capital-to-labor ratio increases.

2. Numerical Results

2.1 Data

Data on employment status and working hours is obtained from the National Survey of Occupation and Employment (ENOE) made public by the National Statistics Institute (INEGI). The National Statistics Institute (INEGI) compiles satellite accounts on non-remunerated household work. The data show that this type of work amounted in 2017 to 5.1 billion pesos (0.25 billion US dollars), or about 23% of Mexico's GDP. The estimation of this satellite account is based on two inputs: 1) A measure of time spent on unpaid work, which is approximated through the number of hours of unpaid work and the identification of the individuals who perform it (both indicators being taken from the National Time Use Survey); and 2) The cost per hour spent on unpaid care and domestic work, estimated from the National Occupation and Employment Survey, providing gross values from average earnings by economic activity, according to the North American Industry Classification System (NAICS). The activities included for this estimation are those household's activities defined as productive, if can be delegated to somebody else or provide a product or service that can be exchanged in the market, like provision of food, cleaning and maintenance of a dwelling, cleaning and care of clothes and shoes, shopping and household management, care and support, community services and volunteer work.¹¹

¹⁰ Admittedly, in the case of the Mexican economy, a significant fraction of women not working in the formal labor market do it in the informal one. We could reinterpret our household sector as including not only the output generated at home but also the one in the informal sector. We leave for future research the addition of a well-defined informal sector into the framework.

¹¹ Due to the very nature of the non-remunerated activities, some degree of measurement error should be assumed.

2.2 Talent Distribution and Model Parametrization

To simulate the model, we use a Pareto function for the talent distribution, as in Lucas (1978) and Buera *et al.* (2011). The cumulative distribution of talent is, hence, given by

$$\Gamma(x) = 1 - B^\rho x^{-\rho}, \quad x \geq 0, \quad (4)$$

where $\rho, B > 0$.

The values used for the model parameters are shown in Table 1. The parameter B of the talent distribution is normalized to 1, while the parameter η is set to 0.79 as in Buera and Shin (2011).¹² The capital-output elasticity parameter α is set to 0.114 in order to match the 30% capital income share observed in the data.¹³ The parameters (ρ, τ, A, B) are estimated to match four different moments of the Mexican data. First, the fraction of employers in the labor force (which is 4.4%), second, the fraction of self-employed workers in the labor force (which is 22.3%), third, the household sector productivity relative to the market-sector one (which is 0.26), and, fourth, the gap between the share of female part-time workers and the share of male part-time workers (which is 12.4%). Compared to the United States case, we observe that Mexico has a slightly larger share of employers (4.4% vs. 3.6%), a much larger share of self-employed workers (22.3% vs 6.5%) and a similar relative household productivity and part-time gap.

Table 1
Common parameter values

Parameter	Value	Explanation
B	1	Normalization
η	0.79	From Buera and Shin (2011)
ρ	7.35	To match the employer's share in Mexico
τ	0.697	To match the self-employed's share in Mexico
A_n	0.307	To match the value of household output
A_k	0.055	To match the share of female part-time workers

¹² Buera and Shin (2011) choose to match the top five percent income share in the U.S., which is 30%. This is a reasonable approximation given that the top earners are entrepreneurs both in the model and the U.S. data.

¹³ Entrepreneurs' profits are considered capital income, thus we set $\alpha\eta + 1$ - equal to 30%.

The values of the country-specific gender gaps (μ, μ_o, λ) are computed to simultaneously match the female-to-male ratio of employers, self-employed workers, and labor market participation in each country. After matching these moments, we obtain that the value of the employership gender gap, $1 - \mu$, is 0.6 (very similar to the U.S. one), while the self-employment gender gap, $(1 - \mu)(1 - \mu_o)$ is equal to 0.08 (compared to 0.41 in the U.S.), and the labor force gender gap, $1 - \lambda$, is 0.44 (compared to 0.14 in the U.S.).

2.3 Numerical Results

The numerical results for Mexico are summarized in Table 2, which shows that gender gaps lead to a fall in total output (market plus household) is much larger in Mexico than in the United States (22% vs. 12.7%). In Mexico, there is an almost five-fold rise in household sector production due to the presence of gender gaps (487% in Mexico vs. 6.5%) which only compensates partially the fact that the fall in market output is much larger in Mexico than in the United States (26.5% vs. 17.3%). The effects of the entrepreneurship gender gaps on market output, however, are greater in the United States, the reason being that the fall in female market sector hours due to the entrepreneurship gender gaps is significantly smaller in Mexico (0.11% vs 11.9%).

Table 2
Average effects of gender gaps in Mexico and the United States

(%)	United States	Mexico
Change in market output due to entrepreneurship gaps	-12.47	-9.44
Change in market output due to all gender gaps	-17.26	-26.50
Change in household output due to all gender gaps	+6.48	+487.27
Change in total output due to all gender gaps	-12.68	-22.01
Change in female mkt hours due to entrepreneurship gaps	-11.87	-0.11
Change in female mkt hours due to all gender gaps	-23.65	-44.19

Comparing we also the results with the ones for Southern Europe in Cuberes and Teignier (2018) we find that the fall in total output due all gender gaps is 16%, much smaller than in Mexico. The rise in household output is of about 4% only, but the fall in market output is of 20.5%, 6 percentage points lower than in the case of Mexico.

Beyond the mechanical effect of labor force participation gap, the intuition behind the loss in aggregate output is as follows. When a woman with high management skills happens to be "banned" from becoming an employer, this will result in a decrease of the demand of workers and possibly an

increase in the supply of workers, which leads to a reduction of the equilibrium wage rate (as well as the capital rental rate for similar reasons). The model then implies that a less skilled agent will now find it profitable to become an employer and will take her position as manager of the firm. As a result, the firm will be less productive and due to the nature of the span-of-control technology, also smaller. In equilibrium, aggregate productivity, wages, profits, and output will be lower because of this restriction.

Conclusion

This paper uses a general equilibrium, occupational choice model with a household sector to examine the quantitative effects of gender gaps in entrepreneurship and workforce participation in Mexico. Our main finding is that the presence of gender gaps generates losses of 22% of income per capita, almost twice as high as the case in the U.S. The introduction of a household sector in the model is important because it allows women not participating in the labor market to work at home. Because labor force participation gender gaps in Mexico are huge compared to entrepreneurship gaps, the main consequence of considering the household sector is the gain in household production generated by the LFP gaps.

Our current framework has some limitations. An important one is that our current framework assumes that all women are equally likely to get excluded, while the selection into the labor market or into entrepreneurship might not be talent neutral. If women with low education are more likely to participate in the labor force, there could be negative selection in the labor market participation, which could exacerbate the costs. Another important limitation is that we do not model the informal labor market explicitly. To the extent that the returns in the informal sector might be higher than the ones in the household sector, we could be overestimating the total aggregate costs of the gender gaps in the Mexican economy. More research is necessary to compute the earnings in the informal sector and to model the selection between the formal market, the informal one, and the household sector.

In terms of policy implications, our results underscore that the promotion of women's participation in employment and entrepreneurship can be one of the most promising avenues for fostering Mexico's future development. Important recommendations to achieve this goal include expanding child and aged care with a prioritization of public resources for

families in the bottom of the income distribution. At the same time, to improve the share of female entrepreneurs it is important to reform the legal environment so that it is fully aligned with international best practices and to consider the financing and training provided to women owned and-operated businesses. Finally, relevant legal reforms could include mandating nondiscrimination in employment based on gender and equal remuneration for work of equal value, prohibiting the dismissal of pregnant women, and expanding parental leave entitlements.

References

- [1] Antunes, A., Cavalcanti, T., and A. Villamil. 2015. "The Effects of Credit Subsidies on Development." *Economic Theory*, 58:1-30.
- [2] Aguirre, D., L. Hoteit, C. Rupp, and K. Sabbagh. 2012. "Empowering the Third Billion: Women and the World of Work in 2012." Startegy (formerly Booz and Company) report (Arlington, Virginia).
- [3] Bridgman, B. 2016. "Home Productivity." *Journal of Economic Dynamics and Control*, 71: 60-76.
- [4] Bridgman, B., G. Duernecker, and B. Herrendorf. 2015. "Structural Transformation, Marketization, and Household Production around the World."
- [5] Buera, F. J., Kaboski, J. P., Shin, Y., 2011. "Finance and Development: A Tale of Two Sectors." *American Economic Review* 101 (5), 1964.
- [6] Cavalcanti, T., and Tavares, J., 2008. "Assessing the Engines of Liberation: Home Appliances and Female Labor Force Participation." *The Review of Economics and Statistics*, 90(1): 81-88.
- [7] Cavalcanti, T., and Tavares, J., 2016. "The Output Cost of Gender Discrimination: A Model-Based Macroeconomic Estimate." *Economic Journal* 126, Issue 590, February, pp. 109.
- [8] Cerina, F., Moro, A., and Rendall, M., 2016. "The Role of Gender in Employment Polarization." CMF Discussion Paper 2017-04.
- [9] Chiappori, P-A., 1997. "Introducing Household Production in Collective Models of Labor Supply." *Journal of Political Economy* 105, No. 1. February, pp. 191-209.
- [10] Cuberes, D., and Teignier, M., 2014. "Gender Inequality and Economic Growth: A Critical Review." *Journal of International Development*, vol. 26, Issue 2, pp. 260-276, March.
- [11] Cuberes, D., and Teignier, M., 2016. "Aggregate Costs of Gender Gaps in the Labor Market: A Quantitative Estimate." *Journal of Human Capital*, vol. 10, no. 1.
- [12] Cuberes, D. & Teignier, M. (2018). Macroeconomic costs of gender gaps in a model with entrepreneurship and household production. *The B.E. Journal of Macroeconomics*, 18(1).
- [13] Doepke, M., and M. Tertilt. 2009. "Women's Liberation: What's in it for Men?" *Quarterly Journal of Economics* 124(4): 1541-91.

- [14] Duernecker, G. and Herrendorf, B., 2015. "On the Allocation of Time - A Quantitative Analysis of the U.S. and France." Working Paper 5475, CESifo.
- [15] Esteve-Volart, B., 2009. "Gender Discrimination and Growth: Theory and Evidence from India." Manuscript.
- [16] Fernandez, R., 2009. "Women's Rights and Development." NBER Working Paper No 15355.
- [17] Galor, O., and Weil, D. N., 1996. "The Gender Gap, Fertility, and Growth." *American Economic Review* 85(3), 374.
- [18] Goldman Sachs, 2007. "Gender Inequality, Growth, and Global Ageing." Global Economics Paper No. 154.
- [19] Gollin, D., Parente S. L., and Rogerson, R. 2004. "Farm Work, Home Work, and International Productivity Differences." *Review of Economic Dynamics* 7: 827-50.
- [20] Greenwood, J., A. Seshadri, and M. Yorukoglu, 2005. "Engines of Liberation. *Review of Economic Studies*." 72: 109-33.
- [21] Guner, N., Kaygusuz, R., and Ventura, G., 2012a. "Taxation and Household Labor Supply." *Review of Economic Studies*, 79, 1113.
- [22] Guner, N., Kaygusuz, R., and Ventura, G., 2012b. "Taxing Women: A Macroeconomic Analysis." *Journal of Monetary Economics*, 59, 111.
- [23] Hsieh, C., Hurst, E., Jones, C., and Klenow, P., 2013. "The Allocation of Talent and U.S. Economic Growth." NBER Working Paper No. 18693.
- [24] International Labor Organization, 2014. "Global Employment Trends."
- [25] Lagerlof, N., 2003. "Gender Equality and Long Run Growth." *Journal of Economic Growth* 8, 403-426.
- [26] Lucas Jr., R. E., 1978. On the Size Distribution of Business Firms. *The Bell Journal of Economics* 9(2), 508-523.
- [27] McKinsey & Company, 2015. "The Power of Parity: How Advancing Women's Equality Can Add \$12 Trillion to Global Growth." September.
- [28] Moro, A., Solmaz, M., and Tanaka, S., 2017. "Does Home Production Drive Structural Transformation?" *American Economic Journal: Macroeconomics*, 9 (3), 116-46.
- [29] Ngai, L. R., and Petrongolo, B., 2017. "Gender Gaps and the Rise of the Service Economy." *American Economic Journal Macroeconomics*, forthcoming.
- [30] Ngai, L. R., and Pissarides, A., 2011. "Taxes, Social Subsidy, and the Allocation of Work Time." *American Economic Journal: Macroeconomics*, 3, 1.
- [31] Olivetti, C., Pan, J., and Petrongolo, B., 2024. "The evolution of gender in the labor market." *Handbook of Labor Economics*, vol. 5, pp. 619-677.
- [32] Prescott, E. C., 2004. "Why Do Americans Work So Much More than Europeans?" National Bureau of Economic Research Working Paper No. 10316.
- [33] Rendall, M., 2017. "Brain versus Brawn: The Realization of Women's Comparative Advantage." Manuscript.
- [34] Rogerson, R., 2008. "Structural Transformation and the Deterioration of European Labor Market Outcomes." *Journal of Political Economy*, 116, 235.

- [35] Rogerson, R., 2007. "Taxation and Market Work: is Scandinavia an Outlier?" *Economic Theory*, 32, 59.
- [36] World Bank, 2012. "World Development Report 2012: Gender Equality and Development."

Appendix

Appendix A. Model details

Agents' optimization

Employers

Employers choose the units of labor and capital they hire in order to maximize their current profits π .

$$\max_{k,n} \{x(k^\alpha n^{1-\alpha})^\eta - rk - wn\},$$

The optimal number of workers and capital stock, $n(x)$ and $k(x)$ respectively, depend positively on the productivity level x , as equations ([eq:nsize]) and ([eq:ksize]) show:

$$n(x) = \left[x\eta(1-\alpha) \left(\frac{\alpha}{1-\alpha} \right)^{\alpha\eta} \frac{w^{\alpha\eta-1}}{r^{\alpha\eta}} \right]^{1/(1-\eta)},$$

$$k(x) = \left[x\eta\alpha \left(\frac{1-\alpha}{\alpha} \right)^{\eta(1-\alpha)} \frac{r^{\eta(1-\alpha)-1}}{w^{\eta(1-\alpha)}} \right]^{1/(1-\eta)}.$$

Self-employed

When we solve for the problem of a self-employed agent with talent x who wishes to maximize his or her profits,

$$\max_k \{xk(x)^{\alpha\eta} - rk\},$$

we find

$$\tilde{k}(x) = \left(\frac{\tau x \alpha \eta}{r} \right)^{\frac{1}{1-\alpha\eta}}.$$

Household production

Women can get extra earnings from household production; hence they choose the household units of capital k_h and labor n_h in order to maximize their total earnings, which are given by their market-sector plus their household sector earnings. Specifically, when their optimal occupational choice in the market is to become a worker, their optimization problem is

$$\max_{k_h, n_h} \{ (A k_h + B n_h)^\eta + w x (1 - n_h) \},$$

with $n_h \in [0, 1]$ and $k_h \geq 0$.¹⁴ As a result, when $\frac{A}{B} > \frac{r}{wx}$, women choose to allocate all their time to the market sector and rent $k_h^1 \equiv \left(\frac{\eta A^\eta}{r}\right)^{\frac{1}{1-\eta}}$ units of capital. When $\frac{A}{B} < \frac{r}{wx}$, on the other hand, women allocate at least part of their time endowment to the household sector. In particular, their optimal time allocation to the household sector is $n_h^0 \equiv \min \left\{ 1, \left(\frac{\eta B^\eta}{wx}\right)^{\frac{1}{1-\eta}} \right\}$, which implies that some women with high market productivity may choose to allocate part of their time to the household sector and part of their time to the market sector. Women supplying all their labor to the market sector choose to rent $k_h^0 \equiv \max \left\{ 0, \left(\frac{\eta A^\eta}{r}\right)^{\frac{1}{1-\eta}} - \frac{B}{A} \right\}$ units of capital.

In other words, when $\frac{r B^{1-\eta}}{\eta A} < 1$, women choose their labor allocation as follows:

$$n_h = \begin{cases} 0 & \text{if } x > \frac{B}{A} \frac{r}{w} \\ 1 & \text{otherwise} \end{cases}$$

and their units of capital used in the household sector are equal to

$$k_h = \begin{cases} \left(\frac{\eta A^\eta}{r}\right)^{\frac{1}{1-\eta}} & \text{if } x > \frac{B}{A} \frac{r}{w} \\ \left(\frac{\eta A^\eta}{r}\right)^{\frac{1}{1-\eta}} - \frac{B}{A} & \text{otherwise,} \end{cases}$$

producing the following units of output:

¹⁴ Note that if a woman is an employer or self-employed, it will never be optimal for her to spend time in household production.

$$y_h = \left(\frac{\eta^A}{r}\right)^{\frac{\eta}{1-\eta}}$$

in both cases.

On the other hand, when $\frac{rB^{1-\eta}}{\eta^A} > 1$, women choose their labor allocation as follows:

$$n_h = \left\{ 0 \text{ if } x > \frac{B}{A} \frac{r}{w} \left(\frac{\eta^B}{wx}\right)^{\frac{1}{1-\eta}} \text{ if } \frac{\eta^B}{w} < x < \frac{B}{A} \frac{r}{w} \text{ 1 if } x < \frac{\eta^B}{w} \right.$$

and their units of capital used in the household sector are equal to

$$k_h = \left\{ \left(\frac{\eta^A}{r}\right)^{\frac{1}{1-\eta}} \text{ if } x > \frac{B}{A} \frac{r}{w} \text{ 0 otherwise} \right.$$

producing the following units of output:

$$y_h = \left\{ \left(\frac{\eta^A}{r}\right)^{\frac{\eta}{1-\eta}} \text{ if } x > \frac{B}{A} \frac{r}{w} \left(\frac{\eta^B}{wx}\right)^{\frac{\eta}{1-\eta}} \text{ if } \frac{\eta^B}{w} < x < \frac{B}{A} \frac{r}{w} \text{ } B^\eta \text{ if } x < \frac{\eta^B}{w} \right. .$$

Occupational choice

Figure (1) displays the shape of the profit functions of employers ($\pi_e(x)$) and self-employed ($\pi_s(x)$) along with wage function earned by employees x and the female household workers extra earning as a function of talent x .¹⁵ The figure also shows the relevant talent cutoffs for the occupational choices. Here we present the equations that define the three thresholds. The threshold, z_1 , determines the earnings such that agents are indifferent between becoming workers or self-employed and it is given by

$$wz_1 = \tau z_1 \tilde{k}(z_1)^{\alpha\eta} - r\tilde{k}(z_1).$$

If $x \leq z_1$ agents choose to become workers, while if $x > z_1$ they become self-employed or employers. The cutoff, z_2 , on the other hand, determines the choice between being a self-employed or an employer and it is given by

¹⁵ In order to construct this figure, we are implicitly using parameter values so that all occupations are chosen in equilibrium and that part-time work is not optimal.

$$\tau z_2 \tilde{k}(z_2)^{\alpha\eta} - r\tilde{k}(z_2) = z_2 x (k(z_2)^\alpha n(z_2)^{1-\alpha})^\eta - rk(z_2) - wn(z_2)$$

so that if $x > z_2$ an agent wants to become an employer.

Finally, the cutoff z_0^f , defines the talent level at which women are indifferent between being household workers, who only get earnings from their household production, and market workers, who get wage income plus household income from the household capital production.

Specifically, when $\frac{rB^{1-\eta}}{\eta A} < 1$, household workers get earnings $\left(\frac{\eta A}{r}\right)^{\frac{\eta}{1-\eta}} - r\left(\left(\frac{\eta A}{r}\right)^{\frac{1}{1-\eta}} - \frac{B}{A}\right)$, while market workers get their wage income plus

household earnings equal to $\left(\frac{\eta A}{r}\right)^{\frac{\eta}{1-\eta}} - r\left(\frac{\eta A}{r}\right)^{\frac{1}{1-\eta}}$. Hence, the difference between the household sector earnings is equal to $r\frac{B}{A}$ and the talent threshold z_0^f is defined as

$$r\frac{B}{A} = wz_0^f.$$

Therefore, if their talent is below z_0^f , women maximize their earnings as household workers, while above z_0^f their earnings are maximized as market workers.

When $\frac{rB^{1-\eta}}{\eta A} > 1$, on the other hand, there are some women working full time in the household sector, some working part-time in the household sector and part-time in the market sector, and some other women working full time in the market sector. Women with ability below z_{00}^f , where $z_{00}^f \equiv \frac{\eta B^\eta}{w}$, choose to work full time in the household sector, and earn B^η . Women with ability between z_{00}^f and z_0^f , where z_0^f is defined in equation ([eq:cutoff indifference0]), choose to allocate part of their time to the market and part of their time to the household. Their total earnings are $\left(\frac{\eta B}{wx}\right)^{\frac{\eta}{1-\eta}}$ from the household production plus $wx\left(1 - \left(\frac{\eta B^\eta}{wx}\right)^{\frac{1}{1-\eta}}\right)$ from the market sector, compared to total earnings of $wx + \left(\frac{\eta A}{r}\right)^{\frac{\eta}{1-\eta}} - r\left(\frac{\eta A}{r}\right)^{\frac{1}{1-\eta}}$ by female workers.

When $\frac{rB^{1-\eta}}{\eta A} > 1$ women have actually five occupational choices, since some choose to work part time in the market and part time in the household sector. In this case, the earning functions are defined as

$$\pi_h^{00} \equiv B^\eta - (1 - \eta) \left(\frac{\eta A}{r} \right)^{\frac{\eta}{1-\eta}}$$

and

$$\pi_h^{01} \equiv wx + (1 - \eta) \left(\left(\frac{\eta B}{wx} \right)^{\frac{\eta}{1-\eta}} - \left(\frac{\eta A}{r} \right)^{\frac{\eta}{1-\eta}} \right),$$

which correspond to the household workers' earnings minus the household production earnings of female market workers.

Competitive Equilibrium in a model with household sector

We assume that women represent half of the population in the economy and that there is no unemployment. Moreover, any agent in the economy can potentially participate in the labor market, except for the restrictions on women described above. Under these assumptions, in equilibrium, the total demand of capital by employers and self-employed must be equal to the aggregate capital endowment (in per capita terms), k :

$$k = \frac{1}{2} \left[\int_{z_2}^{\infty} k(x) d\Gamma(x) + \int_{z_1}^{z_2} \tilde{k}(x) d\Gamma(x) \right] + \frac{\lambda}{2} \left[\int_{z_2}^{\infty} \mu k(x) d\Gamma(x) + \int_{z_1}^{z_2} (\mu + (1 - \mu)\mu_0) \tilde{k}(x) d\Gamma(x) + \int_{z_2}^{\infty} (1 - \mu)\mu_0 \tilde{k}(x) d\Gamma(x) \right] + \frac{\lambda}{2} \left[\int_B^{z_0^f} k_h^0 d\Gamma(x) + \int_{z_0^f}^{\infty} k_h^1 d\Gamma(x) \right] + \frac{1-\lambda}{2} \int_{z_0^f}^{\infty} k_h^0 d\Gamma(x).$$

The first line of equation ([\[eq:mktclear k\]](#)) is the demand for capital by men, while the two lower lines are the women's demand for capital. The demand for capital by male-run firms has two components: the first one represents the capital demand by employers, while the second represents the demand by self-employed.

The demand of capital by women has six components, the first three corresponding to the market-sector firms run by women and the last three corresponding to the household-sector capital. The first one represents the capital demand by female employers, i.e. those with enough ability to be employers and who are allowed to be, while the second term represents the capital demand by women who have the right ability to be

self-employed. The third term shows the capital demand by women who become self-employed because they are excluded from employership. The fourth term corresponds to the household-sector capital demand by women who choose to be household-sector workers, the fifth is the household-sector capital demand by women supplying the entire labor supply to the market sector, and the last term is the household-sector capital demand by women who work in the household-sector because they are not allowed to work in the market sector.

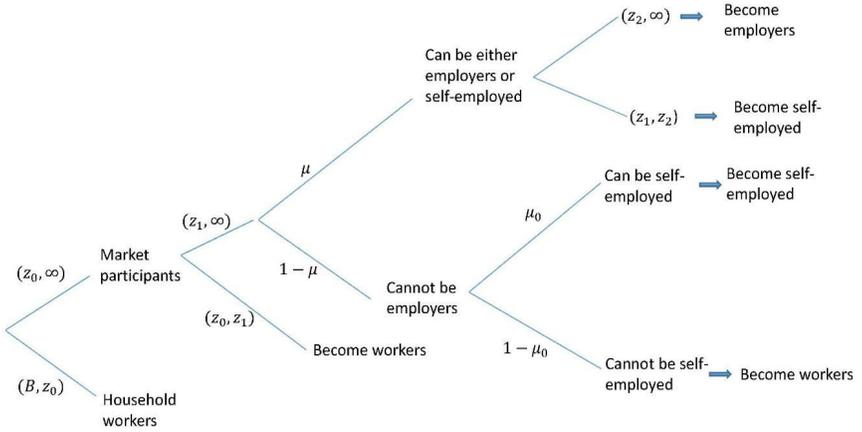
Similarly, the labor market-clearing condition is given by

$$\frac{1}{2} \left[\int_{z_2}^{\infty} n(x) d\Gamma(x) \right] + \frac{\lambda}{2} \left[\int_{z_2}^{\infty} \mu(x) n(x) d\Gamma(x) \right] = \frac{1}{2} \int_B^{z_1^f} x d\Gamma(x) + \frac{\lambda}{2} \left[\int_{z_0^f}^{z_1^f} x d\Gamma(x) + \int_{z_1}^{\infty} ((1 - \mu)(1 - \mu_0)) x d\Gamma(x) + \int_B^{z_0^f} x (1 - n_h^0(x)) d\Gamma(x) \right],$$

where the first line represents the skill-adjusted aggregate labor demand, and the second line represents the skill-adjusted aggregate labor supply in the market sector. The aggregate labor demand is equal to the male employers' demand (first term) and the female employers' demand (second term), i.e. those women with enough ability to be employers who are allowed to choose their occupation freely. The aggregate labor supply is equal to the male workers supply (first term in second line) plus the female workers supply (second, third, and fourth term in second line). The female workers supply is given by the skill-adjusted labor of women who, given their talent, choose to be full-time workers, plus that of women who have enough ability to be employers or self-employed but are excluded from both occupations. Finally, some women working in the household sector may also choose to be part-time workers in the market sector.

A competitive equilibrium in this economy is a set of cutoff levels $(z_{00}^f, z_0^f, z_1, z_2)$, a set of quantities $[n(x), n_h^0(x), k(x), \tilde{k}(x), k_h^0, k_h^1], \forall x$, and prices (w, r) such that entrepreneurs choose the amount of capital and labor to maximize their profits, and labor and capital markets clear.

Appendix B. Women occupational choice map



Análisis y evaluación del sector software en Concepción del Uruguay (Argentina). Situación actual y trayectoria evolutiva

Analysis and Characterization of the Software Sector in Concepción del Uruguay City (Argentina). Current Status and Trajectory

José Ignacio Díez*, Gustavo Solanas** y Carolina Pasciaroni***

Información del artículo	Resumen
Recibido: 20 junio 2024	El sector de software y servicios informáticos (SSI) se dedica al desarrollo, producción y comercialización de programas de computación y sus servicios informáticos asociados.
Aceptado: 15 enero 2024	Esta rama de actividad económica es parte de un nuevo paradigma informacional que supone cambios drásticos en la forma de organización del trabajo y de los procesos productivos, conjuntamente con nuevos modos de consumir e incluso de relacionarse socialmente.
Clasificación JEL: R30, D21, D40, L80, L86.	Argentina ha mostrado un desempeño destacado en la producción y venta de este tipo de bienes. Utilizando los enfoques teóricos de la perspectiva triádica estructura-conducta-desempeño y del enfoque schumpeteriano de la empresa se analiza el desempeño de este sector en la localidad de Concepción del Uruguay. Mediante el uso de estadísticas descriptivas se delinean sus principales características.
Palabras clave: industria de software – Concepción del Uruguay – trayectoria evolutiva-capacidades.	

* Universidad Nacional del Sur- Instituto de Investigaciones Económicas y Sociales del Sur, jdiez@uns.edu.ar, <https://orcid.org/0000-0001-6027-2014>.

** Universidad de Concepción del Uruguay, gustavo.solanas@hotmail.com, <https://orcid.org/0009-0000-8595-6877>.

*** Universidad Nacional del Sur- Instituto de Investigaciones Económicas y Sociales del Sur, carolina.pasciaroni@uns.edu.ar, <https://orcid.org/0000-0003-2960-998X>.



Article information	Abstract
Received: 20 June 2024	The software and computer services sector (SSI) is dedicated to the development, production and commercialization of computer programs and their associated computer services. This branch of activity is part of a new information paradigm that involves drastic changes in the way work is organized and also productive processes, together with new ways of consuming and interacting. Argentina has shown outstanding performance in the production and sale of these types of goods. Using the theoretical approaches of the structure-conduct-performance perspective and the Schumpeterian approach to the company, the performance of this sector in the town of Concepción del Uruguay is analyzed. Using descriptive statistics, its main characteristics are outlined.
Accepted: 15 January 2025	
JEL Classification: R30, D21, D40, L80, L86.	
Keywords: software industry – Concepción del Uruguay – trajectory-capabilities.	

Introducción

Según la organización mundial del comercio, en los últimos años las tecnologías de la información y comunicación (TIC) han crecido drásticamente, permitiendo incrementar sensiblemente la “capacidad de almacenar, extraer, clasificar, procesar, filtrar y distribuir la información” (Shapiro y Varian, 2010).

Hoy día no existe casi ningún área de la vida humana que no se encuentre atravesada por el avance registrado en las ramas de la comunicación, la electrónica y el software. Estos impactos son transversales a numerosos sectores productivos, afectando la estructura y la gestión de las organizaciones e incidiendo también en cada uno de nuestros hogares. En este sentido, términos como E-commerce, Analytics, Big Data, Social Media, Cloud Computing, Apps Mobile, Wearables, etcétera, son parte del lenguaje habitual e inciden en nuestro estilo de vida.

El sector de software y servicios informáticos (SSI) se dedica al desarrollo, producción y comercialización de programas de computación y sus servicios informáticos asociados, como consultoría, implementación, soporte, testeo y capacitación, entre otros.

Esta rama de actividad económica es parte de un nuevo paradigma tecnoeconómico (el informacional) que rige nuestra vida cotidiana, el cual supone cambios drásticos en la forma de organización del trabajo y de los procesos productivos, conjuntamente con nuevos modos de consumir e incluso de relacionarse socialmente.

En el marco de este nuevo paradigma tecno-económico, en los países desarrollados se conforman numerosos *clusters* informáticos, cuyo objetivo fundamental es el diseño, producción y comercialización de bienes y servicios de esta naturaleza. Tal es el caso de los presentes en las metrópolis de San Francisco en los Estados Unidos o Tel Aviv en Israel (Gutman *et al.*, 2018).

Si bien cada uno de ellos presenta particularidades específicas, en todos puede observarse como factor de éxito la existencia de empresas dinámicas, innovadoras, generadores de empleo calificado y con gran capacidad para exportar su producción, entre otros aspectos relevantes (Robert *et al.*, 2018).

En cuanto a los países en vías de desarrollo, muchos de ellos lograron incorporarse a la producción global de software como consecuencia de la ampliación de la demanda de soluciones informáticas.

Sumado a ello, se ha gestado una serie de fenómenos que ha permitido que países que contaban con ciertos recursos en el sector pudieran tener una ventana de oportunidad para su explotación y así explorar ciertas ventajas competitivas. Las estrategias de *offshoring* y *outsourcing*, desplegadas por empresas multinacionales, el surgimiento de unicornios¹ en mercados claves, conjuntamente con la proliferación de pequeñas y medianas empresas que se especializan en la provisión de software a medida, constituyen un abanico de oportunidades que, explotadas adecuadamente, posibilitan la expansión significativa de la actividad (Moncaut *et al.*, 2018; Girolimo y Diez, 2023).

En Argentina, el sector SSI se compone de grandes empresas y una multitud de mipymes (micro, pequeñas y medianas empresas), entre las que se destacan diferentes emprendimientos dinámicos y un segmento (aún menor, pero en crecimiento) de trabajadores por cuenta propia, que proveen servicios a empresas por subcontratación.

Hoy en día Argentina se encuentra en el puesto 44 entre aquellos exportadores de software y servicios informáticos, con una participación del 0.24% del total (2300 millones de dólares), lo que lo ubica como el país latinoamericano con mejor desempeño en este rubro (Argentina productiva 2030, 2023).

¹ Se denomina *unicornio* a aquella empresa de base tecnológica que alcanza un valor de mercado de 1.000 millones de dólares o más.

La especialización de dicho país en el segmento SSI pasa por la producción de software a medida (CRM y ERP²), conjuntamente con aplicaciones móviles y videojuegos para diversas plataformas.

En los últimos años se ha producido también una importante proliferación de firmas especializadas en diversas temáticas (software para el hogar, para el turismo, la salud, la educación, aplicaciones para celulares o tabletas, etcétera). De este modo, las firmas del sector pasaron de 1000 en el año 2001 a alrededor de 6000 en el año 2021 (Argentina Productiva 2030, 2023)

Las ventas de las mismas rondan los 11800 millones de dólares, siendo el nivel de empleo generado por esta actividad del orden de los 141000 puestos de trabajo registrados (Argentina productiva 2030, 2023). Desde el año 2007, ha sido uno de los sectores de mayor dinamismo de la estructura productiva nacional, pasando de dar cuenta del 1.1% del empleo asalariado privado registrado en 2007 al 2.1% en 2021 (Argentina productiva 2030, 2023).

En base a datos provistos por INDEC del balance de pagos de Argentina, se calcula que las ventas al exterior del SSI representaron en 2021 un 34% de las exportaciones de servicios basados en conocimiento y un 2% de las exportaciones totales del país, mientras que el monto total de las ventas al exterior es semejante al correspondiente a sectores tradicionales argentinos, como el siderúrgico (2000 millones de dólares) y el triguero (2800 millones de dólares).

Por otra parte, la expansión del sector se da en el marco de políticas públicas de promoción (Ley 25.922/2004 y sus modificaciones³) que reconocen al software como una industria estratégica para el desarrollo nacional y que implica el otorgamiento de desgravaciones impositivas y beneficios fiscales de diversa índole.

² Sistemas de gestión empresarial. ERP: *Enterprise Resources Planning* (planificación de recursos empresariales). CRM: *Customer Relationship Management* (gestión de las relaciones con los clientes).

³ Los beneficios fiscales de la Ley 25.922/2004, fueron prorrogados por Ley 26.692, reglamentada en 2014 hasta su vencimiento en diciembre de 2019. Antes de este vencimiento, se decidió extender los beneficios a un amplio conjunto de actividades de alta tecnología y creativas, a través de la Ley 27.570 de Régimen de Promoción de la Economía del Conocimiento, aprobada en 2019. Las empresas adheridas al régimen cuentan con beneficios fiscales, posibilidad de convertir un porcentaje de las contribuciones patronales en un bono fiscal potencialmente empleado para cancelar tributos nacionales.

La mayoría de las empresas se encuentran situadas en las grandes metrópolis del país, fundamentalmente en la ciudad de Buenos Aires (Capital Federal) y en menor medida Córdoba y Rosario. Esta situación ha derivado en que prácticamente no existan estudios que analicen la situación de este sector en localidades de menor tamaño poblacional.

En este contexto de ausencia de investigaciones relevantes en el interior del país, es que resulta de interés el estudio del sector de software y servicios informáticos en Concepción del Uruguay, una localidad de 83910 habitantes situada en la provincia de Entre Ríos. Esta ciudad, pese a ser un núcleo urbano de tamaño medio, se ha transformado en un importante nodo informático a nivel provincial, contando con una veintena de empresas, las cuales generan un total de 565 empleos en forma directa (equivalentes al 1.7% del total de ocupados); estas firmas realizan un aporte al producto bruto interno distrital del orden del 0.9% (Municipalidad de Concepción del Uruguay, 2022).

La investigación aquí realizada parte de una serie de interrogantes, que ha motivado la búsqueda de información y las actividades de trabajo de campo: ¿Cuál ha sido la trayectoria histórica y la especialización productiva del sector a nivel local? Dicha trayectoria, ¿resulta paralela o divergente en relación a la registrada a nivel nacional? ¿Cuál es el desempeño que el segmento de empresas tiene en materia de recursos disponibles, innovación, vinculación con el medio, ventas y otras variables relevantes?

El trabajo se encuentra organizado en cuatro apartados. En primer lugar, se discute la metodología utilizada en la investigación. Ahí se describen algunos rasgos específicos del relevamiento realizado, conjuntamente con las características particulares del cuestionario sometido a consideración de los empresarios. Además, se mencionan algunas de las fuentes secundarias a las que se recurrió como complemento de las encuestas realizadas.

En segundo término, se presenta el marco teórico. En ese apartado se combinan distintas perspectivas que permiten dar cuenta de las particularidades específicas de las empresas de software y de los mercados en los que éstas se desenvuelven. Para analizar y caracterizar al sector se utilizarán dos paradigmas, vinculados al ámbito de la organización industrial y al de la ciencia empresarial.

En lo que respecta al ámbito de la organización industrial, se recurre al enfoque estructura-conducta-desempeño (Bain, 1956), mientras que, en lo concerniente al ámbito de la ciencia empresarial, se desarrolla la perspectiva de competencias o capacidades, también conocida como neoschumpeteriana (Yoguel, 2000; Diez, 2010).

De la combinación de ambas perspectivas, se deducirá que el mercado de software puede dividirse en dos nichos, que presentan cada uno sus particularidades específicas: el segmento de la fabricación de productos en serie o estandarizados y el segmento de productos a medida.

En el primero de ellos, las particularidades estructurales del mercado cobran mayor dimensión para explicar el desempeño de las firmas. Por otro lado, en el segundo son las capacidades empresariales las que adquieren una relevancia más significativa para explicar la dinámica competitiva al interior del subsector.

Del análisis comparativo de la lógica reinante en ambos segmentos de la industria, surgen ciertos rasgos estilizados diferenciales, que luego se someterán a consideración al analizar el caso de estudio. A lo largo de la obra se pretenderá entonces asociar el rendimiento del sector en Concepción del Uruguay con el comportamiento típico que asumen las empresas en uno u otro nicho de mercado relevante.

En tercer lugar, se presenta una descripción de la trayectoria histórica del sector de software en Argentina, destacando también los inicios de esta actividad en la ciudad de Concepción del Uruguay. En esa sección se pretende mostrar que el sendero evolutivo de la actividad en la localidad tiene que ver no sólo con un posicionamiento sectorial de nicho adoptado por las empresas, sino con un condicionamiento asociado a un perfil nacional, que actúa operativamente restringiendo alternativas para las firmas. Dicho perfil nacional ha sido producto de decisiones de políticas públicas, las cuales se han ido delineando a lo largo de los años.

Posteriormente, se muestran los resultados del trabajo de campo realizado. Ahí se resume la situación actual del sector en dicha localidad, considerando diversas dimensiones de análisis: mercado objetivo de las empresas, cantidad de empleados, formación, lenguajes informáticos utilizados, niveles de innovación, relaciones existentes y otras variables relevantes.

Finalmente, se presentan las conclusiones. En ese apartado se enuncian las principales evidencias recolectadas y se intenta construir un

diagnóstico general lo más abarcativo y complejo posible sobre la situación del sector en dicha localidad. En términos generales, se observa que el comportamiento de las empresas de software en Concepción del Uruguay concuerda con el de la nación.

1. Metodología

Para el cumplimiento del objetivo de investigación, se encuestó a 15 firmas del rubro SSI pertenecientes a la ciudad de Concepción del Uruguay, que constituyen el 70% del universo de compañías existentes.

La técnica de muestreo aplicada fue de cadena o bola de nieve (Goodman, 1961)⁴. El trabajo de campo se hizo en dos etapas. La primera de ellas consistió en una actividad de sensibilización, que supuso informar a gerentes y empresarios sobre los alcances de la pesquisa. Después se aplicó un cuestionario de carácter presencial a las firmas previamente identificadas.

Dicho instrumento es de carácter estructural y evalúa diferentes dimensiones de la actividad empresarial: naturaleza del mercado, características de los servicios prestados y los productos fabricados, capacidades existentes en el seno de las empresas y lazos con otros actores territoriales. Una vez aplicado el cuestionario, se efectuó una ronda de entrevistas, que tuvo como objetivo complementar con información cualitativa los datos oportunamente relevados.

Con la información recopilada se construyó una base de datos, la cual se trabajó mediante el uso de software especializado. Debido a que el universo de firmas existentes en la ciudad es acotado y la muestra pequeña, la posibilidad de utilizar análisis econométricos complejos se encuentra vedada, por lo que en el estudio realizado predomina el uso de

⁴ El muestreo de bola de nieve, también conocido como muestreo en cadena, muestreo de referencia en cadena o muestreo de referencia, es una técnica de muestreo no probabilístico, en la cual un conjunto reducido de sujetos de estudio recluta a futuros sujetos de entre sus conocidos. De este modo, la muestra estadística crece de acuerdo a un efecto bola de nieve o efecto dominó. Esta técnica se utiliza normalmente cuando la población está oculta o tiene límites difusos. Es útil para el estudio de empresas que: 1) no tiene un domicilio fiscal constituido; 2) cambian con frecuencia de oficina y esto dificulta su detección; 4) han incorporado el *home office* como práctica de trabajo habitual y han dejado de contar con una sede física. Estas cuatro situaciones resultan ser bastante habituales dentro de la industria del software en Argentina.

estadística descriptiva como forma de evaluar el desempeño general del sector⁵.

En lo que respecta a la contextualización de la investigación y la indagación de la trayectoria histórica de la actividad, se recurrió al análisis de fuentes, específicamente la recopilación de trabajos académicos sobre la temática, conjuntamente con información de carácter legal y documentación especializada.

2. Marco teórico

2.1 El paradigma estructura-conducta-desempeño y el enfoque neoschumpeteriano

Estudiar el desempeño de un sector cualquiera de la actividad económica, requiere compatibilizar al menos dos tipos de enfoques. Uno destinado a conocer las características del mercado en el que se desenvuelven las empresas y otro cuyo objetivo primordial es conocer los rasgos fundamentales de cada una de las firmas que lo componen. Dicho esfuerzo conceptual supone vincular dos perspectivas teóricas diferentes: el paradigma estructura-conducta-desempeño y el enfoque schumpeteriano de la firma. Si bien, en principio, ambos enfoques parecen ser de naturaleza antagónica, al momento de explicar la realidad del funcionamiento empresarial y de los mercados, ambas perspectivas resultan complementarias cuando se quiere hacer un diagnóstico sectorial que resulte completo y abarcativo.

El paradigma estructura-conducta-desempeño fue desarrollado por Bain (1956). Su planteamiento básico es que la estructura de una industria determina la conducta empresarial, mientras que la conducta a su vez arroja un desempeño. La estructura se refiere a la cantidad de productores en un mercado, su grado de diferenciación, su estructura de costos, el grado de integración vertical, entre otras cuestiones. Para su análisis también puede ser relevante estudiar la trayectoria histórica del sector.

Por su parte, la conducta puede observarse en la fijación de precios, el nivel de investigación y desarrollo, la inversión o la publicidad. Por otro lado, el desempeño se refiere a la eficiencia, relacionada con el grado de

⁵ Debido a que el tamaño de muestra (n) es pequeña no existen grados de libertad suficientes que permitan la utilización de técnicas econométricas. Esta situación no puede subsanarse ampliando la muestra, ya que el universo de empresas existentes en la ciudad (N) también es muy acotado. De hecho, como se sostuvo en la metodología se encuestó a un 70% del total de firmas existentes correspondientes a dicho sector.

competencia del mercado y con el bienestar social y se contrasta con referencias teóricas de naturaleza estructural como el monopolio o la competencia perfecta⁶.

En lo concerniente al enfoque neoschumpeteriano, este paradigma se centra en estudiar las competencias u habilidades de las firmas, las cuales se gestan a partir de atributos o recursos factoriales disponibles. Estos recursos son el capital humano o las maquinarias con los que cuenta la empresa, entre otras cuestiones.

Desde esta perspectiva, a partir de una combinación y una utilización adecuada de dichos recursos, la firma logra desarrollar capacidades que pueden ser clasificadas en dos tipos: aquellas de naturaleza intrínseca o de carácter endógeno a la empresa y aquellas de índole relacional.

En términos de Yoguel (2000), se entiende por capacidades endógenas de las firmas las reacciones de estas tendientes a idear, planificar y conducir actividades productivas, promover el desarrollo de nuevos productos y procesos o introducir cambios en la organización, con el propósito de fortalecer la inserción de sus productos en los mercados.

Por su parte, por capacidades relacionales se entiende la habilidad de la firma para desarrollar vínculos, lazos e interactuar con el medio circundante, de forma tal de obtener conocimientos, información, nuevos recursos y desarrollar nuevas habilidades, activos que la empresa no estaría en condiciones de generar por sí misma y que coadyuvan a potenciar su rendimiento económico (Diez, 2010).

En contraposición al enfoque anterior, este paradigma supone que son las capacidades de las empresas las que definen conductas y éstas terminan fijando una estructura para el mercado y no a la inversa como plantea el

⁶ Si bien este enfoque es ampliamente utilizado no está exento de críticas. En base a la revisión de Church y Ware (2000) es posible identificar distintas limitaciones. Estos autores mencionan problemas de medición asociados a la validez e idoneidad en el uso medidas de rentabilidad para inferir poder mercado y las posibles implicaciones de una definición inadecuada del mismo para la validez de las estimaciones intersectoriales sobre el efecto de la concentración. A estas limitaciones de medición se suman problemas conceptuales e interpretativos vinculados a: I) el reto de incorporar el corto plazo para analizar la relación entre rentabilidad y concentración; II) la interpretación de Demsetz de correlación positiva entre concentración y rentabilidad debido a la eficiencia de las grandes empresas, no necesariamente a su poder de mercado; III) los problemas de causalidad entre conducta de las firmas y poder de mercado; IV) la necesidad de incorporar en los estudios la asimetría existentes entre distintas industrias.

paradigma anterior. Como se sostuvo anteriormente, si bien estos enfoques desde el punto de vista teórico pueden resultar radicalmente opuestos, en la realidad las capacidades empresariales pueden alterar la estructura de un mercado (cuando, por ejemplo, generan una innovación disruptiva) pero también numerosas veces es el mercado el que condiciona el tipo de competencia realizada y termina definiendo las capacidades empresariales (por ejemplo, cuando existen barreras a la entrada). En la literatura especializada se han realizado diversos intentos de compatibilización de ambos enfoques a través de perspectivas meso como la noción de sistema nacional de innovación (Lundvall, 1992; Nelson, 1993); sistema sectorial de innovación (Malerba, 2002) o sistema local de innovación (Yoguel, Borello y Erbes, 2009).

2.1.1 Las características particulares de la industria del software: entre el peso de la estructura y las capacidades empresarias

En lo concerniente específicamente al mercado del software, pueden reconocerse dentro de él dos segmentos o nichos productivos bien diferenciados: el correspondiente a la fabricación de productos estandarizados o universales y el respectivo al diseño de productos o servicios a medida. El primer segmento se caracteriza por la presencia de pocas empresas, que realizan importantes inversiones en I+D (costos hundidos altos), asociados al diseño, codificación y desarrollo del software. En términos generales, uno podría asociar una estructura de estas características con un oligopolio.

Esta estructura de costos (fijos altos y marginales bajos) supone la presencia de importantes rendimientos a escala, que actúan como un instrumento disuasivo para el ingreso al mercado de nuevas empresas. La existencia de barreras a la entrada facilita la comercialización del producto a escala global, mientras que la I+D alta (basada en la utilización de lenguajes complejos y numerosas horas programador por producto) constituye un elemento que favorece el desarrollo de innovaciones radicales que garantizan el establecimiento de una posición dominante.

A su vez, la tendencia hacia la concentración se ve reforzada por la presencia de externalidades de red (Katz y Shapiro, 1985), siendo este el caso en que la utilidad de un usuario crece cuando dicho bien también es consumido por el resto de los agentes. Es decir, el consumidor encuentra más provechoso adquirir un producto cuando más generalizado se encuentra su uso.

De acuerdo a Chudnovsky, López y Melitsko (2001), en los productos de software estandarizados este fenómeno se explica porque: I) la gente que utiliza el mismo software tiene mayores facilidades para intercambiar la información; II) Existen complementariedades entre distintos productos (y también en relación al hardware) que hacen que a medida que una plataforma se generaliza, aumente también la cantidad de aplicaciones para la misma; III) Existen costos de aprendizaje que reducen los incentivos a cambiar de producto una vez que se ha obtenido cierta destreza y entrenamiento en el uso del mismo, en este caso, hay un costo privado de hacer el cambio a una nueva tecnología, que puede incrementarse cuando existen otras externalidades de red que hacen que el beneficio potencial para ese agente de realizar el cambio dependa de las decisiones, *a priori*, no conocibles que al respecto tomarán otros usuarios de dicha tecnología.

En segmentos de mercado de estas características el denominado *first mover* (o el líder del mercado) gozaría de ciertas ventajas, dada su posibilidad de definir los estándares que a través de las externalidades de red atraerían a más usuarios, creando de esta manera grandes barreras a la entrada a posibles competidores que busquen ingresar en este nicho. De este modo, en nichos que se desenvuelven mediante esta lógica, el peso de las competencias o habilidades empresariales (endógenas o relacionales) parece ser menor que los elementos de naturaleza estructural que lo definen.

Una vez que las posiciones en el mercado se han establecido y se han consolidado las externalidades de red, el liderazgo es prácticamente inalterable: sólo una innovación muy disruptiva (casi un cambio de paradigma) por parte de un seguidor podrá cambiar la distribución de las cuotas y eventualmente cambiar la estructura del mercado. A su vez, dado que lograr dicha innovación tan disruptiva requiere altos niveles de inversión, los reposicionamientos radicales en el mercado resultan marginales. La posición de liderazgo de una, dos o tres empresas tiende a consolidarse a lo largo del tiempo, mientras que el resto de las empresas desaparece o se transforma en seguidoras. De este modo, existen pocas empresas que dominen este mercado, las cuales colocan su producción a lo largo y ancho del globo, prácticamente sin dificultad.

Por otro lado, el segundo segmento (de productos y servicios a medida) se caracteriza por la presencia de numerosas empresas que compiten abiertamente entre sí, buscando explotar ciertas competencias y habilidades (endógenas y relacionales) específicas para posicionarse. En

este caso, las firmas enfrentan elevados costos marginales (ya que cada proyecto es prácticamente único y diferente) y bajos costos hundidos (vinculados a la I+D). Desde un punto de vista estrictamente teórico, una estructura de estas características podría asemejarse a la competencia monopolística.

En este tipo de segmento el posicionamiento de las firmas en su mayoría va de lo local a lo nacional, pasando por lo regional, ya que la cercanía física con el cliente es un elemento clave para el diseño correcto del producto y el servicio postventa (O'Brien, 2006)⁷. En mercados de estas características, las empresas para poder vender sus productos o servicios necesitan ganar reputación, demostrando que es lo que diferencia su producto o servicio del de la competencia, de forma tal de fidelizar clientes y también transmitiendo su valor agregado al cliente potencial⁸.

A su vez, la necesidad de cierta cercanía física actúa como una *barrera psicológica* (Damian *et al.*, 2000)⁹ de ingreso de empresas foráneas al mercado objetivo. De este modo, a nivel de la firma, el fenómeno de la exportación suele ser esporádico y de difícil sostenibilidad en el tiempo, a raíz de la importante presión competitiva y de los costos de transacción/fricción que provoca la distancia geográfica.

Por su parte, debido a que la inversión en I+D es más baja (se utilizan lenguajes menos complejos y menos horas programador por producto), la naturaleza de las innovaciones realizadas suele ser de carácter incremental. En este sentido, la innovación suele surgir de los procesos de intercambio que se generan con los propios clientes y tiene que ver con las necesidades de adaptar los productos a sus requerimientos.

⁷ O'Brien (2006) aclara que, aunque vivimos en la era de las telecomunicaciones a través de Internet y los aviones a reacción, todavía puede llevar mucho tiempo que un especialista identifique un problema tecnológico desde un lugar remoto. Además, existen problemas con la comunicación en tiempo real y de buena calidad entre las 24 zonas horarias en todo el mundo. Esto justifica la existencia de productos a medida. A su vez, es difícil encontrar personal calificado en ciertos países o alentar a los especialistas a vivir o trabajar allí. En diferentes lugares y regiones del mundo, hay problemas y oportunidades, relacionados con las diferencias en el costo de vida y mano de obra.

⁸ Esto puede lograrse de múltiples maneras, a través de publicidad y *marketing* pero también mediante buenos servicios post venta y generando vínculos de confianza con el cliente.

⁹ La dispersión geográfica, además de dificultar los encuentros presenciales, puede afectar la interacción entre grupos, debido al retraso en la transmisión de información, que puede interrumpir tanto las comunicaciones telefónicas como las reuniones por videoconferencia. Aunque la tecnología de la información y la comunicación ha avanzado significativamente, todavía causa un impacto social y psicológico significativo en comparación con la interacción cara a cara [Damián *et al.*, 2000].

Flexibilidad operativa para atender los requerimientos y las necesidades de los clientes relativas a especificaciones técnicas, plazos de cumplimiento, calidad del servicio, reputación y precio parecen ser los principales factores de competencia. A estos se suman elementos como el conocimiento de la cultura (Olson y Olson, 2003)¹⁰, lenguaje (Herbsleb y Mockus, 2001)¹¹, costumbres, leyes, la reputación y los contactos personales (Bitzer, 1997)¹² que facilitan la captación y la consolidación de los clientes. Dadas estas características, para este tipo de competencia las habilidades empresarias endógenas parecieran ser más significativas que la estructura del mercado. A su vez, dado que este mercado suele estar mayormente integrado por firmas de menor tamaño relativo, las mismas suelen recurrir en algunos casos al entorno/ambiente para hacerse de recursos faltantes y volverse más competitivas, explotando diversidad de vínculos, ya sea con otras empresas u organizaciones (capacidades relacionales). A continuación, la tabla 1 resume los principales rasgos de cada uno de los segmentos descritos anteriormente.

¹⁰ La idiosincrasia diferente entre proveedor y cliente constituye otro factor de importancia a considerar al momento de vender un producto o prestar un servicio, que justifica la existencia del software a medida. Las diferencias culturales pueden generar diferentes prácticas laborales, diferentes formas de planificar el trabajo, divergencias en el proceso de toma de decisiones, en el estilo de argumentación y en el flujo de la conversación, entre otras cuestiones relevantes que lleven al fracaso de un proceso de venta o el desarrollo de un proyecto (Olson y Olson, 2003).

¹¹ Las diferencias idiomáticas pueden ser causales de fracaso en la venta de un producto o en la prestación de un servicio, elevando significativamente los costos de transacción. Herbsleb y Mockus (2003), sostienen que las diferencias semánticas y la ausencia de un idioma estándar para comunicarse, pueden provocar severas dificultades en el desarrollo de un proyecto. A su vez, la gestión de dichas diferencias implica tiempo, esfuerzo y a veces requiere de especialistas, lo cual puede incrementar significativamente el costo del producto o servicio, provocando el fracaso de la relación proveedor cliente.

¹² El aspecto legal es otro de los principales problemas en la relación proveedor cliente, cuando ambos actores se encuentran radicados en lugares diferentes. Ambos agentes pueden estar sujetos a legislaciones distintas ya sea mercantil, civil o laboral y eso dificultar la coordinación, elevando significativamente los costos de transacción y haciendo prácticamente inviable el vínculo comercial. Como bien sostiene Bitzer (1999), estas diferencias pueden afectar el desarrollo del proyecto (venta del producto o prestación de un servicio) de distinta forma. A modo de ejemplo, en algunos países está prohibida la importación de hardware y eso obliga al proveedor a tener que trabajar con insumos locales. Otros países tienen acuerdos comerciales recíprocos y esto obliga al proveedor a gastar un porcentaje de los ingresos generados en la economía de la nación en donde está radicada su contraparte. Algunas naciones prohíben la transferencia de datos a través de sus fronteras, estableciendo multas exorbitantes frente al incumplimiento o incluso penando con prisión a quien incumpla la norma. Todas estas dificultades de índole legal justifican la existencia de proveedores locales de software y el desarrollo de productos a medida.

Tabla 1
Segmentos existentes en la industria del software y principales características

	Productos Estandarizados	Productos a Medida
Tipo de competencia	Oligopolio	Competencia Monopolística
Barreras a la entrada	Altas	Bajas
Estructura de Costos	Costos Fijos o Hundidos Altos Costos Marginales Bajos	Costos Fijos Bajos Costos Marginales Altos
Economías de Escala	Altas	Bajas
Economías de Red	Sí	No
Comercialización	Global	Mayormente Local/Regional/Nacional
Inversión en I+D	Alta	Baja
Naturaleza de las Innovación	Existen Innovaciones Disruptivas	Sólo Innovaciones Incrementales
Peso de las capacidades en los reposicionamientos de cuota de mercado	Medio/Bajo	Medio/Alto

Fuente: elaboración propia

En las secciones subsiguientes del trabajo se tomará como base estos modelos teóricos arquetípicos y teniendo en cuenta los condicionamientos propios de la trayectoria histórica de la actividad (tanto a nivel nacional como local), se intentará describir de la forma más minuciosa posible el perfil que asume hoy día el sector de software en Concepción del Uruguay.

3. La trayectoria histórica del sector de software

3.1 La situación del sector a nivel nacional

La informática en Argentina se inicia a fines de la década del 50, sobre la base de una política pública que impulsaba la sustitución de importaciones y financiaba la inversión estatal en sectores con potencialidad estratégica. Por aquellos años se instala la primera computadora en la Universidad de Buenos Aires y se inician las primeras investigaciones tendientes a desarrollar software de base a través de matemática aplicada, periféricos e interfaces (Aguirre, 2004). En 1962 el ingeniero Jorge Santos llega a construir una computadora denominada CENSUS y en otros grupos de investigación de la facultad de ingeniería de la UBA se construye otro prototipo denominado CEFIBA (Aguirre, 2004).

Como consecuencia de este sendero evolutivo, hacia la primera mitad de la década del 60, este sector llega a ser líder en Latinoamérica. Se trata de un proceso incipiente en un área también naciente a nivel mundial, en el

que el desarrollo del software estaba mucho más vinculado al hardware de lo que estaría décadas más adelante (Erbes *et al.*, 2005). Durante los primeros años del decenio de 1970, se realizan algunos desarrollos significativos en el área de informática a través de la inversión extranjera directa y en empresas nacionales de gran envergadura.

En este contexto, se favorece el surgimiento de algunos proyectos industriales de carácter eminentemente nacional para la construcción de equipamiento informático entre los que se destacan tres desarrollados por empresas radicadas en la ciudad de Córdoba: Microsistemas, Técnica Erova y FATE (Zubieta y Díaz, 2016).

En lo que respecta a inversión extranjera directa, en el transcurso del período se radica en el país IBM argentina, con una planta destinada a la producción de impresoras que tiene por objetivo abastecer el mercado local y de América latina.

De este modo, el período 1950-1976 está atravesado por procesos de generación de conocimientos idiosincráticos ligados a una lógica de aprender haciendo, aprender usando y aprender interactuando (Arrow, 1962; Lundvall, 1992). La construcción de estos conocimientos no se daba en forma aislada, sino que incluía vínculos entre profesionales formados en instituciones públicas y empresas nacionales, de capital privado y público, conjuntamente con firmas extranjeras. No obstante, el crecimiento y la expansión del sector se encontraba limitado por una estructura económica que enfrentaba crisis cíclicas (*stop and go* o *marchas y contramarchas*)¹³, explicadas por la necesidad de divisas para importar bienes de capital e insumos críticos no producidos en Argentina.

Los avances impulsados hasta esa fecha en el sector encuentran un punto de quiebre a partir de 1976, cuando el modelo económico aperturista de la dictadura militar plantea un patrón de especialización económica para el país centrado en la producción agrícola ganadera. En este sentido, como

¹³ Una economía atraviesa un proceso de *stop and go* cuando su tendencia de crecimiento alcanza un límite producto de la existencia de una restricción externa. La restricción externa implica la falta de divisas suficientes para poder cubrir las importaciones y es un fenómeno típico de las economías en vías desarrollo, que presentan una estructura económica desequilibrada. Habitualmente, la respuesta al estancamiento es la devaluación y el ajuste del gasto público, de forma tal de disminuir la demanda de importaciones y alentar las exportaciones, logrando saldar el déficit en el sector externo. De este modo, la economía vuelve a retomar el ciclo virtuoso de crecimiento hasta que nuevamente se presenta el cuello de botella en dicho sector externo. Para mayores precisiones sobre la noción de *stop and go* puede consultarse Ferrer (2008) o Diamand (1983).

bien plantea Azpiazu *et al.* (1986), el modelo se caracteriza por la ausencia de propuestas industriales que, obviamente, desconocen a la producción de hardware y software como un sector estratégico.

En este sentido, la dictadura militar implica un retroceso en los avances tecnológicos alcanzados en la época, que tenían a Argentina como líder del rubro en el continente latinoamericano, a pocos pasos de la frontera tecnológica internacional y que planteaban la posibilidad cierta de alcanzar logros en el diseño de software estandarizado.

Luego de la crisis de la deuda (1982) y con el advenimiento de la democracia (1983), existe un intento gubernamental de recuperar capacidades tecnológicas locales a través de diferentes políticas públicas de carácter sectorial. En el campo de los servicios informáticos, se formula por primera vez un lineamiento de política claro para el sector. En el año 1984 se conforma una Comisión Nacional de Informática que tiene por objetivo fundamental promover el desarrollo integral de la actividad y alcanzar autonomía tecnológica.

La política delineada por esta comisión contemplaba aspectos tales como desgravaciones impositivas basadas en concursos públicos, preferencias de compra pública a las empresas de capital nacional, política de compra privado argentino de productos de software, formación de recursos humanos calificados y promoción de software en castellano (Azpiazu *et al.* 1990). Las medidas de apoyo al sector incluían, asimismo, la implementación de elevados niveles de protección arancelaria, el fomento de la competencia y el apoyo a las empresas de menor tamaño (Yoguel *et al.* 2007). Este nuevo impulso sectorial permite el desarrollo de proyectos notables para la época, que combinan diseños propios con adaptaciones tecnológicas. En este marco, se impulsan acuerdos de transferencia de organismos públicos y universidades hacia empresas líderes del sector.

Esto permite el desarrollo de periféricos, equipos de cálculo electromecánico, adaptación de microcomputadoras, diseño de microcomputadoras personales y calculadoras, con su consecuente software, apuntando a diseños de producto de carácter estandarizado para mercados masivos. Sin embargo, esta política sería nuevamente desarticulada en la década del 90, cuando el Estado argentino adopta una estrategia económica de carácter neoliberal, que guarda importantes similitudes a la establecida en el período dictatorial 1976-1982.

A lo largo del gobierno de Menem (1989-1999) predomina una visión tendiente a importar bienes de capital e intensivos en conocimiento y se

desarticulan las herramientas de política diseñadas durante el período anterior. El significativo aumento de importaciones de hardware y software durante esta etapa relega el desarrollo de empresas locales, que se especializan en adaptar y adecuar productos foráneos. Además, la existencia de estándares cerrados y plataformas propietarias limita las posibilidades de aprendizaje y profundiza la dependencia tecnológica.

De este modo, a lo largo de este período se produce un quiebre en el intento del país por desarrollar equipamiento y software de carácter masivo. En ese sentido, puede decirse que Argentina abandona la carrera tecnológica que buscaba generar soberanía en este campo, intentando emular a las principales potencias.

Pese a este contexto desalentador, surgen algunos nichos de mercado que favorecen el desarrollo de software nacional. Se generan paquetes destinados a satisfacer las necesidades de gestión empresarial de firmas pymes ligadas a diversas actividades: industriales, de servicios, educativas, del sector salud, etcétera. Entre estas se destacan aplicaciones ERP (*Enterprise resource planning*), seguidas por otras orientadas al manejo de las relaciones con clientes, fundamentalmente CRM (*customer relationship management*). También el sector financiero y de servicios públicos privatizados demanda soluciones específicas locales, tendientes a fortalecer sus procesos de informatización.

Posteriormente, ya en la década del 2000, el crecimiento de la industria del video juego y de las aplicaciones para celulares genera condiciones para la expansión de la industria local. Gracias al auge y el gran crecimiento de la industria móvil, este nicho se muestra como uno de los más rentables y constituye una excelente oportunidad para el desarrollo de negocios en los próximos años.

Asimismo, existe un cúmulo de pequeñas empresas locales y emprendimientos personales que atienden a una gran variedad de servicios, tales como el desarrollo y mantenimiento páginas web, educación a distancia o, incluso, el desarrollo vinculado al software libre (Camio *et al.*, 2016).

Una parte importante de estas empresas carece de un elevado nivel de sofisticación y atiende una demanda de naturaleza variada en su búsqueda de encontrar segmentos sustentables de especialización, que le permitan un crecimiento sostenido. En simultáneo con la expansión del sector a partir de del año 2000 (con base en los rubros ERP, CRM, video

juegos, aplicaciones), es posible registrar un conjunto de políticas públicas de fomento al sector software. Entre tales políticas se puede mencionar, la creación del Foro de Competitividad de SSI (dependiente de Secretaría de Industria, Comercio y PYME); la sanción de la Ley 25.856/04 de Consideración de la Producción de Software como Actividad Industrial; la sanción de la Ley 25.922/04 de Promoción de la Industria del Software, que contempla beneficios fiscales a las empresas de SSI y crea el FONSOFT (Fondo Fiduciario de Promoción de la Industria del Software). A estos se suma, la implementación de políticas a nivel provincial tales como la realización de foros y otorgamiento de beneficios extraordinarios a las empresas de software (López y Ramos, 2009) y los programas implementados por la Cámara de Empresas de Software y Servicios Informáticos. Se incluyen, asimismo, las numerosas iniciativas provinciales y municipales para la conformación de Polos, Parques de Ciencia y Tecnología (CyT), *clusters* (MINCYT, 2009)¹⁴.

En el marco de la especialización sectorial de nicho en el rubro software a medida y de los instrumentos de fomento, en el último decenio el sector SSI argentino manifiesta un importante crecimiento, tanto en lo referido a su facturación como al número de empleados y empresas. Entre 2008 y 2017 la facturación del sector crece un 55%. Aunque este crecimiento no haya sido lineal, en todos los años de estudio, se observa una demanda creciente de empleo, sobre todo calificado (64% posee capacitación universitaria). Como consecuencia, el número de trabajadores se incrementó 42% en el decenio 2005-2015 pasando de 67800 a 96400. Asimismo el número de empresas pasó de 3175 a 4693, siendo un 73% microempresas, y un 25% pymes (CESSI, 2018). También resulta importante resaltar que un elemento favorable para el mejor desempeño del sector a lo largo de este período fue la existencia de un tipo de cambio alto, que alentó el desarrollo exportador. Dado que la estructura de costos sectorial está representada fundamentalmente por salarios y otros gastos asociados al personal, las devaluaciones licúan su valor en dólares y mejoran la competitividad.

En el año 2017, las exportaciones del sector representaron el 12.4% del total de las de servicios del país y el 2.5% de las exportaciones de bienes y servicios en su conjunto, lo que muestra que la actividad es una fuente de divisas significativas para la Argentina (CEESI, 2018).

Para aquellos años, dentro de las ventas al exterior, el desarrollo de software a medida representa el 56%, los productos propios y servicios

¹⁴ Se debe señalar que la Ley 25.922/04 de Promoción de la Industria del Software invita a las provincias y municipios a adherirse a la misma.

asociados el 25% y la provisión de recursos para el desarrollo (*testing*, diseño, etcétera) el 7% (López y Ramos, 2018).

Si bien el aumento de las exportaciones resulta significativo para el país, su posible expansión parece encontrar cierto techo basado en el perfil de especialización adoptado, ya que el software a medida presenta barreras idiosincráticas y técnicas relevantes.

La sanción del Régimen de Promoción de la Economía del Conocimiento, aprobado en 2019, constituye una nueva herramienta de incentivo para el desarrollo del sector, que puede ser prometedora, en tanto y en cuanto adquiera un alto grado de aplicación en los años venideros. Según lo establecido por esta ley, las empresas pueden recurrir a beneficios fiscales y a la posibilidad de convertir un porcentaje de las contribuciones patronales en un bono fiscal potencialmente empleado para cancelar tributos nacionales. De este modo, se pretende alentar la competitividad del sector para intentar consolidarlo.

Pese a estos adelantos, el futuro del sector resulta ser aún una incógnita y presenta un final abierto en función del grado de desarrollo que alcancen las empresas locales, del perfil productivo que estas adopten y de la continuidad (o no) de la política pública de apoyo a la industria que, como hemos visto, a lo largo de la historia del país ha sido sumamente errática.

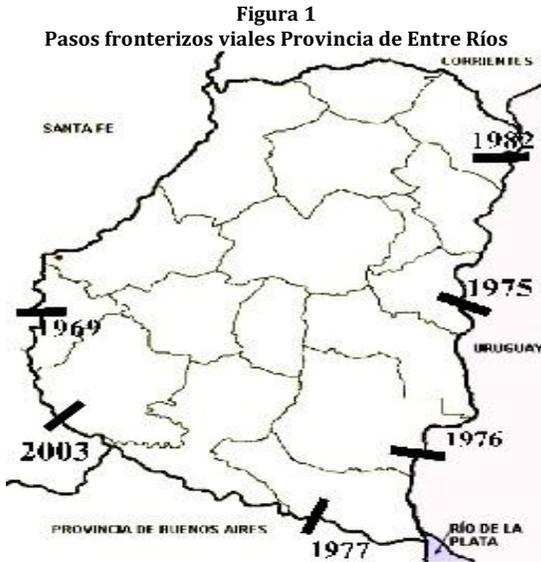
Recientemente ha llegado al gobierno de Argentina un nuevo partido de carácter neoconservador, que plantea dismantelar todos los instrumentos de asistencia de carácter sectorial (en principio incluyendo software), por considerarlos distorsivos de las reglas del mercado.

3.2 La situación histórica del sector en Concepción del Uruguay

El nacimiento del sector de software y servicios informáticos en Concepción del Uruguay se encuentra estrechamente ligado una serie de hechos que se sucedieron en la Provincia de Entre Ríos hacia mediados de la década de los 70 y principios de los 80. Estos fenómenos, sumados a eventos internacionales, como la irrupción de las tecnologías de la información y la comunicación, sirvieron de puntapié inicial para la conformación de este nuevo sector económico.

Entre inicios de los años 70 y principios de los 80, Argentina decide avanzar en un proceso de conectividad vial de la Mesopotamia, que rompe el aislamiento geográfico que tradicionalmente tenía la provincia de Entre

Ríos y la costa cercana al Río Uruguay, en especial la ciudad de Concepción (figura 1).



Fuente: elaboración propia

Dicho proceso de conectividad se da en el marco de una estrategia de integración de la economía local al mercado nacional y posteriormente al recientemente creado Mercado Común del Sur (MERCOSUR), que engloba a las economías de Argentina, Uruguay, Brasil y Paraguay. Motivo de esta hiper conectividad vial sin precedentes para la región, la localidad y su zona de influencia pasan de una situación de economía cerrada y de aislamiento perfecto, a ser atravesadas por múltiples redes viales.

La intención de unir los dos polos más dinámicos del cono sur (San Pablo-Buenos Aires), determinó que Concepción del Uruguay sea condicionada vía obras de infraestructura¹⁵, como lugar de tránsito masivo de bienes y personas (Harvey, 2014).

En este sentido, la economía uruguayense se vuelve mucho más abierta y competitiva, requiriendo que las empresas locales se adapten a esta nueva realidad, desarrollando estrategias ofensivas de internacionalización o bien defensivas para preservación del mercado atendido. En este marco, surge en dicho núcleo urbano el sector de software, actuando como una

¹⁵ En el período 1975-1982, se abrieron cuatro pasos sobre el Río Uruguay, que vincula la subregión con Buenos Aires y la República Oriental del Uruguay, escala previa a su objetivo principal, Brasil.

suerte de soporte al desarrollo de la actividad productiva: brindando servicios de asistencia técnica a firmas que buscaban incorporar tecnología o modernizarse, ya sea para expandirse o simplemente sobrevivir en las nuevas condiciones de mercado imperante.

A su vez, dicho sector va a nutrirse de profesionales provenientes de las escuelas técnicas y universidades locales. Las casas de estudios, en la medida que se genera cierta demanda sostenida de recursos humanos calificados, comienzan a brindar cursos especializados, incluyendo tecnicaturas y posteriormente carreras de grado, en temáticas como ingeniería de sistemas o licenciatura en informática.

La primera empresa uruguayense en incorporar un centro de cómputos para atender sus propias necesidades y los requerimientos locales fue la Cooperativa de Seguros Río Uruguay (RUS). Hasta ese momento, las actividades de procesamiento y análisis de información de dicha compañía se desarrollaban en la ciudad de Buenos Aires, lo que traía lentitud y falta de agilidad a la operatoria del seguro. La intención era crecer en el volumen de negocios, para lo que se necesitaba poseer mayor control sobre las operaciones. El hecho relevante para el medio, además del establecimiento de la primera computadora, fue que la cooperativa no deseaba comprar software, sino producirlo de acuerdo a sus necesidades.

Producto de un reclutamiento interno, la compañía formó los primeros analistas, programadores y operadores, que tendrían luego una actuación clave en los acontecimientos educativos futuros de la localidad. La acción desplegada, luego de puesto en marcha el centro de cómputo mencionado involucró a diferentes actores pertenecientes a casi todos los sectores de la vida productiva. Se hallan rastros de trabajo y estímulo, con el fin de incorporar la informática en: I) la municipalidad local; II) bancos regionales, situados en varias localidades de la provincia; III) industrias de bebidas y alimenticias; IV) instituciones educativas y empresas de servicios, entre otros.

Tal y como se sostuvo anteriormente, rápidamente el sector educativo local entendió que el mundo productivo transitaba hacia la incorporación de mayor tecnología y que serían necesarios recursos humanos especializados para poder gestionarla. En el año 1981 el Colegio Nacional Justo José de Urquiza, establecimiento de nivel medio, decide dar inicio a la primera carrera de formación específica, la tecnicatura en computación. Para ello se establece una asociación de hecho con la firma RUS, que aporta los primeros docentes especializados conjuntamente con los

equipos, ya que era en esta empresa en donde se realizaban las prácticas de las distintas asignaturas. La idea de las autoridades del Colegio era formar en la ciudad recursos humanos para una actividad que se presentaba de auspicioso futuro y que los graduados retornaran luego a sus aulas, en este caso para dictar cursos de nivel superior.

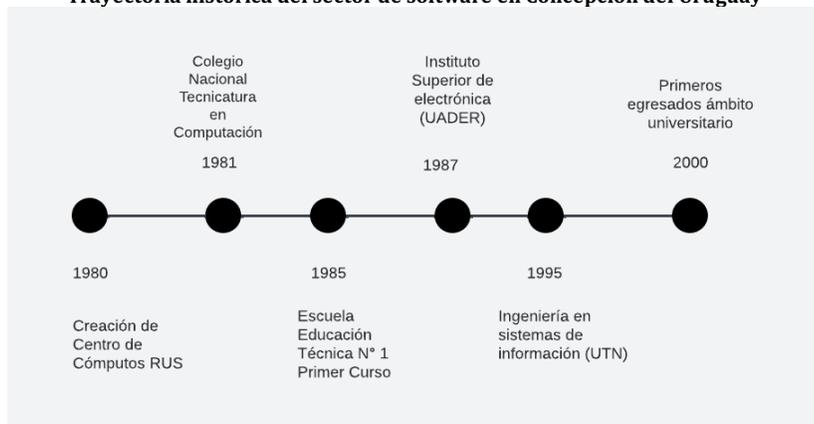
Estos estudios de pregrado, de tres años de duración, serían el embrión para la conformación de la primera licenciatura en sistemas informáticos, que se dictaría en la Universidad Autónoma de Entre Ríos (UADER). Sus alumnos, de manera mayoritaria, eran personas ya vinculadas al ámbito laboral, que veían en esta capacitación, el perfeccionamiento que los nuevos tiempos requerían. En 1985, la Escuela Nacional de Educación Técnica Número 1, también de nivel medio, pone en marcha el primer curso denominado "La computadora como herramienta de trabajo" destinado a docentes y personal de la casa, conformándose la primera capacitación destinada a formadores de jóvenes.

Por su parte, entre los años 1987 y 2000, se conforma el Instituto Superior de Electrónica (ISE), también bajo la órbita de la UADER. Dicho instituto sería el mentor de las carreras de procesos industriales y telecomunicaciones, que guardarían estrecha relación con la de informática. En esos años, las empresas de la región demandaban servicios técnicos para ajustar, acondicionar y adaptar los equipos provistos de electrónica digital; originariamente los profesionales contratados eran de la ciudad de Buenos Aires, lo que incrementaba los costos, generaba lentitud en las respuestas y significaba pérdidas de productividad, por lo que se requería profesionales idóneos a nivel local, que tuviesen entre sus conocimientos herramientas rudimentarias de programación.

En este marco, de demanda creciente de recursos humanos calificados, se conformaría también la carrera de ingeniería en sistemas de información de la Universidad Tecnológica Nacional (UTN) Facultad Regional Concepción del Uruguay, que tiene por objetivo formar profesionales con capacidad analítica y habilidad para solucionar problemas en el ámbito socio-productivo.

Ya iniciados los años 2000, los primeros profesionales egresados del ámbito universitario (tanto de la UADER como de la UTN) comienzan a desarrollar emprendimientos ligados al sector en la localidad, surgiendo también diversos spin-off provenientes de docentes de las distintas casas de estudio. La siguiente línea de tiempo muestra la trayectoria del sector en Concepción del Uruguay (figura 2).

Figura 2
Trayectoria histórica del sector de software en Concepción del Uruguay



Fuente: elaboración propia

Al igual que lo ocurrido en otras localidades del país, los primeros egresados de estas unidades académicas que deciden permanecer en la ciudad se especializan en aplicaciones ERP y CRM, desarrollando software específico y adaptaciones para atender necesidades del sector productivo.

También se gestan emprendimientos que atienden una gran variedad de servicios, tales como diseño de redes y construcción de sitios web. Actualmente, debido a la ausencia de información sectorial relevante, se desconoce la dinámica y dimensión real del sector, situación que se pretende revertir a partir de sucesivas investigaciones.

4. La situación actual del sector de software en concepción del Uruguay

4.1 Estructura del mercado objetivo

Las firmas de software y servicios informáticos bajo estudio muestran una oferta de productos y servicios diversificada, con una mayor prevalencia de ciertas actividades en detrimento de otras. De las 15 empresas encuestadas, un total de 13 (86.77%) se especializa en el desarrollo de software a medida. En orden de importancia, aparece en segundo término la provisión de otros recursos (capacitación, *mentoring*, diseño, OA) con un 66.67% y luego la comercialización de productos de terceros y servicios asociados, junto con las actividades de soporte técnico (53.33%)

(tabla 2). No se observa entre las empresas de la muestra la producción de software estandarizado, como sistemas operativos, gestores de bases de datos, navegadores o programas multimedia, entre otros. Dadas las características anteriormente enunciadas y su relación con la teoría, puede asegurarse que el mercado en el que se desenvuelven las empresas es de alta competencia.

Tabla 2
Tipos de productos/servicios ofrecidos por las empresas

	Frecuencia absoluta (*)	%
Desarrollo de software a medida (soluciones integrales)	13	86.67
Productos propios y servicios asociados (incluyendo SAS)	6	40.00
Productos de terceros y servicios asociados	8	53.33
Servicios de programación (<i>coding</i>)	7	46.66
Provisión de otros recursos (ej. capacitación, <i>mentoring</i> , diseño, QA)	10	66.67
Soporte técnico	8	53.33
Hardware	5	33.33
Otros	6	40.00
Total de firmas (*)	15	100.00

(*) Pregunta en la encuesta de respuesta múltiple. Fuente: elaboración propia con base en encuestas

En lo que respecta a la participación relativa de los clientes en las ventas, se destaca un rol preponderante de la industria. Este sector concentra el 41.67% de las mismas, seguido por los clientes correspondientes al sector primario (20.33%) y en tercer lugar los respectivos al financiero (14.00%) (tabla 3).

Tabla 3
Participación relativa de los clientes en las ventas de la empresa (en %)

	%
Cientas del sector primario (agro, minería, pesca)	20.33
Cientas de la industria (p. ej. alimentos, maquinaria, automotriz)	41.67
Cientas del sector de software	6.67
Cientas del sector financiero (p. ej. bancos, aseguradoras, etc.)	14.00
Cientas de la administración pública	5.20
Consumidores finales	0.73
Otros ¹⁶	11.40
Total de ventas a nivel sector local	100.00

Fuente: elaboración propia con base en encuestas

¹⁶ Se entiende por "Otros" a clientes que no pueden catalogarse dentro de las categorías previamente detalladas (por ej. relativos al sector servicios no financieros).

El total de ventas de las firmas bajo estudio se distribuye geográficamente con un marcado carácter local: el 46% de las mismas se concentra en la provincia de Entre Ríos, en particular en la misma localidad y su región de influencia, mientras que el 43.33% se realiza en los grandes centros urbanos y el resto del país. Solamente el 9.53% tiene destino de exportación. Este resultado es consistente con el tipo de nicho productivo que se busca atender, en donde la lejanía física con el cliente actúa como un elemento disuasivo de ingreso al mercado. Por su parte, debido a que las empresas son multi producto y comercializan los bienes que fabrican o los servicios que venden en mercados excesivamente fragmentados (desarrollando políticas de micro nicho), no resulta factible ni aconsejable determinar cuotas de mercado y construir índices de concentración industrial del estilo Herfindahl-Hirschmann, porque las empresas tienen dificultades para determinar cuál es el mercado relevante.

Tabla 4
Distribución geográfica de las ventas de la empresa (en %)

	%
Misma localidad	17.13
Región de influencia	17.67
Resto de la Provincia de Entre Ríos	11.80
Grandes Centros Urbanos de Argentina (Buenos Aires, Córdoba, Rosario, etcétera)	32.00
Resto del país	11.33
América Latina y países de habla hispana	8.20
Resto del mundo	1.33
Total de ventas a nivel sector local	100.00

Fuente: elaboración propia con base en encuestas

Tomando en consideración la información correspondiente a la tabla 5, en cuanto a los destinos de exportación, existe una preeminencia hacia países de habla hispana, destacándose el caso de Chile (4 menciones). Siguen en orden de importancia, España, Uruguay y México con dos menciones cada uno. En estos casos, el conocimiento del lenguaje, la cultura y las costumbres actuó como un elemento favorecedor del vínculo comercial, permitiendo la captación de clientes.

Entre los países que no son de habla hispana, se mencionó como destino Estados Unidos y Noruega. En lo que respecta al tipo de producto o servicio exportado, se destaca en primer lugar el desarrollo de software a medida (5 menciones), seguido en orden de importancia por los servicios de *coding* (3 menciones) y las actividades de soporte técnico (2 menciones). Por su parte, la mayor parte de los clientes extranjeros

pertencen al sector industrial (5 menciones), seguido en orden de importancia por el primario, el financiero y el rubro otros (1 mención cada uno).

Tabla 5
Exportaciones: destinos, productos y clientes según sector (*)

Destinos		Productos y servicios		Clientes según sector				
N°	%	N°	%	N°	%			
Chile	4	57.10	Desarrollo software a medida	5	71.40	Primario	1	14.30
Uruguay	2	28.60	Productos de terceros y servicios asociados	1	14.30	Industria	5	71.40
México	2	28.60	Servicios de programación	3	42.80	Financiero	1	14.30
España	2	28.60	Provisión de otros recursos	1	14.30	Otros	1	14.30
Otros (*)	5	57.10	Soporte técnico	2	28.60			

Total de firmas locales que exportan: 7

Fuente: elaboración propia con base en encuestas. Otros: Brasil, EE.UU., Noruega, Panamá, Puerto Rico con una mención cada uno respectivamente. (*) Preguntas en la encuesta de respuestas múltiples

4.2 Tamaño y recursos disponibles en las empresas: cantidad de personal, nivel de formación y lenguajes utilizados

La antigüedad del conjunto total de las firmas relevadas data de la segunda mitad de los años 90, aunque la mayoría fueron creadas recién a partir del 2000 (tabla 6). En este sentido, puede afirmarse que se trata de empresas que han logrado sostenerse un largo período de tiempo en el mercado, alcanzando incluso más de 20 años de vida.

Tabla 6
Antigüedad de la empresa según año de creación

Intervalos	Frecuencia absoluta	%
Entre 1995 y 2000	2	13.33
Entre 2001 y 2005	3	20.00
Entre 2006 y 2010	4	26.67
Entre 2011 y 2015	3	20.00
Entre 2016 y 2020	3	20.00
Total de firmas	15	100.00

Fuente: elaboración propia con base en encuestas

De acuerdo con lo manifestado por los encuestados se trata de firmas de capital nacional, mayormente conformadas por socios de la propia ciudad, alguna de estas con oficinas extra locales: cuatro empresas cuentan con dependencias en otras localidades del país (26.7%) (tabla 7). En línea con

su escaso perfil exportador, ninguna empresa dispone de oficinas en el extranjero.

Tabla 7
Si la firma dispone de oficinas en otras localidades del país

	Frecuencia absoluta	%
Sí dispone de oficinas en otras localidades	4	26.67
No dispone de oficinas en otras localidades	11	73.33
Total de firmas	15	100.00

Fuente: elaboración propia con base en encuestas

Considerando el número de empleados y siguiendo los rasgos que presenta el sector SSI a nivel nacional, las firmas locales pertenecen al segmento de micro y pequeñas empresas. De acuerdo a lo manifestado por los encuestados, 10 compañías poseen menos de 10 empleados (66.7% del universo considerado) y 3 firmas poseen entre 11 y 20, respectivamente (tabla 8).

Tabla 8
Cantidad empleados oficina principal

Intervalos	Frecuencia absoluta	%
Menos de 10	10	66.67
Entre 11 y 20	3	20.00
Entre 21 y 30	1	6.67
Más de 30	1	6.67
Total	15	100.00

Fuente: elaboración propia con base en encuestas

A su vez, los trabajadores cuentan con un alto nivel de estudios formales y predisposición a la formación continua (tabla 9). Según la información recolectada, existen 6 empresas (40% de la muestra) que tienen entre un 61 y un 80% de sus empleados con formación universitaria de grado completa y un total de 3 (20%) que tiene entre un 81 y un 100% de sus trabajadores habiendo alcanzado dicho nivel de formación¹⁷. A su vez, existen dos empresas que manifestaron contar con personal con estudios de posgrado completo y una que sostuvo disponer de personal con estudios de posgrado incompleto, respectivamente.

¹⁷ Estos resultados están en sintonía con la media nacional.

Tabla 9
Porcentaje de los empleados con título universitario de grado sobre el total de empleados de la empresa

	Frecuencia absoluta	%
Entre 0 y 20%	1	6.67
Entre 21 y 40%	1	6.67
Entre 41 y 60%	4	26.67
Entre 61 y 80%	6	40.00
Entre 81 y 100%	3	20.00
Total	15	100.00

Fuente: elaboración propia con base en encuestas

En lo que respecta a los lenguajes de programación utilizados, puede decirse que estos constituyen la herramienta fundamental para el desarrollo de Software. El dominio de lenguajes de última generación permitiría, entonces, el desarrollo de aplicaciones de mayor nivel de sofisticación. En el caso de las firmas de Concepción del Uruguay, predomina el uso de HTML/CSS/JavaScript (13 menciones), seguido en orden de importancia por PHP (8 menciones) y .NET (C#, VB:NET, etcétera) con 7 menciones, respectivamente (tabla 10).

Tabla 10
Tipo de tecnologías utilizadas por la empresa (*)

	Frecuencia absoluta	%
HTML/CSS/JavaScript	13	86.67
PHP	8	53.33
C, C++	1	6.67
Objective-C, Swift	2	13.33
Cobol	1	6.67
Java	8	53.33
.NET (C#, VB:NET, etc.)	7	46.67
Phyton, LUA	6	40.00
Lenguaje específico de hardware (Phoenix, Siemens)	2	13.33
Type Script	2	13.33
Total de firmas (*)	15	

(*) Pregunta en la encuesta de respuesta múltiple. Fuente: elaboración propia con base en encuestas

En términos de la complejidad de los lenguajes de programación utilizados (dificultad sintáctica, curva de aprendizaje, capacidad de abstracción y eficiencia resolutive de problemas) los mismos podrían catalogarse como de nivel medio/bajo.

4.3 Capacidades endógenas: indicadores de innovación

En relación con las actividades de innovación realizadas por las firmas durante el período 2019-2021, el análisis de requerimientos de clientes constituye la principal actividad realizada, seguida por capacitaciones para la introducción de nuevos productos y servicios (tabla 11). Las firmas locales también han adquirido software para el desarrollo de productos y servicios (9 menciones), han realizado I+D interna, consultorías y han recibido transferencia tecnológica (8 menciones).

Tabla 11
Actividades de innovación en los últimos tres años (2019-2021)

	Frecuencia absoluta	%
Análisis de requerimientos de clientes	13	86.70
I+D interna	8	53.30
Subcontratación de I+D	3	20.00
Tercerización de I+D	2	13.30
Adquisición de Hardware para desarrollo	7	46.70
Adquisición de Software para desarrollo	9	60.00
Transferencia de Tecnología (recibida)	8	53.30
Capacitación para la introducción de nuevos bienes y servicios	12	80.00
Consultorías	8	53.30
Desarrollo de Software para uso interno	6	40.00
Total de firmas (*)	15	100.00

(*) Pregunta en la encuesta de respuesta múltiple. Fuente: elaboración propia con base en encuestas

De acuerdo con lo manifestado por los entrevistados, las actividades de I+D se realizan mayoritariamente de manera informal (11 menciones), ya que la mayoría de las firmas no poseen un departamento ni un laboratorio destinado a tal efecto (tabla 12). Esta situación resulta consistente con el tamaño de las empresas y su condición de fabricantes de productos a medida, tipo de actividad en la que la inversión en I+D no suele ser significativa.

Tabla 12
Grado de formalidad de las actividades de I+D

	Frecuencia absoluta	%
No se realizan actividades de I+D	3	20.00
Se realizan sólo actividades informales	11	73.33
Posee un departamento de I+D	1	6.67
Total de firmas	15	100.00

Fuente: elaboración propia con base en encuestas

A su vez, las compañías manifestaron dedicar una media de 12.75 horas desarrollador por semana a actividades de innovación, lo que evidencia que dicha actividad resulta ser marginal dentro de la operatoria habitual de la empresa. Esta situación también se encuentra en sintonía con el perfil productivo adoptado por la mayoría de las firmas.

En cuanto al tipo de innovación de producto, en los últimos tres años las firmas manifiestan haber desarrollado los mismos productos y servicios, pero incorporando modificaciones de mediana complejidad (5 menciones); luego, en orden de importancia, se destaca el desarrollo de nuevos bienes, pero que ya existían en el mercado (tabla 13).

Tabla 13
Tipo de innovación de producto y servicio (2019-2021)

Productos	Nº	%	Servicios	Nº	%
Mismos productos, sin modificaciones	0	0.00	Mismos servicios, sin modificaciones	1	6.67
Mismos productos con modificaciones menores	3	20.00	Mismos servicios con modificaciones menores	3	20.00
Mismos productos con modificaciones de mediana complejidad	5	33.33	Mismos servicios con modificaciones de mediana complejidad	4	26.67
Nuevos/mejorados productos ya existentes en el mercado	3	20.00	Nuevos/mejorados servicios ya existentes en el mercado	4	26.67
Nuevos/mejorados productos no existentes en el mercado	4	26.67	Nuevos/mejorados servicios no existentes en el mercado	3	20.00
Total de firmas	15	100.00	Total de firmas	15	100.00

Fuente: elaboración propia con base en encuestas

De acuerdo a la información aportada en la tabla 14, sobre el total de empresas que desarrollan bienes nuevos o mejorados (tan sólo 7, menos del 50% de la muestra), un total de 5 sostienen que lo hacen sobre la base de otros productos efectivamente realizados en el pasado. Este tipo de innovación podría catalogarse como de carácter incremental.

A su vez, 4 de las empresas que efectivamente innovan, desarrollando productos nuevos o mejorados, tienden a reutilizar códigos correspondientes a bienes comercializados en el pasado. En el caso de servicios, 6 de las 7 empresas que efectivamente realizan mejoras o desarrollan nuevas prestaciones, sostienen que estas innovaciones se diseñan también con base en soluciones integrales desarrolladas con anterioridad, sin que existan cambios radicales. De este modo, puede decirse que las empresas no registran saltos tecnológicos de importancia en lo concerniente al diseño/producción de software o prestaciones.

Tabla 14
Productos/Servicios Nuevos/Mejorados. Firmas que desarrollan sobre la base de productos/servicios obtenidos en el pasado. Firmas que reutilizan códigos pasados.

	Desarrollan sobre la base de productos/servicios obtenidos en el pasado				Reutilizan códigos desarrollados en el pasado			
	Productos nuevos o mejorados		Servicios nuevos o mejorados		Productos nuevos o mejorados		Servicios nuevos o mejorados	
	<i>Frecuencia absoluta</i>	<i>%</i>	<i>Frecuencia absoluta</i>	<i>%</i>	<i>Frecuencia absoluta</i>	<i>%</i>	<i>Frecuencia absoluta</i>	<i>%</i>
SÍ	5	33.33	6	40.00	4	26.67	3	20.00
NO	2	13.33	1	6.67	3	20.00	4	26.67
NS/NC	8	53.33	8	53.33	8	53.33	8	53.33
Total	15	100.00	15	100.00	15	100.00	15	100.00

Fuente: elaboración propia con base en encuestas

4.4 Capacidades relacionales: asociatividad y vínculos con organismos de CyT

Cuando se indaga sobre las iniciativas de asociatividad de las firmas de Concepción del Uruguay, se observa que la mitad de ellas manifiesta desarrollar algún tipo de actividad colaborativa con otra empresa (tabla 15). Esta situación muestra cierta vocación de una parte significativa de las empresas de captar recursos faltantes del entorno como modo de mejorar su desempeño competitivo.

Tabla 15
¿Su empresa participa de alguna iniciativa asociativa con otra empresa?

	Frecuencia absoluta	%
Sí	8	53.33
No	7	46.67
Total de firmas	15	100.00

Fuente: elaboración propia con base en encuestas

De acuerdo con lo manifestado por los entrevistados, predominan los acuerdos de *comercialización conjunta* (6 menciones), seguido por la *cooperación en investigación y desarrollo* (4 menciones) y el rubro *otras*, con 3 menciones respectivamente (tabla 16).

Tabla 16
Tipo de iniciativa asociativa con otras empresas

	Frecuencia absoluta (*)	%
Acuerdo para capacitación del personal	1	12.50
Acuerdo para comercialización conjunta	6	75.00
Acuerdo para compra de equipos	---	---
Acuerdo de investigación y desarrollo	4	50.00
Sociedad de Garantías Recíprocas	---	---
Unión Transitoria de Empresas	---	---
Cooperativas	2	25.00
Otras	3	37.50
Total de firmas que participan en iniciativas asociativas (*)	8	

(*) Pregunta en la encuesta de respuesta múltiple. Fuente: elaboración propia con base en encuestas

Entre las prácticas colaborativas más significativas de la muestra analizada se destacan la integración de tecnologías de rendimiento, un proyecto relativo a captura y visualización de datos y otro correspondiente a automatización de procesos. Por otro lado, entre las 15 encuestas realizadas, hay 12 firmas que manifiestan tener contacto con entidades de ciencia y tecnología, mientras que 3 no tienen ningún tipo de vínculo (tabla 17).

Tabla 17
Contacto con entidades de ciencia y tecnología

	Frecuencia absoluta	%
Sí	12	80.00
No	3	20.00
Total de firmas	15	100.00

Fuente: elaboración propia con base en encuestas

Aquellas que no desarrollan contactos con este tipo de entidades manifiestan que no lo hacen porque existen procedimientos burocrático-administrativos lentos y complejos que dificultan las relaciones (2 menciones) o porque las líneas de investigación no están en sintonía con las necesidades de la empresa (1 mención) (tabla 18).

Tabla 18
Motivos de no vinculación con entidades de ciencia y tecnología

	Frecuencia absoluta	%
Distancia entre las áreas/líneas de investigación y las necesidades de la empresa	1	33.33
Procedimientos burocrático-administrativos lentos y complejos	2	66.67
Total de firmas	3	100.00

Fuente: elaboración propia con base en encuestas

La institución de ciencia y tecnología más contactada es la UADER Facultad de Ciencia y Tecnología (mencionada por 8 empresas), siendo los servicios que más se demandan a esta entidad las capacitaciones (6 menciones) y las pasantías (5 menciones). En orden de importancia se encuentra luego la UTN Ingeniería en Sistemas de Información que es contactada por los mismos motivos. Menos importante son los vínculos desarrollados con la Universidad de Concepción del Uruguay UCU (Secretaría de Ciencia y Tecnología y Facultad de Ciencias Económicas), la UTN LOI (Licenciatura en Organización Industrial) y el INTI, (Instituto Nacional de Tecnología Industrial) respectivamente. En estos casos las relaciones construidas son de naturaleza protocolar, sin que exista una demanda clara de un servicio puntual y específico.

Conclusiones

El análisis de la información recopilada respecto al sector de software en Concepción del Uruguay evidencia que el mismo sigue una especialización productiva y una trayectoria similar a la registrada a nivel nacional.

De acuerdo a la información suministrada por los entrevistados, la mayoría de las empresas de dicha localidad se especializa en el diseño de software a medida (soluciones integrales destinadas a la gestión empresarial). Estos productos se destinan fundamentalmente a atender las necesidades de la actividad industrial, agrícola y del sistema financiero de dicha localidad y su zona de influencia.

Un perfil de estas características supone la especialización en una actividad de nicho de anclaje local-regional, protegida de la competencia externa por la necesidad de existencia de cierta cercanía entre proveedor y cliente. El principal factor de competitividad de las firmas locales viene dado por la habilidad para adaptarse a los requerimientos específicos de la demanda y por la calidad del servicio postventa.

En este sentido, pareciera existir cierta dependencia del sendero (*path dependence*) en relación al perfil productivo que adopta el sector en la localidad. El mismo se relaciona con un abandono por parte de Argentina (desde la década del 90 y hasta la actualidad), de la estrategia ligada a la producción de software estandarizado, para volcarse de lleno al desarrollo de software a medida.

De la encuesta realizada se destaca que sólo el 9.53% de las ventas de las firmas de Concepción del Uruguay se canaliza con destino de exportación, siendo una actividad esporádica; esta situación evidencia la falta de consolidación de dicho perfil en el universo de empresas de la ciudad. Este comportamiento se encuentra en sintonía con la naturaleza del mercado que se pretende abastecer: productos diferenciados, que presentan una demanda marcadamente volátil y con elevada competencia.

Tal y como se sostiene en la teoría, la venta de software a medida requiere altas especificaciones técnicas, plazos de cumplimiento y la existencia de una idiosincrasia en común entre vendedor y comprador (ligada al lenguaje y al conocimiento de las leyes, etcétera), conjuntamente con reputación y contactos personales, que son de difícil consolidación cuando existe gran distancia geográfica y cultural.

Si bien no se registraron preguntas específicas respecto a esta cuestión en el formulario original, entrevistas posteriores a los empresarios muestran que dichas exportaciones han constituido tercerizaciones puntuales por parte de firmas foráneas (producción por encargo), mayormente de países de habla hispana (Chile, Uruguay, México y España) en donde las barreras anteriormente mencionadas no resultan ser tan significativas.

En este sentido, las limitaciones exportadoras del universo analizado parecen encontrarse en sintonía con lo enunciado por Stamm (2000), quien manifiesta que las dificultades para exportar en Argentina se relacionan con los siguientes factores: I) necesidad de adaptar el software desarrollado para el medio local a los requerimientos de terceros mercados; II) falta de financiamiento; III) falta de asesoría, asistencia técnica e incentivos para la exportación; IV) la existencia de normas de calidad en los países desarrollados que son poco conocidas en Argentina; V) dificultades para establecer contactos comerciales en el exterior; VI) Dificultades para ingresar en relaciones de subcontratación con empresas de otros países.

En lo que respecta a las características generales de las firmas de Concepción del Uruguay y sus recursos, la muestra arroja que la mayoría

son pequeñas (tienen menos de 10 empleados) y cuentan mayormente con personal de elevada formación (universitaria completa).

Por otro lado, tal y como se sostuvo anteriormente, los productos/servicios ofrecidos son mayormente soluciones integrales a medida, que pueden catalogarse como de mediana/baja complejidad en función del tipo de lenguajes utilizados. En relación a este punto, predomina la programación en lenguajes como HTML/CSS/JavaScript, PHP o Java que, por dificultad sintáctica, curva de aprendizaje, capacidad de abstracción y eficiencia resolutive de problemas, no revistan demasiada dificultad operativa.

En materia de competencias y habilidades, las firmas no evidencian importantes niveles de innovación, predominando mayoritariamente el análisis de requerimientos de clientes y la capacitación para la puesta en funcionamiento de nuevos productos. A su vez, las horas semanales programador destinadas a actividades de innovación por empresa son bajas, evidenciando que esta actividad resulta marginal dentro de la operatoria de cada una de ellas. De este modo, en el mejor de los casos, las innovaciones alcanzadas por las firmas son significativas exclusivamente para el mercado objetivo que atienden.

No se observa la presencia de innovaciones disruptivas por parte de las empresas de la muestra, ya que mayoritariamente las mismas declaran desarrollar productos nuevos o mejorados con base en códigos fuente o soluciones comercializadas en el pasado.

A través de este recurso técnico, las empresas buscan reducir los elevados costos marginales típicos de firmas que prestan servicios o fabrican bienes a medida, en las que cada proyecto presenta ciertas particularidades específicas difíciles de replicar. El reciclaje de código es el único elemento que permite generar cierta economía de escala mínima de producción, en pos de reducir costos operativos y volverse más competitivo.

En este marco, resulta lógico que las empresas no cuenten con laboratorio ni departamento de I+D, ya que no se requieren de largos procesos ni de grandes inversiones para la elaboración de nuevos productos o servicios.

Bajo esta lógica, tan sólo se perciben en el universo bajo estudio la presencia de innovaciones incrementales, es decir cambios en el diseño del producto/servicio de carácter menor y de tipo acumulativo, sobre un

código fuente que mayormente permanece inalterado o pétreo. Estos cambios surgen mediante procesos de *aprender haciendo*, *aprender usando* o *aprender interactuando* (Arrow, 1962; Lundvall 1992) con clientes.

En lo que respecta a las capacidades relacionales de las firmas estudiadas, se observa un interesante nivel de articulación entre ellas, lo cual supondría el intento de captar recursos del medio circundante para mejorar capacidades competitivas. Un total de 8 de las 15 estudiadas (53.33%) manifiesta haber desarrollado algún tipo de iniciativa asociativa con otra de la localidad. Según lo manifestado por los entrevistados, 6 empresas sostienen haber implementado acuerdos de comercialización conjunta, 4 convenios de investigación y desarrollo y 2 cooperativas.

Por su parte, 12 de las 15 empresas estudiadas han desarrollado algún tipo de vínculo con instituciones de ciencia y tecnología. Sin embargo, el análisis de la naturaleza de los lazos construidos con este tipo de organizaciones arroja la presencia de relaciones poco complejas, centradas en la solicitud de capacitaciones y el diseño de pasantías. No se observa la solicitud de asesoramientos sobre productos, servicios o procesos de transferencia tecnológica.

La indagación profunda sobre este punto en la ronda de entrevistas mostró que desde el punto de vista de los empresarios las necesidades de asistencia técnica pueden satisfacerse a través de contactos formales/informales con colegas (que pueden derivar luego o no en la realización/prestación de un producto/servicio conjunto). En este sentido, la construcción de vínculos se realiza desde una mirada netamente operativa (solución de un problema específico) y no estratégica de mediano-largo plazo (apuntando por ejemplo a la realización de una innovación de carácter radical, que cambie dramáticamente el tipo de producto elaborado y permita que la empresa penetre en nuevos mercados).

Es decir, la construcción de lazos fuertes con instituciones de ciencia y tecnología requiere de una inversión en tiempo, esfuerzo, dinero y un nivel de planificación que las empresas no estarían dispuestas asumir. Por otro lado, existen otras limitaciones que condicionarían este tipo de vínculos, entre los que destacan: la distancia entre líneas de investigación científica y los campos de aplicación de las empresas y, finalmente, la presencia de trabas burocráticas que condicionan el desarrollo de este tipo de lazos.

A modo de cierre, puede decirse entonces que las empresas de software de Concepción del Uruguay reproducen los rasgos típicos presentes en las firmas que se desenvuelven en el nicho de mercado del software a medida, no existiendo *a priori* elementos que permitan vislumbrar ningún cambio radical en su trayectoria tecnológica o en su perfil de producción.

Referencias

- [1] Argentina productiva 2030 (2023). Misión 7. Profundizar el avance de la digitalización escalando la estructura productiva y empresarial nacional. *Plan para el Desarrollo Productivo, Industrial y Tecnológico*. Buenos Aires: Ministerio de Economía de la Nación.
- [2] Arrow, K. (1962). "The economic implications of learning by doing". *The Review of Economic Studies*, London School of Economics, London, 29 (3), pp. 155-173.
- [3] Aguirre, J. (2004). "La ESLAI: advenimiento, muerte prematura y proyección". *Newsletter de SADIO*, (8), pp. 5-17.
- [4] Azpiazu, D., Basualdo, E. y Notcheff, H. (1986). "Estructuras y transformaciones de la industria electrónica argentina". *FLACSO Serie Documentos e Informes de Investigación N° 45*, Buenos Aires.
- [5] Azpiazu, Da., Basualdo, E. y Notcheff, H. (1990), "Política industrial y desarrollo reciente de la informática". *CEPAL, Documento de Trabajo N° 34*, Buenos Aires.
- [6] Bain, J. (1956). *Barriers to New Competition: Their Character and Consequences in Manufacturing Industries*. Cambridge: Harvard University Press.
- [7] Bitzer, J. (1997). "The computer software industry in East and West: do Eastern European countries need a specific science and technology policy?", *Deutsches Institut for Wirtschaftsforschung Discussion Paper N° 149*, Berlin.
- [8] CESSI (Cámara de Empresas del Software y Servicios Informáticos) (2018). *Reporte Anual sobre el sector de software y servicios informáticos de la República Argentina*", OPPSI (Observatorio Permanente de la Industria del Software y Servicios Informáticos). Buenos Aires: CESSI.
- [9] Camio, M.I., Rébora, A., Romero, M.C. y Álvarez, M.B. (2016), *Innovación y software. Diagnóstico y medición en empresas argentina*. Tandil: Editorial UNICEN.
- [10] Chudnovsky, D., López, A. y Melitsko, S. (2001). "El sector de software y servicios informáticos (SSI) en la Argentina: Situación actual y perspectivas de desarrollo". *CENIT Documento de Trabajo*, Buenos Aires.
- [11] Church, J. R. y Ware, R. (2000). *Industrial organization: an strategic approach*. Homewood: Irwin-McGraw Hill.
- [12] Damian, D. E., Eberlein, A., Shaw, M. L. y Gaines, B. R. (2000). "Using different communication media in requirements negotiation", *IEEE Software*, 18 (3).
- [13] Diamand, Marcelo (1983), *Escritos Económicos*. Buenos Aires: Garreto Editor.

- [14] Diez, J.I. (2010). Desarrollo endógeno en Bahía Blanca: empresas, organizaciones y políticas públicas. Bahía Blanca: Editorial de la Universidad Nacional del Sur.
- [15] Erbes, A., Robert, V. y Yoguel, G. (2005). “El sendero evolutivo de la Industria de Software en Argentina”, *LLITEC-UNGS Documento de trabajo*, Buenos Aires.
- [16] Ferrer, A. (2008). La economía argentina: desde sus orígenes hasta principios del siglo XXI. Buenos Aires: Fondo de Cultura Económica.
- [17] Goodman, L. A. (1961). “Snowball sampling”, *Annals of Mathematical Statistics*, 32 (1): 148-170.
- [18] Gutman, G., Gorenstein, S. y Robert, V. (2018). “Dimensiones conceptuales para el estudio de clusters de alta tecnología” en Graciela Gutman, Silvia Gorenstein y Verónica Robert (coord.) *Territorios y nuevas tecnologías: Desafíos y oportunidades en Argentina*. Buenos Aires: Punto Libro, pp. 25-54.
- [19] Girolimo, U. y Diez, J.I. (2023). “Redes institucionales en el sector de software: un análisis de la experiencia de Tandil (2003-2018). *Revista Latinoamericana de Estudios Urbano Regionales*, 49 (146): 1-24.
- [20] Harvey, D. (2014). Diecisiete contradicciones y el fin del capitalismo. Quito: IAEN.
- [21] Herbsleb, J. D., Mockus, A. (2003). “An empirical study of speed and communication”. *Globally Distributed Software Development*, IEEE Transactions on Software Engineering, V. 29, N° 6, pp. 481-494.
- [22] Katz, M. y Shapiro, C. (1985). “Network externalities: competition and compatibility”. *American Economic Review*, 75 (3), pp. 424-440.
- [23] Ley 25922. *Ley de Promoción de la industria del Software*. Buenos Aires, Argentina, 9 de septiembre de 2004.
- [24] López, A. y Ramos, D. (2009). “Argentina: Nuevas estrategias empresariales en un modelo más abierto”. En P. Tigre, B. y Silveira Marques, F. (Eds.), *Desafíos y Oportunidades de la Industria de Software para América Latina* (pp. 21-66). Santiago de Chile: CEPAL.
- [25] López, A. y Ramos, D. (2018). El sector de software y servicios informáticos en la Argentina. Evolución, competitividad y políticas públicas. Buenos Aires: Centro de Estudios para el Cambio Estructural (CECE).
- [26] Lundvall, B.A. (1992). *National Systems of Innovation. Towards a Theory of Innovation and Interactive learning*. London: Pinter Publishers.
- [27] Malerba, F. (2002). “Sectorial Systems of innovation and production”. *Research Policy*, 31 (2), pp. 247-264.
- [28] Moncaut, N., Robert, V. y Yoguel, G. (2018). “Modalidades de inserción en cadenas globales de valor. Tres casos de estudio en pymes argentinas del sector de software y servicios informáticos. *Revista Pymes, Innovación y Desarrollo*, 5 (3), pp. 3-22.
- [29] Nelson, R. (1993). *National Innovation Systems: A comparative analysis*. Oxford: Oxford University Press.
- [30] MINCYT (Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva) (2009). “BET - Boletín Estadístico Tecnológico N° 2 TIC”. *MINCYT*, Ciudad Autónoma de Buenos Aires.
- [31] Municipalidad de Concepción del Uruguay (2022). Boletín productivo. Concepción del Uruguay: Municipalidad de Concepción del Uruguay/Dirección de Producción.

- [32] O'Brien, J. A. (2006). *Sistemas de información y las decisiones gerenciales en la era de internet*. San Pablo: Editorial Saraiva.
- [33] Olson, J. S., Olson, G. M. (2003). "Culture surprise in remote software development teams" in *Queue Focus: Distributed Development*, V. 1, N.º 9, pp. 52-59.
- [34] Robert, V., Moncaut, N. y Vázquez, N. (2018). "Clusters de software y servicios informáticos en países pioneros y de ingreso tardío" en Graciela Gutman, Silvia Gorenstein y Verónica Robert (coord.) *Territorios y nuevas tecnologías: Desafíos y oportunidades en Argentina*. Buenos Aires: Punto Libro, pp. 79-104.
- [35] Shapiro, C. y Varian, H. (2010), *El dominio de la información. Una guía estratégica para la economía de la red*. Madrid: Antoni Bosch Editor.
- [36] Stamm, A. (2000). *La industria argentina de software: perfil, opciones de desarrollo y recomendaciones de política para su fomento*. Buenos Aires: MIMEO.
- [37] Yoguel, G. (2000). "Creación de competencias en ambientes locales y redes productivas". *Revista de la CEPAL*, 71, pp. 105-119.
- [38] Yoguel, G., Lugones, M. y Sztulwark, S. (2007). "La Política Científica y Tecnológica Argentina en las Últimas Décadas: Algunas Consideraciones desde la Perspectiva del Desarrollo de Procesos de Aprendizaje". *CEPAL, Manual de Políticas Públicas*, Santiago de Chile.
- [39] Yoguel, G., Borello, A. y Erbes, A. (2009). "Argentina: cómo estudiar y actuar sobre los sistemas locales de innovación". *Revista de la CEPAL*, 99, pp. 65-82.
- [40] Zubieta, R. y Diaz, E. (2016). *Una experiencia de desarrollo independiente de la industria electrónica de Argentina de Tecnología de Punta: Fate División Electrónica 1969-1976*. Buenos Aires: Prosa.

Ensayos Revista de Economía de la Universidad Autónoma de Nuevo León, volumen cuarenta y cuatro, número uno, se terminó de imprimir el primero de enero del año dos mil veinticinco en los talleres de Serna Impresos, S.A. de C.V., Vallarta 345 Sur, Monterrey, Nuevo León, México, C.P. 64000.
El tiraje consta de 30 ejemplares.

Ensayos Revista de Economía es una revista arbitrada que publica artículos de investigación inéditos de alto rigor académico en los campos de la economía aplicada y teórica, la estadística y las ciencias sociales afines. Se publican trabajos en español e inglés dos veces al año, enero y julio. Está indexada en EconLit (*American Economic Association*), SciELO México, Sistema de Clasificación de Revistas Mexicanas de Ciencia y Tecnología (CRMCyT) del Consejo Nacional de Ciencia, Humanidades y Tecnología (CONAHCYT), CLASE, Latindex, SciELO y puede consultarse en la base de datos Fuente Académica Premier™ de EBSCO y en *RePEc* (*Research Papers in Economics*).

Instrucciones para autores:

- Los trabajos deben corresponder a investigaciones concluidas que planteen claramente una hipótesis.
- Se dará preferencia a los trabajos que empleen un modelo teórico matemático como soporte o una metodología estadística/econométrica que someta a prueba la hipótesis.
- Los artículos deben enviarse acompañado de una carta firmada por el autor o los autores declarando que posee(n) los derechos de autor, que el trabajo es inédito y original, y que no está sometido, ni en proceso, para su publicación total o parcial en otra revista especializada o libro.
- El autor o los autores debe(n) enviar una copia de su currículum vitae.
- Los artículos pueden redactarse en inglés o español; sin embargo, el título, el resumen y las palabras clave deben presentarse en ambos idiomas.
- El resumen no excede las 150 palabras e incluye los códigos de clasificación JEL después del resumen.
- El título del trabajo debe ser claro y breve (máximo 10 palabras).
- Los manuscritos deben enviarse en formato compatible con Microsoft Word, con una extensión máxima de 45 cuartillas, interlineado de 1.5, y fuente Times New Roman tamaño 12.
- Las gráficas y cuadros deben enviarse en formato Excel. No se deben incluir gráficas o cuadros en formato de imagen.
- La sección de referencias incluye únicamente los trabajos citados en el texto, ordenados alfabéticamente y siguiendo el formato establecido para citar artículos, libros, capítulos de libros, informes técnicos, tesis, entre otras fuentes de información. Las instrucciones de citación están disponibles en la página de la revista.
- Los artículos deben enviarse de forma electrónica a través de la página de la revista: <http://ensayos.uanl.mx>. Para ello, el autor debe registrarse en la página como usuario y seguir los cinco pasos para nuevos envíos.

Ensayos Revista de Economía is a peer-reviewed journal that publishes original research articles of high academic rigor in the fields of applied and theoretical economics, statistics, and related social sciences. The journal publishes works in both Spanish and English twice a year, in January and July. It is indexed in EconLit (*American Economic Association*), SciELO Mexico, *Clasificación de Revistas Mexicanas de Ciencia y Tecnología* (CRMCyT) of the *National Council of Science, Humanities, and Technology* (CONAHCYT), CLASE, Latindex, SciELO, and can also be accessed through the *Fuente Académica Premier™* database by EBSCO and *RePEc* (*Research Papers in Economics*).

Author guidelines:

- The papers must correspond to completed research that clearly states a hypothesis.
- Preference will be given to papers that employ a supporting mathematical theoretical model or a statistical/econometric methodology that tests the hypothesis.
- Articles must be accompanied by a signed letter from the author(s) declaring ownership of the copyright, originality of the work, and that is not under review or in process for full or partial publication in another specialized journal or book.
- The author(s) must send a copy of their curriculum vitae.
- Articles may be written in English or Spanish; however, the title, abstract, and keywords must be presented in both languages.
- The abstract must not exceed 150 words, and should include JEL classification codes after the abstract.
- The article title should be clear and concise (maximum of 10 words).
- Manuscripts must be submitted in a Microsoft Word compatible format, with a maximum length of 45 pages, 1.5 line spacing, and Times New Roman font, size 12.
- Graphs and tables must be submitted in Excel format. Graphs or tables in image format are not accepted.
- The reference section should include only works cited in the text, listed alphabetically and following the citation format for articles, books, book chapters, technical reports, theses, and other sources. Citation guidelines are available on the journal's website.
- Articles must be submitted electronically through the journal's website: <https://ensayos.uanl.mx>. Authors must register as users and follow the five steps for new articles.

ENSAYOS
Revista de Economía