

Identificación de Diferencias y Similitudes Estructurales en las Redes Interindustriales de Empleo de Argentina

Sergio De Raco¹[0000-0002-1240-5799] y
Viktoriya Semeshenko²[0000-0003-0295-5946]

¹ Universidad de Buenos Aires. Facultad de Ciencias Económicas. Departamento de Economía. Buenos Aires, Argentina. CONICET-Universidad de Buenos Aires. Instituto Interdisciplinario de Economía Política de Buenos Aires. Buenos Aires, Argentina

² Universidad de Buenos Aires. Facultad de Ciencias Económicas. Buenos Aires, Argentina. CONICET-Universidad de Buenos Aires. Instituto Interdisciplinario de Economía Política de Buenos Aires. Buenos Aires, Argentina.
<https://iiep.economicas.uba.ar/>

Resumen La movilidad del empleo entre industrias refleja relaciones entre actividades económicas que se representan naturalmente como redes que resaltan las propiedades de conectividad entre sectores económicos. Los flujos de empleo varían en el tiempo tanto por factores coyunturales como estructurales. Usando registros administrativos de Argentina para el período 1996-2020, exploramos las redes interindustriales y caracterizamos sus estructuras y dinámicas a cuatro dígitos de clasificación de actividades CIIU Rev. 3. Analizamos las transiciones interanuales de empleo entre casi 300 actividades económicas y encontramos redes de elevada conectividad con propiedades de mundo pequeño, cuya estructura cambia en el tiempo. ¿Cuán distintas son las estructuras subyacentes de intercambios interindustriales de empleo? ¿Es posible caracterizar conexiones estables y cambios significativos a lo largo del tiempo? Aplicando métricas y mediciones de similitud estructural para cuantificar las diferencias en las redes interanuales encontramos que es posible identificar distintos regímenes de conectividad que correlacionan con períodos de cierta estabilidad macroeconómica, a la vez que se detectan períodos transicionales en los que estas estructuras van cambiando entre regímenes.

Keywords: Redes Laborales · Distancias · Registros Administrativos

Received January 2024; Accepted March 2024; Published May 2024

1. Introducción

Las transiciones del mercado laboral, es decir, la movilidad de los trabajadores entre firmas y dentro y fuera del empleo, son intrínsecas al funcionamiento de estos mercados y sus características particulares determinan la flexibilidad requerida para adaptarse a las crisis económicas y al cambio estructural. Como se ha notado en numerosos estudios, la movilidad laboral entendida a través de las transiciones de empleo presenta heterogeneidades marcadas entre países, tanto en volumen relativo como en la composición de los distintos tipos de transiciones (ver, por ejemplo [1]).

En los movimientos que ocurren dentro del empleo, como las transiciones entre distintos empleos en períodos consecutivos (v.g. *“job-to-job transitions”*), resulta útil e informativo observar la movilidad laboral desde el punto de vista de la actividad económica de las firmas (empleadores), que provee una dimensión relevante para el análisis del entramado productivo. En particular, cuando estos cambios de empleo ocurren entre firmas de distintas industrias³, es posible extraer información valiosa que permite caracterizar aspectos subyacentes de la estructura productiva nacional asociados a los intercambios de empleo entre distintas actividades económicas.

En Argentina, el Ministerio de Trabajo, Empleo y Seguridad Social (MTEySS) de la Nación cuenta con datos de registros administrativos del empleo formal privado que las firmas informan periódicamente al fisco. Mediante el armado de paneles dinámicos de individuos, estos datos se utilizan para analizar transiciones interanuales de empleo. En este trabajo se utilizan datos de transiciones de empleo formal privado correspondientes a períodos desde 1996 hasta 2020.

Utilizando datos desagregados, representamos las transiciones entre empleos a través de redes de flujos laborales, donde los sectores (nodos) están conectados entre sí cuando se ha observado algún intercambio de empleo entre ellos. Previamente, hemos estudiado las propiedades estructurales de estas redes y encontramos que son densas, altamente conectadas, con regularidades y estructuras interesantes [3,4].

En Semeshenko y De Raco [11], a partir de datos de transiciones de empleo 1996-2020 agrupadas en grandes períodos en base a fases del ciclo macroeconómico (períodos de expansión económica, recesión y estancamiento), se analiza la estructura de conectividad intersectorial de las redes de flujos de empleo promedio y su evolución temporal entre aquellos períodos a distintos niveles de agregación sectorial. Se encontró que al analizar la información de estos intercambios de empleo intersectoriales agregados a los niveles habituales, es decir de grandes grupos de actividades económicas (v.g.: a nivel de letra del clasificador CIU), las estructuras de interconexión se mantenían constantes en el tiempo. Es decir, que en general se observaba la existencia de transiciones de empleo entre todos los sectores de actividad al nivel de “letra”, i.e. matrices de transición con

³ En este trabajo utilizamos indistintamente la referencia a “actividades económicas”, “sectores” productivos, e “industrias”, que se utiliza en sentido amplio, en referencia a las distintas clasificaciones incluidas en el sistema CIU Rev. 3.

elementos no nulos, independientemente de los niveles de flujos de empleo que intercambien. Este hallazgo es compatible con el uso de esta escala de detalle sectorial para calibrar probabilidades de transiciones en modelos macroeconómicos de dinámica del empleo sectoriales, con probabilidades estrictamente positivas. Sin embargo, al analizar las transiciones a mayor desagregación (i.e.: a cuatro dígitos CIIU) se apreciaba mayor variabilidad en el tiempo, lo cual aporta evidencia para evaluar la evolución de la estructura de conectividad intersectorial entre distintos sectores de actividad mediados por el empleo. Es decir que es posible caracterizar el funcionamiento y la evolución del mercado de trabajo (formal privado) en términos de redes de flujos de empleo entre sectores de actividad a gran nivel de desagregación. Por otro lado, al contrastar las estructuras de conectividad promedio de períodos de expansión económica con aquellas de períodos de recesión o estancamiento económico se observaba la pérdida neta de conexiones, mientras que, inversamente, al contrastar períodos recesivos con períodos de expansión económica se observaba la aparición neta de nuevas conexiones.

Por ello, en el presente trabajo, el análisis de la comparación de las redes de flujos interanuales se realizará utilizando datos con un alto grado de desagregación. En la Fig. 1.A se presenta la evolución del total de las transiciones de empleo formal privado en las últimas décadas, registradas entre empresas que declaraban el mismo sector de actividad (transiciones *intrasectoriales*), y entre empresas pertenecientes a diferentes sectores de actividad (transiciones *intersectoriales*), a cuatro dígitos del clasificador CIIU Rev. 3 utilizado en el Sistema Integrado Previsional Argentino (SIPA). Según se observa, es posible caracterizar a grandes rasgos el comportamiento de la serie en términos de **cuatro períodos representativos**: 1) uno declinante asociado a la última parte de la vigencia del Plan de Convertibilidad y la crisis posterior (1996-2002, barra de color azul en la Fig. 1.A); 2) uno de recuperación y crecimiento post-crisis (2003-2011, barra de color fucsia en la Fig. 1.A); 3) otro de estancamiento (2012-2017, barra de color verde en la Fig. 1.A); y 4) uno de fuerte caída asociado al cambio de gobierno y el comienzo de la pandemia COVID-19 (2018-2020, barra de color naranja en la Fig. 1.A).

Así, la evolución de la estructura de conectividad intersectorial a este nivel de desagregación presenta una correlación positiva con el ciclo económico, como se muestra en la Fig. 2. Sin embargo, las redes promedio por definición incorporan a la estructura de conectividad conexiones provenientes de flujos eventualmente transitorios, con lo que se distorsiona la evolución temporal (ver [11]). Por eso es relevante realizar el análisis comparativo de las redes interanuales, sin agruparlas ni promediarlas.

La estructura de la conectividad de las redes de empleo cambia durante el período de tiempo considerado. Sin embargo, dado que las redes son densas, no resulta trivial su análisis y comparación. Al observar directamente la estructura de la red (ver, grafos en la Fig. 1.B), se evidencia la dificultad para detectar diferencias estructurales que plantean estas redes. Si seleccionamos momentos diferentes en la serie de tiempo y observamos la red de conexiones de flujos de empleo, la estructura es muy similar y es difícil concluir qué cambios topológicos

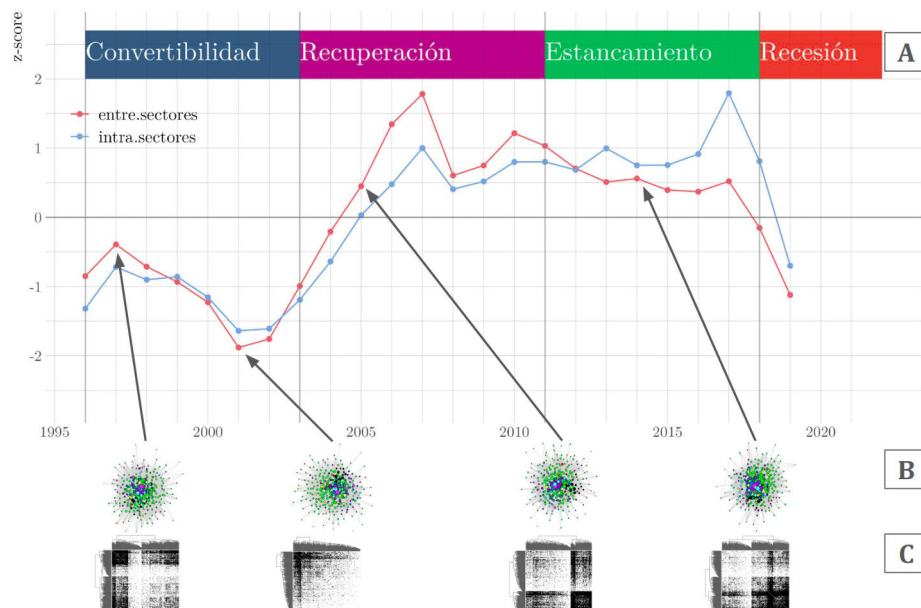


Figura 1: **A.** Descomposición del total de las transiciones interanuales de empleo formal privado (normalizadas) 1996-2020, dentro y entre sectores de actividad económica a 4 dígitos CIU Rev. 3 del SIPA del MTEySS. Años organizados en períodos representativos según un criterio basado en la evolución de la actividad económica (representados por barra de colores): 1) 1996-2002 (color azul), asociado a la última parte de la vigencia del Plan de Convertibilidad y la crisis posterior; 2) 2003-2011 (color fucsia), a la recuperación y crecimiento post-crisis; 3) 2012-2017 (color verde), a un período de estancamiento; y 4) 2018-2020 (color naranja), está asociado al cambio de gobierno y el comienzo de la pandemia COVID-19. **B.** Representaciones de redes de flujos para años seleccionados (1997, 2001, 2005 y 2014), y **C.** respectivos mapas de calor de las redes seleccionadas, binarias, es decir que indican con 1 si existe la conexión entre dos sectores cualesquiera y con 0 si no existe, ordenadas con clustering jerárquico. Así, nos enfocamos exclusivamente en la estructura de conexiones intersectoriales, independientemente de la magnitud de flujos de empleo. Se aprecia la dificultad para comparar las estructuras de conectividad y caracterizar su evolución.

se han realizado. En cambio, si miramos el mapa de calor (*heatmap*) correspondiente a cada red, podemos ver la configuración específica de la estructura y observar las diferencias, porque ellos brindan información topológica que funciona como una huella dactilar (*fingerprint*) de su estructura de conectividad (Fig. 1.C).

En este artículo, el objetivo es identificar diferencias y similitudes en las estructuras de conexiones de las redes interanuales de empleo entre industrias, a fin de detectar los cambios ocurridos en el tiempo, cuantificar las diferencias entre las estructuras subyacentes de las redes, caracterizar e identificar cambios significativos en las conexiones a lo largo del tiempo. Para ello proponemos

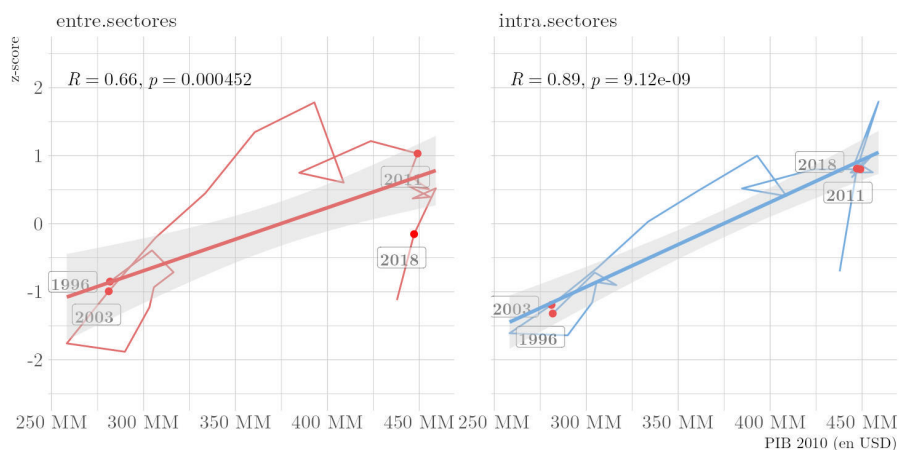


Figura 2: Correlación (Pearson) entre el PIB real y el total de las transiciones interanuales de empleo formal privado (normalizadas) 1996-2020, dentro (azul) y entre (rojo) sectores de actividad económica a 4 dígitos CIIU Rev. 3 (ver la Fig. 1.A). En ambos casos la correlación es fuertemente positiva. Fuente: Elaboración propia en base a SIPA, MTEySS y World Bank.

utilizar distintas medidas de distancias y disimilitudes entre cada par de redes interanuales y comparar los mapas de calor de las distancias. Por otro lado, queremos indagar si es posible relacionar los resultados con la evolución de la actividad macroeconómica.

La identificación de las diferencias estructurales de la red es un problema fundamental y desafiante [2,5,8]. A partir de las matrices fundamentales asociadas a las redes de flujos, utilizaremos distintas métricas y disimilitudes para su comparación mediante el análisis a diferentes escalas de sus estructuras topológicas: local, intermedia (meso) y global [6,10].

Como resultados principales, encontramos que es posible determinar distintos regímenes relacionados con períodos de cierta estabilidad macroeconómica y períodos transicionales, que capturan cambios en las estructuras de conectividad entre regímenes. Adicionalmente, al utilizar distancias globales que consideran la conectividad de la red en su conjunto se logra identificar y cuantificar más detalladamente las estructuras en términos de regímenes, subregímenes, períodos transicionales y cambios de régimen. Ello se debe a que estas distancias consideran la conectividad integral de los nodos de la red, condensando mayor información que las distancias que consideran vecindarios reducidos.

El documento está organizado como sigue. En la sección 2 se describen los datos utilizados en el análisis. En la sección 3 se presentan las características de las redes subyacentes y se describe la metodología aplicada en términos de las distancias utilizadas. En la sección 4 se presentan los resultados. La discusión se sigue en la sección 5, y al final se presenta el Material Complementario en la

sección 6 con información adicional sobre las matrices de transición y una breve reseña sobre el cálculo de distancias.

2. Datos

Para nuestro análisis utilizamos datos de empleo formal del sector privado de Sistema Previsional Argentino (SIPA) proporcionados por el Observatorio de Dinámica Empresarial y del Empleo (OEDE) del MTEySS⁴. Los datos comprenden intercambios interanuales de empleo entre actividades productivas registradas entre los años 1996 y 2020. El conjunto de actividades incluye cerca de 300 sectores (ramas de actividad) a cuatro dígitos de detalle del clasificador CIU Rev. 3.

Después del preprocesamiento⁵ de datos se cuenta con 24 matrices de transición anuales. Luego, a partir de estas matrices se procede a construir las redes de interacciones interanuales entre sectores económicos correspondientes. Por lo tanto, dispondremos de 24 redes (y mapas de calor) para realizar el análisis comparativo, cada una correspondiente a un los flujos de empleo intersectoriales entre un año base y el siguiente.

3. Redes de Empleo Interanuales

Las matrices de transición representan redes dirigidas de interacciones. Hemos analizado redes interanuales durante el período de interés y hemos encontrado estructuras densas con alta conectividad. Estas redes presentan un único componente denso y conexo, con diámetro reducido, y claras estructuras de centro-periferia. Como se muestra en la Fig. 1.B, al analizar directamente las redes de flujos, resulta difícil detectar los cambios en la estructura y topología de un período a otro. Sin embargo, al representar las redes correspondientes mediante mapas de calor, podemos identificar diferencias y detectar los cambios topológicos. Se observa que la estructura cambia para diferentes períodos (Fig. 1.C).

Por consiguiente, surgen varias preguntas para el análisis: ¿Cuán distintas son las estructuras subyacentes de intercambios interindustriales de empleo? ¿Es

⁴ Para más información sobre las matrices de transición ver sección 6.

⁵ Se excluyeron algunos sectores de modo que resultara posible obtener matrices de transición de igual dimensión para todos los períodos bajo análisis: a) Sector Público y Banca Central, dado que el análisis se enfoca en transiciones de empleo dentro del sector privado; b) agencias de empleo transitorio, debido a que su rol de intermediario en relaciones formales de empleo no aporta habilidades adquiridas en las personas que temporariamente se declaran empleadas en dicho sector, siguiendo a Giannelle[9]; c) sectores para los que no se publica el nivel de empleo por razones de secreto estadístico; d) sectores de bajo nivel de empleo sin transiciones de ingreso o de salida en alguno de los períodos utilizados ; y, e) sector no especificado por el declarante (v.g.: código 0), que consiste en una categoría residual poco significativa y marcadamente decreciente en volumen durante el período de análisis.

posible identificar y/o caracterizar conexiones estables y cambios significativos a lo largo del tiempo? ¿Cómo se relaciona la evolución temporal con los períodos macroeconómicos?

Para responder a estas preguntas, utilizamos distintas medidas de distancias y disimilitud para comparar los mapas de calor que proporcionan información estructural y topológica. El objetivo es detectar los cambios ocurridos en el tiempo y analizar su estabilidad y evolución.

Distancias. Existen diversos métodos para comparar redes y, dependiendo del tipo de interacciones que se desea analizar, pueden utilizarse un conjunto de ellos en forma complementaria para lograr una mejor comprensión de los fenómenos y casos atípicos que se desean estudiar, y para detectar mejor las características estructurales particulares. La selección de estas técnicas depende del tipo y el nivel de análisis de la comparación, que a su vez brindará distinta información de la estructura de las redes representadas.

En este trabajo utilizamos el *framework* desarrollado por Donnat y Holmes [6] para comparar redes de nodos alineados en distintos períodos (es decir del mismo tamaño, que en nuestro caso representan transiciones entre los mismos sectores de actividad a cuatro dígitos CIU en todos los períodos de comparación), al que incorporamos la distancia D-measure [10]. A partir de las matrices fundamentales asociadas a estas redes, se utilizan distintas métricas y disimilitudes para su comparación mediante el análisis a diferentes escalas de sus estructuras topológicas: local, intermedia (meso) y global. La estructura *local* refiere a los entornos o vecindarios de primer orden de cada nodo y enfatiza el análisis del grado de conectividad y densidad de lazos que presenta cada uno, así como de los que no ocurren. En cuanto a la estructura *global*, refiere a la red en su totalidad, en término de las propiedades del sistema que representan los nodos y los lazos que la componen, así como características de las dinámicas en base al análisis realizado sobre las matrices fundamentales (de adyacencias y/o Laplacianas). Por último, la existencia de *meso-estructura* a niveles intermedios amplía el análisis local de conexiones directas a entornos o vecindarios más extendidos, por ejemplo de segundo o tercer orden (v.g.: vecindarios de sus vecinos, etc.), se plantea como la posibilidad de identificar subconjuntos de nodos que compartan conectividad en grupos.

Nos interesa investigar sobre los cambios estructurales y topológicos ocurridos en redes de empleo en el tiempo. Para eso, las distancias utilizadas se calculan sobre las matrices de adyacencias binarias, $A_{ij} \in \{0, 1\}$, de las redes no dirigidas. Es decir que las matrices de la conectividad intersectorial de los flujos observados no tienen la magnitud ni direccionalidad de los flujos. O sea, nos interesa exclusivamente la existencia o no de la conexión entre los nodos (interacción entre sectores). De aquí en adelante, seleccionamos las distancias estructural (local), polinomial (local extendida), espectral y D-measure (globales), para realizar el análisis comparativo. Los detalles sobre el desarrollo matemático y cómo se calcula cada distancia se tratan en la sección 6.

Distancia estructural. Utilizamos la distancia de Jaccard para identificar cambios a nivel de entornos locales de interconexión de cada sector y evaluar la tasa de reacomodamiento de lazos. Este índice es local, ya que no tiene en cuenta la conectividad del grafo ni las conexiones a larga distancia entre los nodos. El coeficiente de Jaccard puede interpretarse como la proporción de lazos eliminados o incorporados con respecto al total de lazos que aparecen en ambas redes, y si su valor es cercano a 1 indica un remodelamiento completo de la estructura del grafo entre dos períodos.

Distancia polinomial. Esta distancia está basada en la utilización del polinomio de potencias de la matriz de adyacencias, A^k , que se relaciona con la topología local de la red a través de los coeficientes de A_{ij}^k que representan los caminos del nodo i al nodo j a través de k saltos o pasos. Esta distancia permite cuantificar diferencias entre dos redes de la estructura de conectividad que presenta cada sector con el vecindario de sectores con los que tiene intercambios directos y de la conectividad de estos con el resto de la red. Dado que el diámetro de la red es reducido con esta distancia se captarían cambios en la estructura cercanos a la escala global, de toda la red.

Distancia espectral. Se utiliza para caracterizar el estado de la red mediante sus valores propios, y permite detectar cambios en estructuras globales e intermedias. La distancia espectral se define como la distancia entre funciones del espectro de los valores propios de las matrices de dos redes bajo comparación. Al efectuar el análisis espectral (*eigen-análisis*) sobre las matrices fundamentales se extrae información de la estabilidad de la dinámica del sistema complejo que representa y acerca de la suavidad de su evolución mediante el seguimiento de los cambios en los valores propios (autovalores o *eigenvalues*) de estas matrices.

D-measure. Esta distancia opera como una métrica que promedia características locales y globales en la comparación de redes y permite capturar el papel diferente de los enlaces y nodos en las redes y, por lo tanto, identificar mejor las diferencias topológicas de las redes. La idea principal para medir la disimilitud, $d_D(G, \tilde{G})$, de dos redes es asociar a cada estructura de red un conjunto de funciones de distribución de probabilidad, PDF, y compararlas, usando métricas de la teoría de la información [10]. En este trabajo utilizaremos el marco desarrollado en [10], y consideraremos los vectores PDF basados en 3 distancias en una función de tres términos (ver ecuación 4 en sección 6). El primer término compara redes, a través de sus distribuciones de distancias de red, capturando diferencias topológicas globales. Estas distribuciones pueden incluir información sobre la distancia entre nodos, la conectividad entre nodos y la forma en que se producen las conexiones entre nodos. El segundo término compara la conectividad de cada nodo y cómo cada elemento está conectado a lo largo de la red, a través de las distribuciones de distancias de los nodos. Estas distribuciones se utilizan para determinar la conectividad de cada nodo y cómo están conectados a lo largo de la red. El último término analiza las diferencias en la forma en que se produce esta conectividad, mediante el análisis de la centralidad alfa. La centralidad alfa es una medida de la importancia de un nodo en una red, y se utiliza para determinar cuánto influencia un nodo tiene sobre la conectividad

de la red en general. Este análisis permite identificar nodos clave en la red y comprender cómo se producen las conexiones entre nodos.

Para evaluar los resultados de las distancias y medidas seleccionadas, utilizamos mapas de calor y el método estadístico de *escalamiento multidimensional métrico* (MDS), una técnica clásica de reducción de dimensionalidad no lineal similar a PCA, basada en la descomposición de valores propios de una matriz de distancias, que permite mapear la proximidad entre las distintas redes en los componentes que capturan la mayor variabilidad de la matriz de distancias analizada.

4. Resultados

En esta sección presentamos resultados del análisis de comparación de las redes interanuales de los $T = 24$ períodos usando las cuatro distancias seleccionadas, que permiten identificar y resaltar diferencias de las estructuras de interacciones observadas a nivel local, intermedio (meso) y global, y relacionar importantes diferencias estructurales con los períodos macroeconómicos.

Jaccard. La distancia de Jaccard cuantifica la cantidad de cambios en las interacciones del entorno directo (local) de cada sector, es decir de los sectores con los que tienen intercambios de empleo en forma directa (medidos por el grado del sector) y los resultados se presentan en la Fig.3.A1. En la comparación de las matrices de adyacencias de las redes interanuales, A , utilizando la distancia $d_{Jacc}(A, A')$ es posible observar dos grandes subperíodos, entre 1996 y 2000 (etapa de Convertibilidad) y entre 2004 y 2018 (etapas posteriores), que presentan relativa similitud hacia adentro de los mismos en los años consecutivos (regiones de color naranja más claro sobre la diagonal en la Fig.3.A1) y difieren entre períodos (regiones de color naranja más oscuro hacia los bordes, Fig.3.A1), separados por años de crisis 2001-2003 y 2019, en que aparecen distancias mayores con todos los años (franjas de rojo oscuro, Fig.3.A1). Ello evidencia diferencias en la estructura local de transiciones de empleo que se sostienen en el mediano plazo, es decir algún tipo de cambio estructural en la manera en que se organizaron y la cuantía en que registraron las transiciones interindustriales de empleo respecto de los intercambios directos entre sectores.

En la Fig.3.A2 se mapea mediante escalamiento multidimensional métrico (MDS) la matriz de distancias calculada en los dos primeros componentes que capturan la mayor variabilidad de esta matriz, Comp 1 (21,9%) y Comp 2 (6,6%), acumulando 28,5% de la variabilidad total. En esta proyección se observa que el eje horizontal ordena hacia la izquierda, en los valores negativos del Comp 1 que captura la mayor parte de la varianza de las distancias, al primer grupo 1996-2000 junto con los años de crisis 2001-2003 y 2019, mientras que ordena en los valores positivos de Comp 1 a las transiciones del segundo grupo 2005-2018. Hacia los valores positivos se observan los años Post-Convertibilidad, que el componente vertical ordena desde arriba hacia abajo a los años 2004 a 2018, bastante cercanos entre sí en línea con lo observado en el mapa de calor. En particular, el tercer cuadrante pareciera captar mermas en la conectividad y

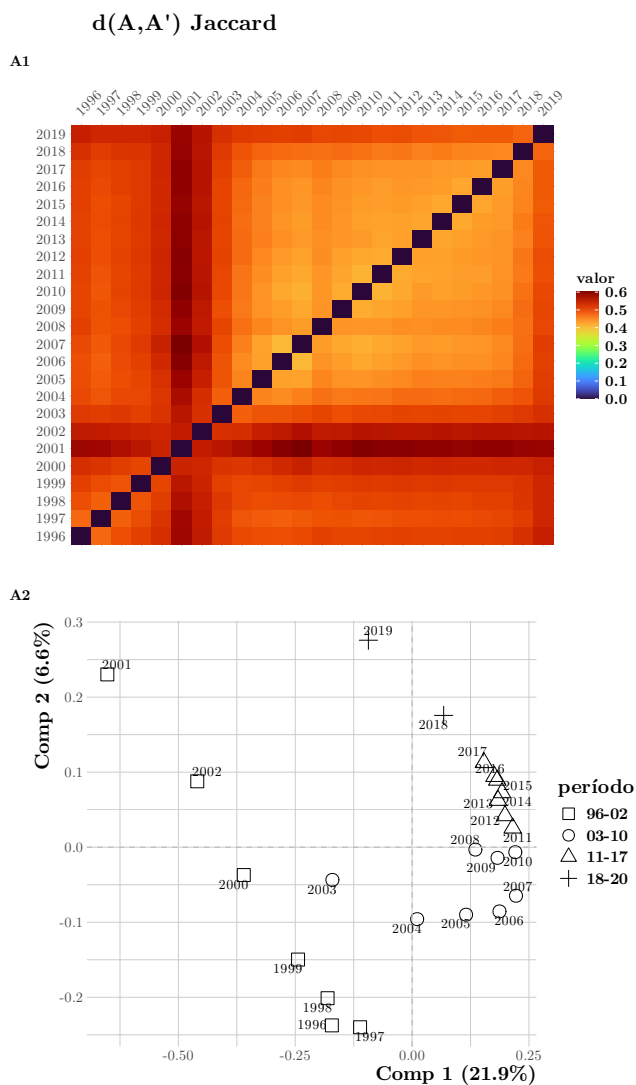


Figura 3: Distancia Jaccard entre grafos binarios no dirigidos de redes interanuales 1996-2019. **A1.** Se presenta el mapa de calor en la que cada celda representa el valor de la distancia seleccionada entre las redes (en orden cronológico). Se puede observar que Jaccard permite identificar el período de crisis 2001-2002 como diferente a la estructura de las redes de años anteriores y posteriores. **A2.** Se presenta el gráfico de escalamiento multidimensional métrico (MDS) sobre los primeros dos componentes, utilizando colores para remarcar los períodos de estabilidad macroeconómica relativa identificados en pg. 3 y la Fig. 1.A. En la representación MDS se destaca el paralelismo entre la mayor amplitud de la conectividad capturada por la distancia y la mayor proporción de variabilidad de la matrice de distancias capturada por los primeros dos componentes de MDS.

muestra hacia valores más negativos los años de crisis, con 2019 alejándose de la estructura del “régimen” de mayor movilidad y acercándose a 2001, un año

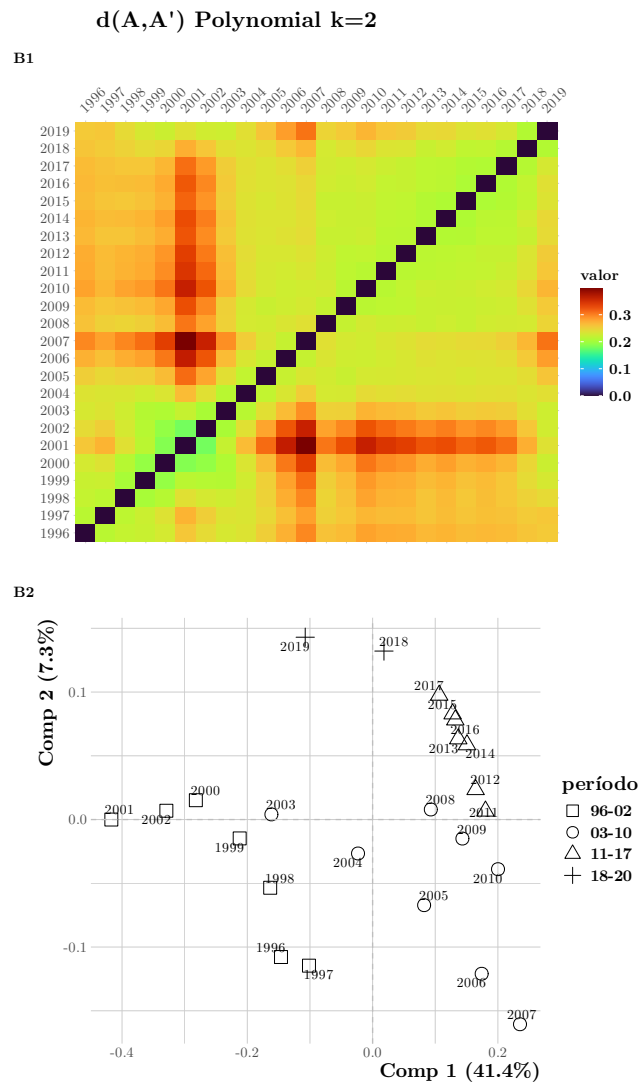


Figura 4: Distancia Polinomial entre grafos binarios no dirigidos de redes interanuales 1996-2019. **B1.** Se presenta el mapa de calor en la que cada celda representa el valor de la distancia seleccionada entre las redes (en orden cronológico). La distancia Polinomial, que compara estructuras de conectividad directa e indirecta de segundo orden, permite identificar dos subperíodos (antes y después de 2007) en el régimen posterior a la crisis de 2001. **B2.** Se presenta el gráfico de escalamiento multidimensional métrico (MDS) sobre los primeros dos componentes, utilizando colores para remarcar los períodos de estabilidad macroeconómica relativa identificados en pg. 3 y la Fig. 1.A. En las representaciones MDS se destaca el paralelismo entre la mayor amplitud de la conectividad capturada por la distancia y la mayor proporción de variabilidad de la matriz de distancias capturada por los primeros dos componentes de MDS.

de transición del régimen anterior de movilidad laboral. Es posible notar que la distancia de Jaccard ordena a las transiciones de 2003, incluidas en el período de recuperación Post-Convertibilidad, con el resto de las observadas en el período anterior y a 2004 y 2019 como años que se encuentran entre ambos regímenes, como años transicionales (*transient*).

Polinomial 2. Esta distancia considera las diferencias de la conectividad ampliada a los sectores en sus entornos de segundo orden (v.g.: sectores vinculados con aquellos que tiene lazos directos) y los resultados se presentan en la Fig. 4.B1. Con esta distancia también se identifican dos grandes “regímenes” aunque no aparecen tan claramente los años de transición entre ellos como aparecían al analizar los cambios en las conexiones directas con Jaccard, como se observa en el mapa de calor Fig. 4.B1. Así, se agrupan las transiciones de 1996-2003 y de 2004-2019 en dos grandes regímenes de conectividad extendida. Sin embargo, se observa un mayor contraste entre los años 2001-2003 y el resto de los años del segundo régimen Post-Convertibilidad en las estructuras comparadas. Esto sugiere que la mayor conectividad observada en general en dichos años se logró en la persistencia de las transiciones de segundo orden que no estaban presentes durante el régimen de movilidad laboral vigente en la Convertibilidad.

En particular, se destaca el contraste entre las estructuras de 2001 y 2007, año a partir del cual se observan mayores similitudes interanuales del “segundo régimen” de estabilidad entre 2008-2018. Esto podría estar relacionado con cambios en las vinculaciones intersectoriales a partir de 2008, año de crisis interna en Argentina con el conflicto con el campo y las restricciones a la movilidad interior. Por otro lado, como se observa en la serie temporal de transiciones en la Fig. 1.A, las transiciones de 2001 ocurren hacia 2002 que marca el primer año en que se revierte la tendencia negativa post-crisis en la serie, mientras que las transiciones de 2007 ocurren hacia 2008 que marca una fuerte caída en la serie, por lo que su comparación captura información de fuerte contraste que esta distancia logra captar. En la proyección MDS, los dos primeros componentes Comp 1 (41,4%) y Comp 2 (7,3%) acumulan 48,7% del total de la variabilidad de esta matriz de distancias (Fig. 4.B2). En esta proyección, el Comp 1 en el eje horizontal ordena nuevamente en sus valores negativos al período de Convertibilidad incluyendo a los años de transición 2003-2004 y a 2019 y hacia la derecha en los valores positivos a los restantes años. Sin embargo, al ampliar el orden de conectividad, 2019 ya no aparece tan cercano a 2001 como cuando se consideraban sólo las conexiones directas. En particular, se observa que al comparar estas estructuras de conectividad ampliadas en la proyección MDS de la Fig. 4.B2, tienden a estabilizarse en el período 2011-2017 identificado en la sección 1 (Fig. 1.A, período en verde) como de “estancamiento” (Fig. 4.B2, en rojo).

Espectral. La distancia espectral cuantifica las diferencias en todo el espectro de frecuencias de los valores propios de los grafos asociados a cada red de flujos interanuales. En este sentido resulta una medida amplia de las diferencias en la estructura global de las redes analizadas por lo que sugiere una interpretación más acorde al “estado del sistema” de transiciones interindustriales dentro del empleo formal privado a lo largo del tiempo. El mapa de calor de la Fig.

5.C1 identifica los mismos grandes grupos de períodos (1996-2000 y 2004-2018) distinguibles con la distancia polinomial, que consideraba diferencias en la estructura de segundo orden de conectividad, descritos como dos “régimenes” de movilidad laboral. En este sentido, dado que el diámetro de las redes de flujos de empleo (que computa el más largo de los caminos promedio entre cada par de nodos) resulta del orden de 3 pasos (ver [3]), y que la distancia polinomial analizada captura información de entornos de hasta 2 pasos, se espera que la información adicional proveniente de una métrica relacionada con el espectro del grafo completo no resulte demasiado alejada de la obtenida por la polinomial. No obstante, dado que para calcular la distancia espectral se utilizan todos los autovalores de los grafos, aparece información adicional que proviene de las interacciones de todos los sectores en conjunto.

En la proyección MDS (Fig. 5.C2) los primeros dos componentes acumulan 97,6 % de la variabilidad total de la matriz de distancias (80,6 % Comp 1 y 17,0 % Comp 2), prácticamente la totalidad de la variabilidad y el doble que la explicada en el caso de la distancia polinomial. Allí se observa que el eje horizontal (Comp 1) ordena hacia la izquierda a los años del primer régimen de movilidad (Convertibilidad y colapso, 1996-2003) y hacia la derecha el segundo régimen (2004-2018), con 2018 y 2019 más cercanos al primer régimen. El eje vertical (Comp 2) separa hacia arriba a los años 2001 y 2007, atípicos y con máxima distancia l_2 entre sí, y hacia abajo a los años de transición entre regímenes y los extremos 2018 y 2019.

D-measure. La distancia D-measure, $d_D(G, \tilde{G})$, identifica y cuantifica adecuadamente las diferencias topológicas estructurales, que afectan el flujo de información a través de las redes. Esto se aprecia en la Fig. 6.D1, en que las diferencias topológicas crecientes corresponden a valores d_D más altos.

Aunque esta disimilitud promedia el aporte de dos métricas locales y una global, tanto en el mapa de calor asociado a esta distancia (Fig. 6.D1) como en la proyección MDS (Fig. 6.D2) los resultados de la D-measure se asemejan a los obtenidos con la distancia espectral, que presenta un ordenamiento similar de las redes interanuales en ambas representaciones. Esta similitud posiblemente se explique en buena medida por las características de mundo pequeño y diámetro reducido de las redes analizadas. En el mapa de calor (Fig. 6.D1) se observa una distinción en la identificación del año 2002 como el año más diferente a todos, dentro del período transicional 2000-2002 que ya se detectaba con la distancia espectral. La proyección MDS (Fig. 6.D2) acumula una variabilidad explicada de 95,1 %, ligeramente inferior respecto de la espectral. Se observa 2002 como el período más atípico hacia la izquierda y arriba y un ordenamiento similar en los ejes horizontal (Comp 1, 79,5 %) y vertical (Comp 2, 15,6 %).

Al comparar las Figs. 3, 4, 5 y 6, se observan diferencias y similitudes entre las cuatro distancias utilizadas. En términos generales, tanto los mapas de calor de todas las distancias interanuales calculadas, como los MDS que ordenan cada punto según los aportes a la variabilidad total resumidos en los primeros dos componentes, resultan semejantes dentro de cada figura y contrastan entre figuras. Es decir que existen semejanzas en la información que proveen las dis-

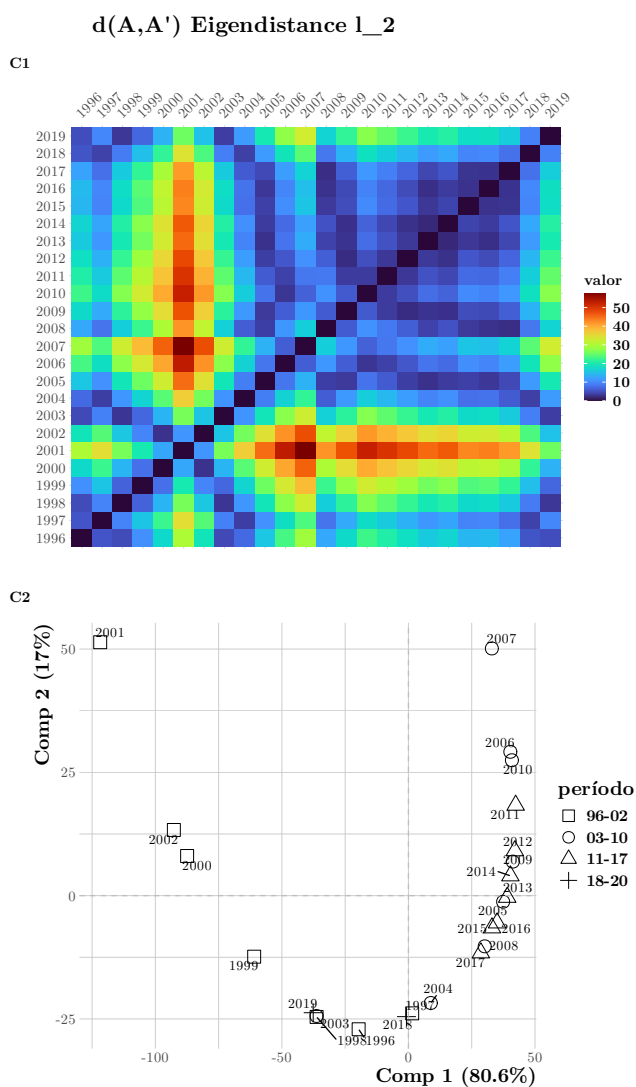


Figura 5: Distancia Espectral entre grafos binarios no dirigidos de redes interanuales 1996-2019. **C1.** Se presenta el mapa de calor en la que cada celda representa el valor de la distancia seleccionada entre las redes (en orden cronológico). Se puede observar que la distancia espectral l_2 de valores propios presenta mayor capacidad para identificar diferencias en la estructura de conectividad que Jaccard y Polinomial de segundo orden, con mayores niveles de detalle y sensibilidad que aquellas métricas en la identificación de subregímenes en períodos de estabilidad y de contrastes en los períodos transicionales. **C2.** Se presenta el gráfico de escalamiento multidimensional métrico (MDS) sobre los primeros dos componentes, utilizando colores para remarcar los períodos de estabilidad macroeconómica relativa identificados en pg. 3 y la Fig. 1.A. En la representación MDS, en relación con Jaccard y Polinomial se observa una mayor proporción de variabilidad de las matrices de distancias capturada por los primeros dos componentes de MDS, de 97,6% en la espectral.

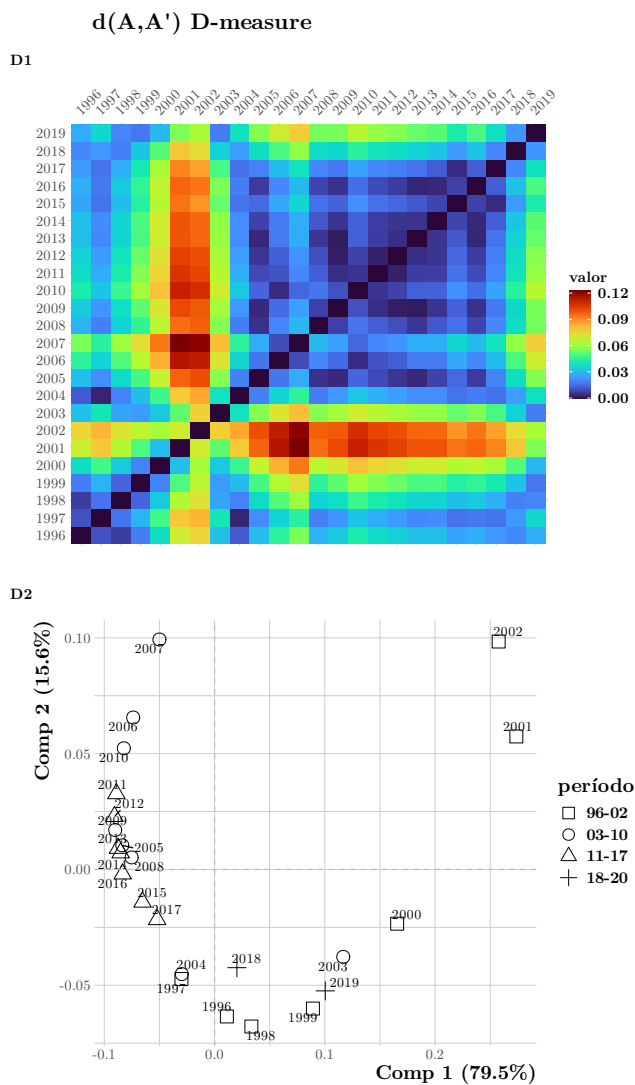


Figura 6: Distancia D-measure entre grafos binarios no dirigidos de redes interanuales 1996-2019. **D1**. Se presenta el mapa de calor en los que cada celda representa el valor de la distancia seleccionada entre las redes (en orden cronológico). Se puede observar que la distancia D-measure presenta mayor capacidad para identificar diferencias en la estructura de conectividad que Jaccard y Polinomial de segundo orden (ver Figuras 3 y 4), con mayores niveles de detalle y sensibilidad que aquellas métricas en la identificación de subregímenes en períodos de estabilidad y de contrastes en los períodos transicionales. **D2**. Se presenta el gráfico de escalamiento multidimensional métrico (MDS) sobre los primeros dos componentes, utilizando colores para remarcar los períodos de estabilidad macroeconómica relativa identificados en en pg. 3 y la Fig. 1.A. En la representación MDS, en relación con Jaccard y Polinomial se observa una mayor proporción de variabilidad de 95,1% de las matrices de distancias capturada por los primeros dos componentes.

tancias de Jaccard y Polinomial (Figs. 3 y 4) y en la que proveen las distancias Espectral y D-measure (Figs. 5 y 6). Ello ocurre debido a que las primeras dos distancias miden diferencias en la conectividad sectorial a través de caminos cortos, las conexiones observadas o el grado de conectividad de cada sector en el caso de Jaccard, y la conectividad ampliada por las conexiones inmediatas de su entorno directo, dado que se trata de distancias locales. Los mapas de calor permiten capturar los cambios de régimen y detectar los períodos transicionales, y detectar en cierta medida subregímenes (con mayor detalle en el caso de la Polinomial), mientras que los MDS ordenan de manera similar las distancias interanuales en el espacio de las primeras dos componentes.

Por otro lado, las distancias Espectral y D-measure se parecen entre sí⁶. Por un lado, ambas distancias contabilizan la conectividad conjunta y explican prácticamente toda la variabilidad de la matriz. Sin embargo, D-measure captura y cuantifica mejor las diferencias topológicas y eficazmente detecta los cambios ocurridos en el tiempo.

Hasta aquí se logra confirmar mediante las diferencias de las estructuras de las redes de flujos de empleo a distintos niveles de análisis de su conectividad (local, intermedia y global) que los períodos seleccionados aparecen representando distintos “regímenes” de movilidad del empleo, separados entre sí por períodos transicionales y cambios de régimen.

5. Discusión

Las redes interindustriales de empleo representan interacciones entre sectores de actividad mediados por cambios en el empleo. Esta representación pone énfasis en la relevancia de la estructura de conectividad intersectorial para el análisis de la movilidad laboral. En particular, la movilidad de los individuos que cambian de empleo (*job-to-job transitions*) hacia una industria distinta a la de origen refleja información, como un aspecto latente, acerca de la valorización de habilidades adquiridas por una trabajadora en una industria diferente.

Con el objeto de cuantificar las diferencias estructurales de conectividad intersectorial y de identificar el potencial de esta representación para extraer información útil del mercado laboral, en este trabajo se abordó el problema de comparar dichas redes para la Argentina en un período que contiene al menos un cambio estructural sustancial.

En particular, aquí nos interesa examinar sólo los cambios de la estructura que conecta a las industrias, donde las transiciones de empleo tienen lugar entre diferentes actividades económicas. En nuestro análisis dejamos de lado los efectos del tamaño y la representatividad de los flujos de trabajadores que se intercambian entre estas actividades dado que la magnitud de ellos no afecta la estructura de intercambios. El análisis de los flujos de empleo, es decir de las redes interindustriales de empleo *ponderadas*, queda para trabajos futuros donde sería interesante en este sentido abordar el análisis de la naturaleza y las

⁶ Nótese, sin embargo, que el dominio de la escala de distancia espectral no está acotado.

características particulares de las transiciones laborales en cada año que permita atender preguntas referidas: al tipo de actividades involucradas en transiciones con mayor (menor) frecuencia, a las actividades “atractoras” (“expulsoras”) de empleo, así como acerca de los agrupamientos de actividades que habitualmente intercambian empleo entre sí.

Mediante el uso de un conjunto de distancias que difieren entre sí en el alcance de la estructura de conectividad entre nodos considerada, para las redes analizadas se observó que: a) al considerar únicamente vecindarios directos (Jaccard) es posible distinguir la presencia de estructuras de largo plazo (regímenes) detrás de los intercambios de empleo intersectoriales, así como períodos de cambio estructural; b) al incorporar vecindarios de conectividad indirecta (polinomial de segundo orden) se logran identificar subregímenes y períodos transicionales con mayor detalle; y c) al considerar distancias más globales, que evalúan la conectividad de la red en su conjunto, se identifican detalladamente los parecidos entre las estructuras interanuales en términos de regímenes, subregímenes, períodos transicionales y cambios de régimen.

Por otro lado, se encontró que la información obtenida al analizar las distancias permite interpretar los resultados a la luz de la evolución histórica de la actividad macroeconómica, tanto en términos de las fases cíclicas que caracterizan “regímenes” estructurales como de los períodos de transición y cambio de régimen asociados a crisis económicas que imponen redireccionamientos en la estructura de relaciones intersectoriales.

Estos hallazgos resultan interesantes en tanto que aportan un elemento adicional, la *conectividad interindustrial*, para el análisis de la estructura de conexiones sectoriales y la evolución del mercado laboral e incluso para el análisis de la estructura productiva. Las distancias utilizadas aportan una manera resumida de comparar estructuras complejas de interacción como las que surgen de las redes de empleo interindustrial.

El ejercicio realizado sugiere que la información de conectividad entre actividades económicas al nivel analizado (cuatro dígitos del clasificador CIU Rev. 3) resulta relevante para caracterizar la evolución de la estructura intersectorial del mercado laboral (formal privado) en relación con el ciclo de actividad económica y, posiblemente, de la estructura productiva subyacente. En particular, dado que los datos provienen de registros administrativos, parece útil como indicador macroeconómico e instrumento de política para el monitoreo de la situación comparativa y la evolución del mercado laboral.

6. Material Complementario

En esta sección presentamos información complementaria sobre matrices de transición de flujos laborales, así como también sobre la forma en que se calculan

las distancias utilizadas en el análisis de la comparación de redes interanuales⁷ realizado.

Matrices de transición. A partir de los registros administrativos el OEDE elabora matrices de transición de empleo según la actividad económica declarada por las firmas, cuya construcción se basa en la creación de paneles interanuales de individuos que aparecen en ambos períodos de registro para el mes de referencia. Se contabiliza la cantidad de trabajadores declarados en los períodos t y $t + 1$ para los que se identifican cambios de estado en su situación respecto del empleo formal. La metodología habitual de construcción de paneles interanuales de individuos utilizada por el MTEySS considera octubre como mes de referencia.

Eso implica, que para el periodo considerado en el análisis, la transición del año 1998 por ej. refleja los movimientos entre octubre del año 1998 y octubre del año 1999.

Distancias. Las distancias se calculan sobre las matrices de adyacencias binarias, $A_{i,j} \in \{0, 1\}$ de los grafos no dirigidos asociados a las redes correspondientes⁸.

Jaccard. La distancia de similitud de Jaccard identifica cambios en las redes a nivel de entornos locales de interconexión de cada sector, y se calcula en la siguiente manera:

$$d_{Jacc}(G, \tilde{G}) = \frac{|G \cup \tilde{G}| - |G \cap \tilde{G}|}{|G \cup \tilde{G}|} = \frac{\sum_{i,j} |A_{ij} - \tilde{A}_{ij}|}{\sum_{i,j} \max(A_{ij}, \tilde{A}_{ij})}, \quad (1)$$

donde G , y \tilde{G} son dos redes, de dos periodos distintos, que se comparan, A_{ij} , y \tilde{A}_{ij} las matrices fundamentales de las redes correspondientes. La distancia varía de 0 a 1, si su valor es cercano a 1 indica una reestructuración completa de la red entre dos periodos.

Distancia Polinomial. La distancia polinomial utiliza polinomio de potencias de la matriz de adyacencias, A^k . Dicho polinomio contiene información relevante sobre la matriz, los más significativos son los valores propios, y que se relaciona con la estructura local del grafo a través de los coeficientes de A_{ij}^k que representan los caminos del nodo i al nodo j a través de k saltos. En el contexto de transiciones laborales este enfoque permite incorporar al análisis otros vínculos de conectividad entre sectores mediados por los sectores que tienen intercambios directos en órdenes sucesivos.

Debido a que el diámetro⁹ de las redes de flujos de empleo es en promedio de 3 pasos (ver [3].), utilizamos la distancia polinomial con $k = 2$. Para calcular

⁷ Las distancias se aplican para redes interanuales, quiere decir que se comparan redes de dos períodos consecutivos, para determinar si cambia su estructura y en qué medida.

⁸ La exposición y notación siguen de cerca a Donnat y Holmes [6] y a Schieber et al. [7].

⁹ Nota: Diámetro de la red es el camino promedio más largo

esta distancia se parte de la descomposición de valores propios de la matriz de adyacencias A de una red, $A = Q\Lambda_A Q^T$, donde Λ_A es la matriz diagonal con los valores propios de la matriz A , mientras que Q es la matriz cuadrada con los vectores propios asociados.

$P(A) = QWQ^T$, donde

$$P(x) = x + \frac{1}{(V-1)}x^2 + \dots + \frac{1}{(V-1)^{k-1}}x^k,$$

y

$$W = \Lambda_A + \frac{1}{(V-1)}\Lambda_A^2 + \dots + \frac{1}{(V-1)^{k-1}}\Lambda_A^k,$$

V es la cantidad de nodos, y que para el caso de uso con $k = 2$ se expresa:

$$d_{Poli}(G, \tilde{G}) = \frac{1}{\sqrt{2}}\|P(A) - P(\tilde{A})\|_2. \quad (2)$$

Esta distancia permite cuantificar diferencias entre dos redes en términos de la estructura de conectividad que presenta cada sector con el vecindario de sectores con los que tiene intercambios directos, ampliado con las conexiones directas de estos con el resto de la red.

Distancia espectral. Esta distancia se utiliza para caracterizar el estado de la red mediante sus valores propios, y detectar cambios en estructuras globales e intermedias. Al efectuar el análisis espectral (*eigen-análisis*) sobre las matrices fundamentales se extrae información de la estabilidad de la dinámica del sistema complejo que representa y acerca de la suavidad de su evolución mediante el seguimiento de los cambios en los valores propios (autovalores o *eigenvalues*) de estas matrices, de las que a su vez es posible extraer una interpretación en términos físicos (matriz de adyacencias, A).

La distancia espectral se define como la distancia l_p de la función f del espectro de los valores propios $\lambda_0 \leq \lambda_1 \leq \dots \leq \lambda_{V-1}$ de las matrices de adyacencias de dos redes y se calcula la norma de la diferencia:

$$d_{Eig}(G, \tilde{G})^p = \|f(\lambda_i) - f(\tilde{\lambda}_i)\|_p = \left(\sum_{i=0}^{V-1} |f(\lambda_i) - f(\tilde{\lambda}_i)|^p \right)^{(1/p)}. \quad (3)$$

Se utiliza la distancia l_p con $p = 2$, la distancia Euclídea, sobre el espectro de las matrices A de adyacencias de las redes correspondientes. En particular, dado que en este caso interesa cuantificar el cambio en el espectro completo de frecuencias representado en los autovalores de las matrices de adyacencias de las redes a comparar, se utiliza la función identidad $f(\lambda) = \lambda$ para enfatizar la amplitud del cambio en los autovalores.

D-measure. La disimilitud $d_D(G, \tilde{G})$ entre G y \tilde{G} propuesta por Schieber et al. [10] viene dada por:

$$d_D(G, \tilde{G}) = \omega_1 \sqrt{\frac{\mathcal{J}_H(\mu_G, \mu_{\tilde{G}})}{\log_2}} + \omega_2 \left| \sqrt{NND(G)} - \sqrt{NND(\tilde{G})} \right| + \frac{\omega_3}{2} \left(\sqrt{\frac{\mathcal{J}_H(P_{\alpha G}, P_{\alpha \tilde{G}})}{\log_2}} + \sqrt{\frac{\mathcal{J}_H(P_{\alpha G^c}, P_{\alpha \tilde{G}^c})}{\log_2}} \right), \quad (4)$$

donde G^c indica el complemento del grafo, $\mathcal{J}_H(.,.)$ es la divergencia Jensen-Shannon, una medida de disimilitud entre las distribuciones de probabilidad de distancias de conectividad de cada nodo i de red, \mathcal{P}_i , $i \in (0 \dots V)$. Los pesos ω_1 , ω_2 y ω_3 son arbitrarios, con $\omega_1 + \omega_2 + \omega_3 = 1$, y NND es una medida de la heterogeneidad de la red en términos de distancias de conectividad:

$$NND(G) = \frac{\mathcal{J}(\mathcal{P}_1 \dots \mathcal{P}_N)}{\log(d+1)},$$

siendo d el diámetro de la red.

El primer término, utilizando la divergencia de Jensen-Shannon (μ_G y $\mu_{\tilde{G}}$), compara la distribución de distancias entre las dos redes. El segundo término analiza la heterogeneidad de los nodos al comparar los valores de la distancia al vecino más cercano (NND, por sus siglas en inglés) de las redes. Las redes que presentan el mismo NND son aquellas que tienen perfiles de distancia de conectividad similares. El tercer término compara las medidas de centralidad alfa de ambas redes. La centralidad de cada nodo se evalúa teniendo en cuenta tanto las conexiones directas como las indirectas de dicho nodo. Al considerar el complemento del grafo, esta medida captura el efecto de los nodos desconectados. Así definida, la métrica $d_D(G, \tilde{G})$ captura las disimilitudes tanto globales como locales entre las redes. Se espera que esta medida identifique adecuadamente las diferencias topológicas estructurales que afectan el flujo de información a través de las redes. En el caso de estudio específico, se refiere al flujo de empleo.

Referencias

1. Causa, O., Luu, N., Abendschein, M.: Labour market transitions across oecd countries: Stylised facts. Tech. rep., OECD (2021). <https://doi.org/10.1787/62c85872-en>
2. Conte, D., Foggia, P., Sansone, C., Vento, M.: Thirty years of graph matching in pattern recognition. *Int. J. Pattern Recogn.* **18**, 265–298 (2004)
3. De Raco, S.A., Semeshenko, V.: Labor mobility and industrial space in Argentina. *Journal of Dynamics & Games* **6**(2), 107 (2019). <https://doi.org/10.3934/jdg.2019008>
4. De Raco, S.A., Semeshenko, V.: The network structure of inter-industry labor mobility in Argentina. In: 6th Regulating for Decent Work Conference. ILO, Geneva (2019)
5. Dehmer, M., Emmert-Streib, F., Kilian, J.: A similarity measure for graphs with low computational complexity. *Appl. Math. Comput.* **182**, 447–459 (2006)

6. Donnat, C., Holmes, S.: Tracking network dynamics: A survey using graph distances. *The Annals of Applied Statistics* **12**(2), 971–1012 (2018). <https://doi.org/10.1214/18-AOAS1176>
7. Fabrizi, E., Mussida, C.: The determinants of labour market transitions. *GIORNALE DEGLI ECONOMISTI E ANNALI DI ECONOMIA* **68**, 233–265 (2009)
8. Gao, X., Xiao, B., Tao, D., Li, X.: A survey of graph edit distance. *Pattern Anal. Appl.* **13**, 113–129 (2010)
9. Gianelle, C.: Discovering the regional small world of labour mobility. Evidence from linked employer–employee data. *Regional Studies* **48**(7), 1263–1278 (2014). <https://doi.org/10.1080/00343404.2012.697993>
10. Schieber, T.A., Carpi, L., Díaz-Guilera, A., Pardalos, P.M., Masoller, C., Ravett, M.G.: Quantification of network structural dissimilarities. *Nat Commun* **8**(13928) (2017). <https://doi.org/10.1038/ncomms13928>
11. Semeshenko, V., De Raco, S.A.: Analysis of the evolution of labor market flows in Argentina. *Proceedings 50 JAIIO-AGRANDA* pp. 20–24 (2021)