



Paakat: Revista de Tecnología y Sociedad
e-ISSN: 2007-3607
Universidad de Guadalajara
Sistema de Universidad Virtual
México
paakat@udgvirtual.udg.mx

Año 10, número 19, septiembre 2020-febrero 2021

Políticas públicas y redes para el desarrollo de las tecnologías 4.0 en Chile¹

Public policies and networks for the development of 4.0 technologies in Chile

Francisco Eduardo Gatica Neira*
<https://orcid.org/0000-0002-1968-9384>
Universidad del Bío-Bío, Chile

Mario Alejandro Ramos Maldonado**
<https://orcid.org/0000-0001-9498-6373>
Universidad del Bío-Bío, Chile

[Recibido 20/11/2019. Aceptado para su publicación 12/05/2020]
DOI: <http://dx.doi.org/10.32870/Pk.a10n19.475>

Resumen

Este artículo analiza las políticas públicas y las redes para el desarrollo de las tecnologías 4.0 en Chile, a partir del estudio de la cartera de proyectos FONDEF-IDEA, desde 2012 a 2017. Mediante un análisis sintáctico de los títulos, objetivos y resúmenes se seleccionaron las iniciativas específicas que tienen directa o indirecta aplicación de las tecnologías 4.0, sobre una base inicial de 530 iniciativas públicas. Se analizaron las diferentes especializaciones sectoriales y la red social. Nuestra conclusión es que todavía no observamos al nivel de políticas públicas en Chile una estrategia que estimule el desarrollo descentralizado de estas nuevas tecnologías. Se comprueba una alta centralidad en la red de las aplicaciones de sensores en la minería del cobre, del monitoreo y la conversión del dato a la información, existiendo todavía una importante brecha a ser cubierta por las políticas públicas. A nuestro juicio es urgente contar con una estrategia de desarrollo tecnológico que acorte la brecha con los países que se encuentran en una etapa más avanzada.

Palabras clave

Cambio tecnológico; política tecnológica; capital social; Chile.

Abstract

This article analyzes public policies and networks for the development of 4.0 technologies in Chile, based on the study of the FONDEF-IDEA project portfolio, from 2012 to 2017. Through a syntactic analysis of the titles, objectives and summaries, they selected the specific initiatives that have direct or indirect application of 4.0 technologies, on an initial basis of 530 public initiatives. The different specializations and the social network were analyzed. Our conclusion is that we do not observe at the public policy level in Chile a strategy that stimulates the decentralized development of these new technologies. There is a high centrality in the network of sensor applications in copper mining, monitoring and the conversion of data to information, there is still an important gap to be covered by public policies. In our opinion, it is urgent to have a technological development strategy that narrows the gap with the countries that are already in the lead.

Keywords

Technological change; technology policy; social capital; Chile.

Introducción

La irrupción de las tecnologías 4.0 cambiará de manera significativa las cadenas de valor (Tirole, 2017), lo que permite el nacimiento de nuevos modelos de negocios y genera nuevas demandas sobre la mano de obra, ya sea por las nuevas destrezas requeridas como por el posible aumento en la tasa de desocupación (Nedelkoska & Quintini, 2018).

En este contexto, el Estado debe asumir un rol activo mediante la creación de nuevas empresas a partir de modelos de negocios centrados en las tecnologías 4.0, la generación de condiciones para estimular la adopción tecnológica en las pequeñas y medianas organizaciones productivas ya existentes y la adaptación del sistema educativo en sus diferentes niveles formativos para explotar al máximo las nuevas oportunidades tecnológicas.

Este trabajo analiza un instrumento de política pública orientado al desarrollo tecnológico estudiando el grado de articulación entre diferentes actores públicos y privados alrededor de estas nuevas tecnologías. Nuestra principal conclusión es que en el caso chileno no se observa un desarrollo tecnológico que permita asumir los desafíos que impone la cuarta revolución industrial.

Se comprueba que solo el 10.4% de los proyectos FONDEF-IDEA 2012-2017 se vincula con las tecnologías 4.0, lo que evidencia la ausencia de una política pública que estimule decididamente el desarrollo estratégico de este sector. Se descubre también que estas iniciativas públicas están fuertemente concentradas en la capital nacional, por lo que las instituciones regionales son las más

desfavorecidas en la adjudicación de estos proyectos. Se constata una fuerte inversión de sensores para la minería, siendo este sector económico el que explica 55% del total de exportaciones chilenas.

La revisión teórica comprueba que nos encontramos en una fase de “dispersión creadora”, donde a mediano plazo veremos el nacimiento de nuevas tecnologías, fusión de otras y reposicionamiento a partir de nuevas aplicaciones y desarrollos. Con la información disponible se identifica un conjunto de tecnologías 4.0 que tienen una importante capacidad difusora porque se encuentran en varios sectores económicos. Estas tecnologías presentan una interesante oportunidad para la inversión pública permitiendo la focalización estratégica en algunas tecnologías, maximizando el impacto difusor al resto de la economía.

La estructura del trabajo se organiza de la siguiente manera: en principio se realiza una revisión bibliográfica orientada a profundizar en la definición de las tecnologías 4.0, se indaga en diferentes investigaciones donde se constata la importancia de las redes para las empresas innovadoras. Posteriormente, se muestran los resultados del análisis previo de la base de datos, identificando la importancia de las tecnologías 4.0 sobre el total de iniciativas adjudicadas, se presenta la distribución institucional y regional de los proyectos. En un cuarto capítulo aparece la metodología, desarrollada en dos ejes: el análisis de palabras, usando el *software* libre DBA Miner Lite, y el estudio de las redes sociales usando el *software* libre UCINET.

En el estudio de campo se visualiza la red tecnológica y se identifican algunos elementos de su arquitectura: clúster y centralidad a partir de diferentes indicadores. Finalmente, se presentan las conclusiones donde vemos la urgencia de contar con una estrategia de desarrollo tecnológico, que actúe de forma proactiva y que abra nuevos ámbitos de aplicación que maximicen el impacto difusor de las tecnologías 4.0.

Revisión teórica

A continuación, se presenta una revisión bibliográfica a partir de dos ejes. En principio, se definen las tecnologías 4.0 exponiendo sus principales características, las configuraciones y el mapa tecnológico. Posteriormente, se revisan algunos estudios que han abordado la difusión de estas tecnologías.

Los campos tecnológicos emergentes 4.0

Desde que el gobierno alemán definiera a la industria 4.0 como un objetivo estratégico, tenemos una explosión de nuevas invenciones y desarrollos, generando "bordes difusos" en este nuevo campo de avance tecnológico. En una primera revisión bibliográfica, Hermann, Pentek & Otto (2015) identifican seis principios básicos que cruzan transversalmente estas nuevas tecnologías:

- 1) Modularidad para adaptarse flexiblemente a los cambios de requerimientos.
- 2) Orientación al servicio, cruzando a varias empresas mediante el internet de las cosas (IoT, en inglés).
- 3) Capacidad en tiempo real, lo que implica contar con datos y análisis instantáneos.
- 4) Descentralización, al contar con equipos que pueden captar datos, generar información, tomar decisiones e implementar físicamente soluciones en todas las partes del proceso productivo.
- 5) Virtualización, donde con una copia del mundo físico puede facilitar la comunicación con las demás personas.
- 6) Interoperatividad, donde por la vía del internet de las cosas y el internet del servicio (IoS) hay una comunicación instantánea entre varias partes del proceso, pudiendo extenderse fuera de una empresa particular.

Estos principios no son exclusivos de la industria, entendida habitualmente como la manufactura, sino que responden a un nuevo enfoque de hacer las cosas y están presentes en ámbitos diversos como la agricultura, el retail, la educación, el sector de la salud, entre otros.

Por tanto, resulta pertinente hablar de aplicaciones tecnológicas 4.0, como aquellas que permiten operar de una manera descentralizada, trabajando en una circularidad entre sistemas físicos-digitales-físicos (PDP) (Cotteleer & Sniderman, 2017). Específicamente, son sistemas que capturan la información del mundo físico para luego crear un registro digital que es distribuido a una red que la visualiza en tiempo real y que, mediante algoritmos, se generen soluciones que vuelven del ambiente digital al físico, cerrando el ciclo.

En definitiva, estamos ante un "nueva forma de trabajo", que se soporta en tecnologías 4.0, y que actúa en las denominadas "5 C" de la arquitectura de implementación tecnológica (Lee, Bagheri & Kao, 2015).

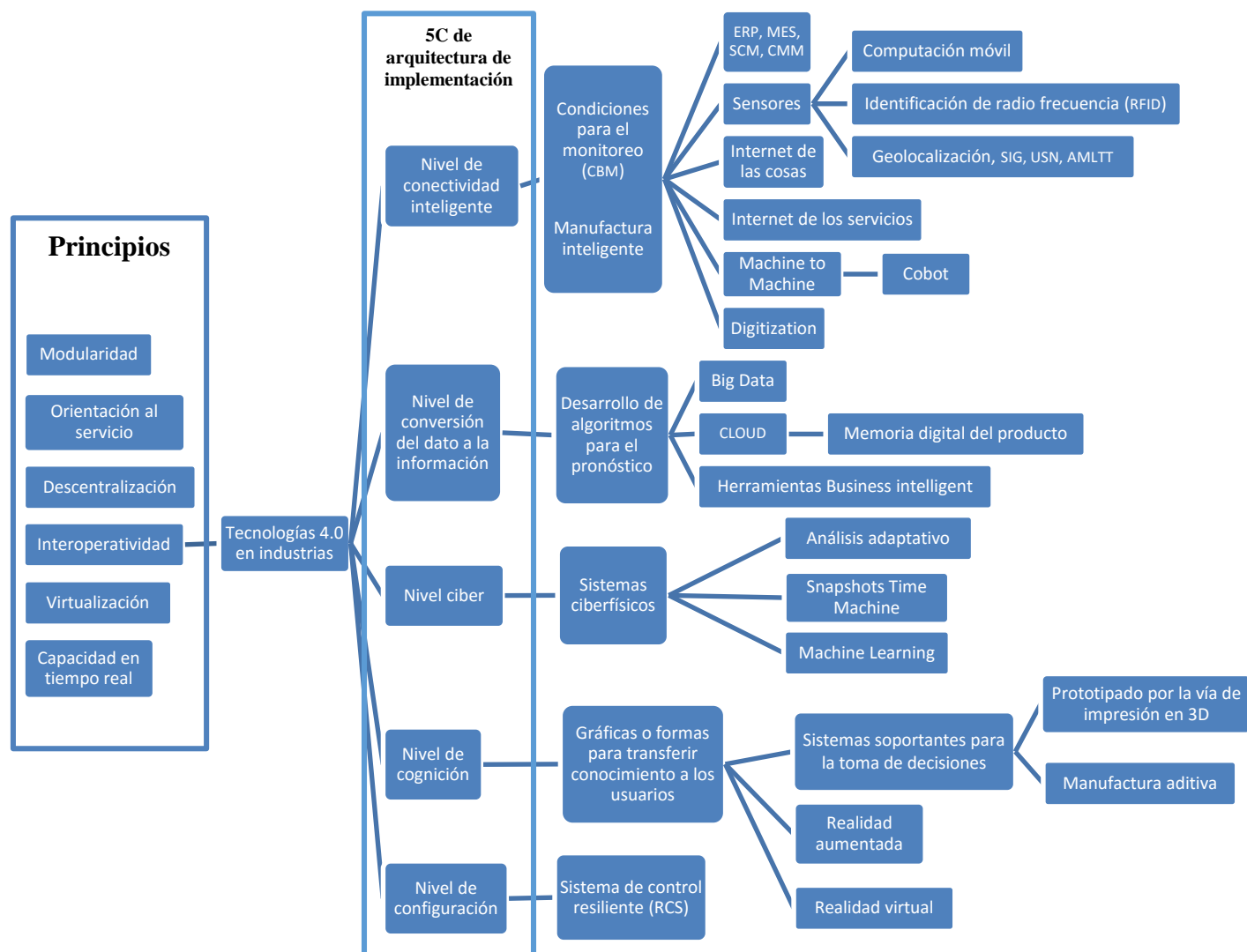
- *Conexión inteligente*. Lo que implica la incorporación de sensores en todo el proceso para contar con una condición de monitoreo básico (CBM). En este nivel tenemos redes de sensores, *plug and play*, comunicación libre, ERP, MES, SCM, CMN, entre otros.
- *Conversión de datos a información*. En este nivel tenemos herramientas de *Business intelligence* (BI), que permiten capturar los datos recogidos por los sensores y almacenarlos en un *data warehouse*, para luego cruzar estos datos mediante los Cubos Olap o el Big Data.
- *Cyber level*. Permite el agrupamiento y la comparación de la información contenida en los sistemas ciberfísicos (CPS) para orientarlos a la toma de decisiones.
- *Cognition level*. Donde se prioriza y se toman decisiones mediante la representación gráfica necesaria para transferir conocimiento a los usuarios.
- *Configuration level*. Esta etapa actúa como un sistema de control de resiliencia para aplicar las decisiones correctivas o preventivas.

El mapa tecnológico, contenido en la figura 1, se construye mediante una revisión bibliográfica sintetizando las ideas desarrolladas por Hermann, Pentek & Otto (2015), Dallasega, Erwin & Linder (2018), Qin, Liu & Grosvenor (2016), Lee, Bagheri & Kao (2015) y Lasi *et al.* (2014). En este sentido, se pueden anticipar cambios significativos en los próximos años, ubicándonos actualmente en una etapa de “dispersión creadora”, lo que hace difícil clasificar definitivamente las tecnologías 4.0.

En este contexto, el Foro Económico Mundial ha difundido ampliamente la cuarta revolución industrial (Schwab, 2016) con el desarrollo de nuevas tecnologías que permiten digitalizar y sensorizar los diferentes eslabones de la cadena de valor (Tirole, 2017). Ante este desafío, las políticas públicas han sido relativamente ortodoxas. Calderón, y Castells (2016) plantean que, para el caso chileno, existe todavía una “mentalidad neoliberal” que impregna el Ministerio de Economía, lo que deja a la modernización tecnológica en manos del mercado y, por tanto, resulta ineficaz según el sector y socialmente desigual desde el punto de vista territorial.

Chile tiene una oportunidad histórica en la recientemente promulgada Ley 21.105 que crea por primera vez el Ministerio de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación, para que, a partir del reconocimiento de ciertas apuestas territoriales y tecnológicas específicas, se generen un conjunto de iniciativas que sirvan de insumos para la modernización productiva la que se verá acelerada por la cuarta revolución industrial.

Figura 1. Síntesis mapa conceptual de tecnologías 4.0



Fuente: elaboración propia a partir de la revisión bibliográfica.

Propuesta metodológica: Taller de Comunicación Participativa y TIC

A continuación, se revisan algunos estudios que relacionan a las empresas intensivas en conocimiento con las redes de innovación. En principio, Malerba & McKelvey (2020), a partir de los enfoques shumpeteriano, evolucionista y los sistemas de innovación, plantea que el empresario intensivo en conocimiento no actúa aislado del entorno innovador. A partir de encuestas aplicadas a 4 004 empresas de la Unión Europea, de las cuales 2 454 eran intensivas en conocimiento, se comprueba que hay una valoración positiva en este tipo de empresas por acceder a fuentes externas de conocimiento, en especial por participar en diversas redes nacionales, regionales y sectoriales de innovación.

En la misma línea tenemos el trabajo de Vowles, Thirkell & Sinha (2011), donde se analizan los factores que determinan la adopción de innovaciones radicales en 220 empresas neozelandesas, específicamente la adopción de plataformas B2B. Entre las conclusiones se destaca la importancia que tienen las redes para que el empresario adopte innovaciones más radicales.

Por su parte, Horrillo-Tello y Lladós-Masllorens (2018), mediante el análisis de ecuaciones estructurales para las diferentes regiones de la Unión Europea, concluye que el entorno institucional innovador facilita la absorción de las nuevas tecnologías 4.0 en los diferentes territorios. Mientras que Huggins, Prokop & Thompson (2019) profundiza empíricamente en la centralidad de las universidades en las redes de innovación, estudiando la arquitectura y la posición estratégica de los diferentes nodos para explicar los entornos innovadores.

Asimismo, Falabella y Gatica (2017) analiza las redes tecnológicas chilenas en forma dinámica, comparando la configuración de la red alrededor de la investigación y desarrollo de las tecnologías de la información y comunicación (TIC). En este sentido, hay una vinculación entre el desarrollo de las TIC con el nivel de difusión de las industrias 4.0. Nhamo, Nhemachena & Nhamo (2020) analiza la base TIC de 212 países y concluyen que una baja capacidad en las TIC anticipa una lenta difusión de las industrias 4.0.

Otra dimensión de análisis lo constituye el estudio de los campos tecnológicos. Se destaca el trabajo de Cortés-Sánchez (2019), donde a partir del análisis sobre una base de publicaciones científicas (Scopus) vinculadas a la economía, los negocios y la gestión, constata que en Latinoamérica no hay todavía un desarrollo de la temática industria 4.0, pese a ser un campo de investigación importante en los países desarrollados. Este trabajo aborda la distribución de las publicaciones por institución, la evolución y la generación de redes a partir de las co-citaciones.

Maresova *et al.* (2018) analiza las publicaciones indexadas (WoS, Scopus) y comprueba que la temática de la industria 4.0 no ha sido abordada en profundidad. Surgen temas como el desarrollo de nuevos modelos de negocios, la reconversión de la mano de obra y el ajuste de las cuentas nacionales para medir la actividad.

De la revisión de los casos podemos concluir:

- El análisis de las redes permite identificar los elementos que determinan los espacios de innovación.
- Se debe analizar el desarrollo de los campos tecnológicos, ya sea desde un punto de vista dinámico, como las posibles intersecciones o coincidencias de diferentes tecnologías.

A partir de estos dos ejes el objetivo de este trabajo es identificar en qué medida las tecnologías 4.0 son difundidas en las redes tecnológicas nacionales. Nuestra hipótesis es que Chile no presenta una estrategia focalizada para desarrollar las tecnologías 4.0, centrándose hasta ahora en los aspectos vinculados al monitoreo y conversión del dato-información para el sector minero. Lo anterior genera brechas a ser cubiertas por una política pública más activa, que actúe con un criterio descentralizado, en el contexto incierto de una “dispersión creadora”.

Este estudio analiza solo la parte visible de la inversión global en desarrollo tecnológico, considerando tangencialmente la inversión privada. Aquellas empresas que tienen suficientes economías de escalas, como para soportar laboratorios de I+D en su interior o las organizaciones privadas basadas en ciencia (ver Pavitt, 1984; Bogliacino & Pianta, 2016), son indirectamente captadas por los proyectos FONDEF-IDEA debido a que estos instrumentos de política pública solicitan recursos pecuniarios y son valorados como contraparte.

Análisis de los resultados

Se trabajó sobre la base global de proyectos FONDEF-IDEA de la Comisión Nacional de Ciencia y Tecnológica (CONICYT), dependiente del Ministerio de Educación del Gobierno de Chile. La base contiene un total de 530 proyectos entre los años 2012 y 2017. Para identificar los proyectos que están vinculados con las tecnologías 4.0 se generó una lista de conceptos (anexo 1) a partir del mapa conceptual presentado anteriormente (figura 1).

En principio, se realizó una “búsqueda sintáctica” llegando a 20 proyectos con coincidencias.² Con este resultado, y considerado que estamos ante un campo tecnológico emergente, se realizó una “revisión exhaustiva” para recoger más

ampliamente aquellas iniciativas que utilicen las tecnologías 4.0. Esta revisión se hace proyecto por proyecto con ayuda del *software* DBA Miner Lite (Provalis Reserch, s/f).

De la búsqueda exhaustiva se detectaron 35 proyectos (ver tabla 1) que tienen algún desarrollo de la naturaleza 4.0. Considerando ambas búsquedas (sintáctica y exhaustiva) se llega a una base de 55 iniciativas de desarrollo tecnológico, lo que representa un 10.4% del total. La tasa de crecimiento anual promedio de los proyectos es del 30%, pasando del 7.3% del total de iniciativas adjudicadas al 14%. De estos datos surge una primera conclusión. El Estado Chileno, mediante su política pública para estimular el desarrollo tecnológico, no presenta una preferencia clara para apoyar a estas tecnologías a partir de los resultados obtenidos entre 2012 y 2017.

Tabla 1. Proyectos vinculados a las tecnologías 4.0

Años	Proyectos analizados	Detección sintáctica	Detección por búsqueda exhaustiva	Totales	Porcentaje proy. 4.0 sobre total	Tasa de crecimiento en la disciplina (%)
2017	74	2	8	10	14	-44
2016	139	7	11	18	13	100
2015	98	5	4	9	9	13
2014	88	4	4	8	9	33
2013	76	1	5	6	8	50
2012	55	1	3	4	7	n/a
Total	530	20	35	55	10.4	n/a
					Promedio tasa de crecimiento	30

Fuente: elaboración propia a partir de listado de proyectos FONDEF-IDEA.

Nota: n/a = no aplica.

A continuación, se desarrolla el análisis exploratorio que permite identificar las principales áreas y las instituciones más frecuentemente adjudicadas.

Respecto a las áreas de desarrollo

El campo áreas de desarrollo es definido en cada proyecto y es un indicador indirecto de especialización (tabla 2).

Tabla 2. Distribución de proyectos vinculados a las tecnologías 4.0 (por área)

Áreas según clasificación	Número de proyectos según área	Porcentaje según número de proyectos	Monto total invertido (M\$)	Porcentaje según total invertido	Promedio por proyecto
Adulto mayor	1	1.8	\$ 149 986	1.9	\$ 149 986
Agropecuaria	2	3.6	\$ 260 891	3.2	\$ 130 446
Educación y Ciencias Sociales	7	12.7	\$ 1 051 040	13	\$ 150 149
Energía y agua	3	5.5	\$ 544 879	6.8	\$ 181 626
Infraestructura	1	1.8	\$ 118 362	1.5	\$ 118 362
Manufactura	2	3.6	\$ 264 229	3.3	\$ 132 115
Minería	14	25.5	\$ 2 055 815	25.5	\$ 146 844
Pesca y Acuicultura	3	5.5	\$ 420 629	5.2	\$ 140 210
Salud	2	3.6	\$ 253 424	3.1	\$ 126 712
Tecnología de la información y comunicaciones	20	36.4	\$ 2 952 449	36.6	\$ 147 622
Total general	55	100	\$ 8 071 704	100	\$ 1 424 072
Promedio por proyecto					\$ 146 758

Fuente: elaboración propia.

A partir del análisis de la distribución de la cartera de proyectos se presentan las siguientes conclusiones:

- La principal área de desarrollo se centra en las TIC, explicando un 36.4% de las iniciativas. Las tecnologías 4.0 se dan en el contexto de las TIC y tienen un desarrollo tecnológico “concéntrico”, como una condición previa para el desarrollo posterior en otros sectores, y que también fue observado por Nhamo, Nhemachena & Nhamo (2020); sin embargo, por la naturaleza de estas tecnologías, a nuestro juicio los actuales criterios de clasificación usados por el CONICYT deben cambiar para separar esta agrupación, facilitando con esto la entrega de información para la toma de decisiones.
- En la segunda área se encuentran las aplicaciones en la minería, lo que es convergente con la importancia de esta actividad en la canasta exportadora nacional. Este sector explica 25.5% del total de proyectos y presenta una inversión pública de MM\$2.055 en los seis años analizados.
- En un tercer orden destacan los proyectos dedicados al área de la educación, explicando 12.7% del total. Este desarrollo es coincidente con la mayor

atención social generada en materia de educación a partir de las movilizaciones estudiantiles de 2011.

- El sector manufacturero explica solo 2% de los proyectos de desarrollo en tecnologías 4.0. Lo anterior revela que el concepto “Industria 4.0”, por sí solo no permite englobar el verdadero impacto de estas tecnologías.
- Finalmente, hay un solo proyecto en la línea “Adulto mayor”. Este ámbito de aplicación tecnológica debería crecer en el tiempo a partir del cambio demográfico que se está experimentando en el país.

Respecto a las instituciones favorecidas

En relación con la institución beneficiaria principal tenemos que 15 universidades se distribuyen los 55 proyectos. En una primera revisión podemos constatar:

- Una alta concentración de los proyectos en las universidades de Chile (29.1%), la Pontificia Universidad Católica de Chile (12.7%) y de Santiago (10.9%). Estas tres instituciones explican 52% de los proyectos vinculados a las tecnologías 4.0, en el período 2012 y 2017 (tabla 3). Lo anterior puede tener tres explicaciones:
 - La existencia de “trayectorias dependientes”, donde la adjudicación de nuevos proyectos surge de las ventajas tecnológicas ganadas por iniciativas anteriores en un campo determinado.
 - Las posibles “diferenciales de confianza” que se produce en algunos actores claves. Hay que considerar que los proyectos FONDEF-IDEA requieren de apalancar recursos valorados y frescos por parte de las empresas.
 - La existencia de un “apoyo estratégico discrecional” producto de la influencia de un grupo de presión, que puede operar sobre algunas iniciativas para que salgan ganadoras en los procesos de evaluación.
- El 61% de los recursos institucionales están invertidos en universidades de la Región Metropolitana (Santiago de Chile, Capital Nacional). El 39% restante se distribuyen en las demás regiones del país. La concentración geográfica se explica por los elementos que están fuera del proyecto: trayectorias dependientes, diferenciales de confianza y apoyo estratégico que favorecen aún más la concentración geográfica, operando un efecto acumulativo en el tiempo.

Este centralismo produce pérdida de externalidades tecnológicas positivas y, por tanto, de eventuales sinergias porque separa geográficamente la labor investigativa de la localización de los procesos productivos, generando una tensión

entre la proximidad geográfica y la proximidad cognitiva y tecnológica (Carrincazeaux, Lung & Vicente, 2008; Boix *et al.*, 2015; Gong & Hassink, 2017). Lo anterior constituye una limitante del modelo de crecimiento chileno, con lo que se impide aprovechar de manera más intensa los diferentes aprendizajes interactivos que se generan en la proximidad geográfica de las actividades de investigación y producción.

Tabla 3. Distribución de proyectos vinculados a las tecnologías 4.0

Institución beneficiaria	Número de proyectos según institución	Porcentaje por institución	Monto total invertido (M\$)	Porcentaje según total invertido
Pontificia Universidad Católica de Chile	7	12.7	\$ 986 942	12.2
Universidad Austral de Chile	1	1.8	\$ 149 997	1.9
Universidad Católica del Maule	1	1.8	\$ 115 000	1.4
Universidad Católica del Norte	3	5.5	\$ 489 154	6.1
Universidad de Chile	16	29.1	\$ 2 398 612	29.7
Universidad de Concepción	5	9.1	\$ 733 980	9.1
Universidad de la Frontera	3	5.5	\$ 445 747	5.5
Universidad de la Serena	1	1.8	\$ 148 501	1.8
Universidad de los Andes	2	3.6	\$ 399 514	4.9
Universidad de Santiago de Chile	6	10.9	\$ 853 308	10.6
Universidad de Talca	1	1.8	\$ 67 816	0.8
Universidad de Valparaíso	2	3.6	\$ 253 216	3.1
Universidad del Bío-Bío	1	1.8	\$ 149 229	1.9
Universidad Santo Tomás	2	3.6	\$ 266 196	3.4
Universidad Técnica Federico Santa María	4	7.3	\$ 614 492	7.6
Total general	55	100	\$ 8 071 704	100

Fuente: elaboración propia.

Metodología

El objetivo de este trabajo es identificar en qué medida las tecnologías 4.0 se están incorporando a las redes tecnológicas nacionales. Con este fin se generan dos ejes de análisis:

- Primer eje: identificación de tecnologías y sectores de aplicación para cada proyecto FONDEF-IDEA adjudicado entre 2012 y 2017. Con este fin se analizan las palabras utilizando el *software* libre DBA Miner Lite que facilita la codificación y la búsqueda selectiva de textos.
- Segundo eje: análisis de redes tecnológicas, a partir de la codificación generada anteriormente, usando el *software* UCINET, con el objetivo de identificar los posibles conglomerados de tecnologías, la centralidad, los vínculos fuertes y los débiles.

A continuación, se presenta el instrumental metodológico para cada eje de análisis:

- Está asociado a la identificación de una frecuencia de ocurrencia de las tecnologías 4.0 que aparezcan, ya sea en el título, los objetivos y el resumen de los diferentes proyectos FONDEF-IDEA, utilizando el *software* DBA Miner Lite.³ Hay que consignar que un proyecto puede contener varias tecnologías 4.0 y paralelamente estar presente en varios sectores de aplicación, por lo tanto el número de tecnologías y sectores citados superan la cantidad total de proyectos analizados.

Para efectos prácticos se generaron los siguientes pasos:

- a) Se generó un listado de tecnologías 4.0 a encontrar a partir de la revisión bibliográfica (anexo 1).
 - b) Se analizaron exhaustivamente los proyectos buscando codificar los párrafos atinentes a cada tecnología y cada sector de aplicación.
 - c) Se vaciaron los resultados de la búsqueda a una matriz de co-ocurrencia de códigos en una planilla Excel.
- Con estos antecedentes se analiza la distribución de los sectores de aplicación y la aparición real de las tecnologías 4.0 en la cartera de proyecto contemplada. Se presenta una visión de la red generada alrededor de las tecnologías 4.0, a partir de los 55 proyectos anteriormente analizados. Para este fin, se utilizó el *software* libre especializado en el análisis de las redes sociales UCINET.⁴ A partir de la matriz de co-ocurrencia, generada en el punto anterior, se construyó una matriz simétrica que conecta a diversas instituciones y tecnologías.
 - En principio, se calcula el grado de centralidad a partir de dos indicadores usualmente utilizados en el análisis de redes (Hanneman & Riddle, 2005; Borgatti & Everett, 1997):
 - *Degree*: es el grado normalizado de centralidad de cada vector. La normalización de este ratio se produce cuando se divide este número por el máximo valor posible, expresándose en porcentaje. $Degree = (C(v_i) / C.Max)$. Donde v_i, v_{ii}, \dots, v_n son vértices; $C(v_i)$:

número de contacto del vértice o nodo i y C_{Max} : número máximo de contacto posible.

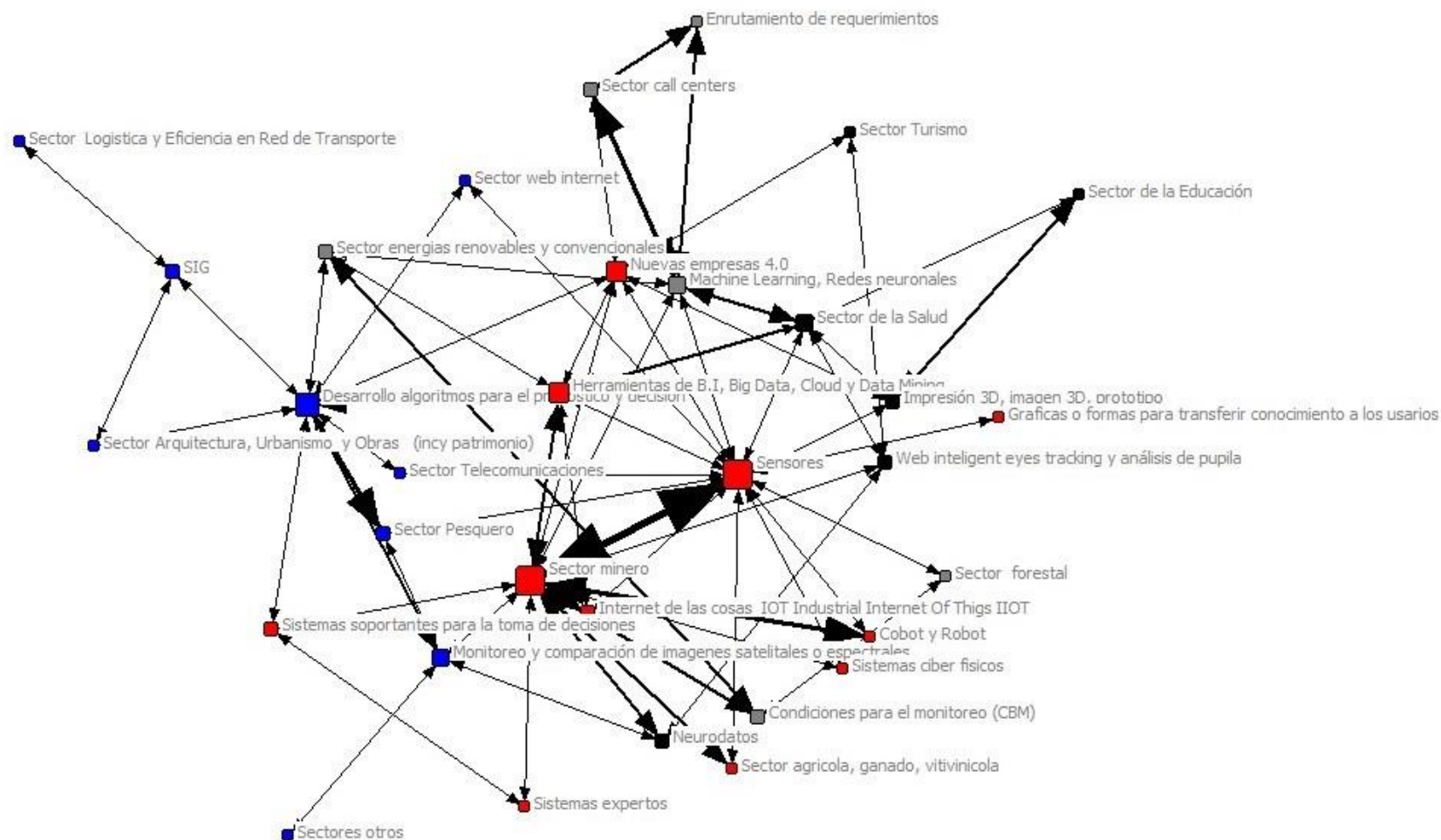
- *Betweenness*: es el grado normalizado de intermediación que puede tener cada vértice. En el fondo es la proporción de todos los “camino geodésicos” que conectan el vértice j y el vértice k , los cuales pasan por el vértice i . $Betweenness = \sum g_{ikj} / g_{ij}$. Donde: g_{ij} es el número de caminos geodésicos de i a la j y g_{ikj} es el número de esos caminos que pasan a través de k .
- En segundo lugar, se identifican los lazos o vínculos más fuertes a partir del número de proyectos en la relación área tecnológica e institución. Lo anterior es especialmente visible en la figura 2.
- En tercer lugar, se determinan los subgrupos, los que son un conjunto de nodos que están más estrechamente vinculados entre sí. Según Borgatti & Everett (1997), para la identificación de estos subgrupos el *software* UCINET aplica una “rutina de partición del diagrama de entrada”, usando un algoritmo de optimización de combinación llamado Tabu Search.

Finalmente, el análisis de ocurrencia y las redes de actores no permiten inferir el éxito final de cada uno de los proyectos analizados. Lo anterior, ciertamente constituye una limitación de este informe, la que será subsanada en una segunda etapa de la investigación una vez que maduren las iniciativas analizadas. Hay que consignar que el 67% de los proyectos analizados se desarrolla a partir de 2015, por tanto no ha pasado suficiente tiempo como para alcanzar resultados concretos de cada iniciativa (nuevas empresas, patentes, nuevas aplicaciones, etcétera).

Análisis y resultados

Sectores, aplicaciones tecnológicas y redes a partir del contenido de los proyectos

A continuación, se presenta el análisis de palabras usando el *software* DBA Miner Lite a partir de la revisión exhaustiva de los proyectos FONDEF-IDEA (2012-2017), y en un segundo punto se identifican los subgrupos y su peso difusor al interior de la red tecnológica 4.0.

Figura 2. Red de vinculaciones tecnológicas

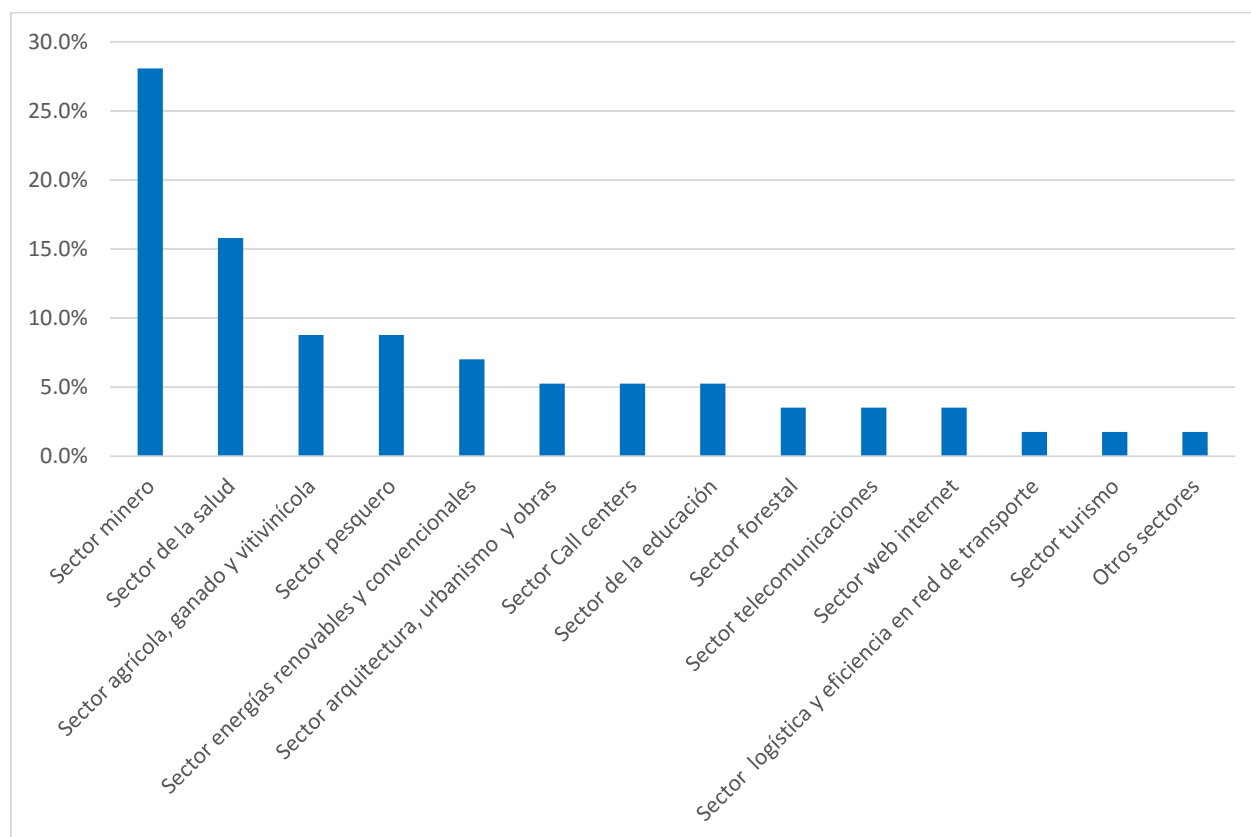
Fuente: elaboración propia usando UCINET.

Respecto a la distribución de los sectores de aplicación

Un primer resultado es la distribución de los sectores de aplicación que se pueden deducir de la lectura de los proyectos, al respecto comprobamos (gráfica 1):

- 1) Del total de sectores de aplicación, el 27% de los casos está vinculado a la minería del cobre. Hay que consignar que el Estado definió para este sector una línea prioritaria de proyectos FONDEF-IDEA, a partir de los ejes estratégicos nacionales. Más adelante el lector comprobará que parte de las tecnologías desarrolladas en la minería tienen aplicaciones en otros rubros económicos nacionales, constituyendo una oportunidad para aprovechar las externalidades tecnológicas positivas, a partir de las relaciones insumo-producto, a toda la red de proveedores del sector.

Gráfica 1. Distribución porcentual de los sectores de aplicación de las tecnologías 4.0



Fuente: elaboración propia.

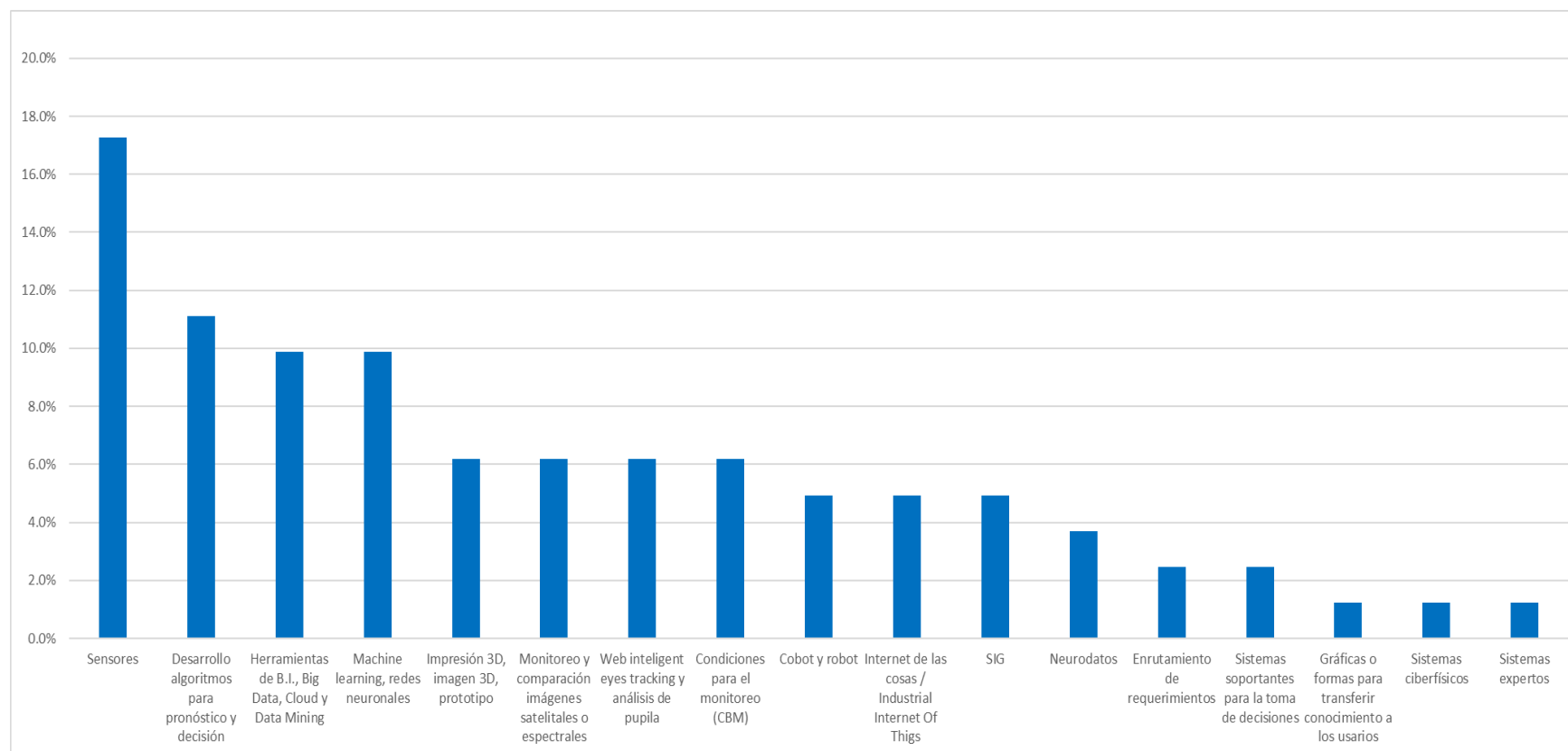
- 2) En un segundo lugar se encuentra el sector de la salud, donde se tiene un conjunto de aplicaciones vinculadas con la educación de las ciencias médicas. Este es un sector emergente, en especial por las aplicaciones de la impresión en 3D, análisis de redes neuronales, entre otros.
- 3) En un tercer orden tenemos dos sectores: agrícola, ganadería y vitivinícola, y el pesquero, donde ambos bloques presentan cinco iniciativas, destacando las aplicaciones de sensores, internet de las cosas y el desarrollo de algoritmos para el pronóstico y la decisión.
- 4) En las cuatro primeras áreas de aplicación tenemos un 61% del total de sectores mencionados en la cartera de proyectos FONDEF-IDEA.
- 5) En los otros diez sectores de aplicación tenemos explicado el 32% de la cartera de proyectos. En este bloque están los sectores: forestal, turísticos, telecomunicaciones, entre otros.

Respecto a las principales tecnologías

A partir de los resultados se presentan sintéticamente los principales sectores de aplicación por cada tecnología 4.0 que superen el 6.0% (gráfica 2).

- El desarrollo más importante en las tecnologías 4.0 son las aplicaciones alrededor de los sensores, explicando 17.3 % del total de apariciones.
- Una segunda tecnología desarrollada son los algoritmos para el pronóstico y la decisión la que aparece mencionada en nueve oportunidades y representa 11.1% del total analizado.
- La tercera tecnología 4.0 son las herramientas de *Business Intelligence* (BI), Big Data, Cloud y Data Mining, las que explican 9.9% del total.
- En el cuarto ámbito están los sistemas *machine learning* y las redes neuronales, representando el 9.9% del total, con ocho apariciones.
- En el sexto bloque tenemos impresión en 3D, imágenes en 3D y desarrollo de prototipos. Esta rama aparece en cinco ocasiones y representa el 6.2% del total de ocurrencias en el bloque de proyectos analizados.
- En un mismo nivel tenemos el monitoreo y comparación de imágenes satelitales o espectrales, que pesa un 6.2 % del total de las apariciones.
- También, en mismo nivel de importancia, está el *web intelligent Eye Tracking* y análisis de pupilas, con un peso de 6.2% sobre el total.
- Las condiciones para el monitoreo (CBM) representan un 6.2%.

A continuación, se entrega una visión complementaria al análisis de ocurrencia. Se presenta el análisis de redes identificando los niveles de proximidad y las diferentes intensidades en las vinculaciones al interior de la red tecnológica.

Gráfica 2. Distribución porcentual de tecnologías 4.0

Fuente: elaboración propia.

Arquitectura de la red tecnológica: subgrupos, centralidad y vínculos débiles

La visión de la red no está centrada en un nodo particular, sino en la configuración global actual, analizando los elementos de arquitectura de la red con la identificación de los diferentes subgrupos, centralidades y vínculos débiles.

En la tabla 4 se identifican cuatro subgrupos de relaciones de sector de aplicación-tecnologías, con una tasa de proporción correcta de 80%, lo que evidencia la bondad del algoritmo de conglomeración. También se presenta para cada tecnología y sector de aplicación entre paréntesis las medidas de centralidad identificando la potencialidad difusora de cada subgrupo. Asimismo, para identificar mejor las relaciones, se presenta la figura 2, donde se muestran los subgrupos y la centralidad de la red tecnológica alrededor de las industrias 4.0.

A continuación, se presentan los siguientes resultados:

- Se visualiza un primer subgrupo dominado por el sector de las energías renovables y convencionales, los *call center* y el sector forestal. En esta facción hay una mayor vinculación con las tecnologías *machine learning* y las redes neuronales, también es interesante lo asociado al monitoreo y el enrutamiento de requerimientos. La suma de todas las mediciones de centralización del subgrupo la ubica en la última posición ($\Sigma Degree = 25$), lo que representa 17% del total de la red. El grado de intermediación ($\Sigma Betweenness = 92.5$) revela que este subgrupo tiene un bajo peso estratégico. Su existencia explica 13% del total de caminos geodésicos de la red. Al analizar la tabla 4 y la figura 2 se comprueba que los nodos de este subgrupo (marcados con gris) están en la periferia de la red y existe un bajo nivel de interrelación en su interior.
- El segundo subgrupo es el más importante de la red de tecnologías 4.0. En este conglomerado tenemos el sector minero. El binomio minería-sensores es el corazón de la red tecnológica 4.0, entre ambos nodos se explica 20% del total de contactos y un 39.2% del total de los caminos geodésicos de la red. En tanto el *degree* y el *betweenness* ubican a este subgrupo claramente en el centro de la red (*degree* = 38% y *betweenness* = 45%). Junto con los sensores, en un segundo nivel de importancia, están las herramientas de Business Intelligent, Big Data, Cloud y Data Mining. En la figura 2 se constata que este subgrupo se ubica en el centro de la red a partir de la ubicación espacial de sus nodos (color rojo). Hay nodos tecnológicos que no tienen todavía potencialidad de intermediación. Específicamente en esta condición están la internet de las cosas, Cobot-Robot, sistemas ciber físicos y sistemas expertos (todos con un $B = 0$). Estos pese a estar en el centro de la red, no presentan capacidad difusora.

Tabla 4. Identificación principal de subgrupo a partir de la relación de sector de aplicación y tecnologías

Subgrupos	Sectores de aplicación (<i>Degree –D- y Betweenness – B-</i>)	Tecnologías 4.0 (<i>Degree –D- y Betweenness –B-</i>)
Subgrupo 1 $\Sigma D = 25$ (17%) ; $\Sigma B = 92.5$ (13%)	<ul style="list-style-type: none"> Sector energías renovables y convencionales (D = 5; B = 20.7) Sector <i>call center</i> (D = 3; B = 0.0) Sector forestal (D = 3; B = 2.0) $\Sigma D = 11; \Sigma B = 22.7$	<ul style="list-style-type: none"> Machine learning y redes neuronales (D = 7; B = 62.3) Condiciones para el monitoreo (D = 4; B = 7.5) Enrutamiento de requerimientos (D = 3; B = 0.0) $\Sigma D = 14; \Sigma B = 69.8$
Subgrupo 2 $\Sigma D = 56$ (38%) $\Sigma B = 320.5$ (45%)	<ul style="list-style-type: none"> Sector minero (D = 15; B = 154.6) Sector agrícola, ganado y vitivinícola (D = 3; B = 0.0) $\Sigma D = 18; \Sigma B = 154.6$	<ul style="list-style-type: none"> Sensores (D = 14; B = 120.8) Herramientas de BI, Big Data, Cloud y Data Mining (D = 7; B = 33.3) Internet de las cosas (IoT), Industrial Internet of Things (IIoT) (D = 4; B = 0.0) Sistemas soportantes para la toma de decisiones (D = 4; B = 11.8) Cobot y robot (D = 3; B = 0.0) Sistemas ciberfísicos (D = 3; B = 0.0) Sistemas expertos (D = 3; B = 0.0) $\Sigma D = 38; \Sigma B = 165.9$
Subgrupo 3 $\Sigma D = 27$ (18%) $\Sigma B = 83.7$ (11%)	<ul style="list-style-type: none"> Sector Salud (D = 7; B = 39.0) Sector de la Educación (D = 3; B = 0.0) Sector Turismo (D = 2; B = 0.0) $\Sigma D = 12; \Sigma B = 39.0$	<ul style="list-style-type: none"> Web intelligent Eyes tracking y análisis de pupila (D = 5; B = 31.2) Impresión 3D, imagen 3D, prototipo (D = 4; B = 9.2) Neurodatos (D = 4; B = 4.3) Graficas o formas para transferir conocimiento a los usuarios (D = 2; B = 0.0) $\Sigma D = 15; \Sigma B = 44.7$
Subgrupo 4 $\Sigma D = 37$ (25%) $\Sigma B = 205.2$ (29%)	<ul style="list-style-type: none"> Sector Pesquero (D = 4; B = 7.4) Sector Arquitectura, Urbanismo y Obras (D = 3; B = 0.0) Sector Telecomunicaciones (D = 3; B = 4.5) Sector web internet (D = 3; B = 4.5) Sectores otros (D = 2; B = 0.0) Sector Logística y Eficiencia en Red de Transporte (D = 2; B = 0.0) $\Sigma D = 17; \Sigma B = 16.4$	<ul style="list-style-type: none"> Desarrollo algoritmos para el pronóstico y decisión (D = 10; B = 115.8) Monitoreo y comparación de imágenes satelitales o espectrales (D = 6; B = 44) SIG (D = 4; B = 29.0) $\Sigma D = 20; \Sigma B = 188.8$
Σ total Degree = 145; Σ total Betweenness = 701.9		

Fuente: elaboración propia a partir de los resultados del *software* UCINET.

- El tercer subgrupo está dominado por el sector de la salud, así como la web intelligent Eyes Tracking y análisis de pupila. Este es un conglomerado de baja importancia en la red tecnológica global. Explica 18% de los contactos

que se dan en la totalidad de la red. Así también el nivel de intermediación que presentan los nodos de este conglomerado suma 11 % del total de la red. Lo anterior evidencia una baja capacidad difusora.

Al revisar la figura 2 comprobamos que los nodos de este conglomerado (teñidos de negro) están en zonas periféricas. En esta figura también destaca la impresión en 3D, imágenes en 3D y prototipos con un interesante nivel de intermediación.

- Finalmente, tenemos el cuarto subgrupo dominado por el sector pesquero y por el desarrollo de algoritmos para el pronóstico y la decisión. Este clúster es el segundo más importante en la red tecnológica global. Sus contactos explican 25% del total según el *degree*. En tanto, si se evalúa la intermediación comprobamos que explica 29% del betweenness total de la red. Llama la atención la alta capacidad difusora que tiene el desarrollo de algoritmos para el pronóstico y la decisión, lo anterior a partir de su nivel de intermediación (betweenness = 115.8). Así también las demás tecnologías 4.0 de este conglomerado presentan una importante capacidad difusora a partir de su nivel de intermediación, a saber: monitoreo y comparación de imágenes (B = 44) y Sistemas de Información Geográfico (B = 29).

En la figura 2 comprobamos que los nodos que considera este conglomerado (teñidos de color azul) presentan una centralidad entorno al desarrollo de algoritmos.

Como se planteó, la tasa de éxito de la conglomeración fue de 80%. Por tanto, existe 20% de los casos donde el contacto de un nodo estuvo fuera de su conglomerado asignado por el algoritmo. En estos casos hablamos de “vínculos débiles”, con los cuales estos nodos logran conectar diferentes clústeres o subgrupos. Al respecto, Granovetter (1973) destaca la importancia de estos vínculos débiles porque son puentes comunicativos que no están atrapados en un subgrupo determinado, lo que aumenta la velocidad de difusión.

La tabla 5 consigna para cada “par de subgrupos” el número de vínculos que se escapan de cada clúster. El lector puede comprobar que es en la diagonal es donde están los valores más altos, lo anterior se explica por vinculaciones intra-subgrupo. Las demás combinaciones responden a los “vínculos débiles” que permiten que el aprendizaje se difunda con mayor velocidad al cruzar o unir diferentes partes de la red tecnológica.

Con este fin se consigna en cada intersección algunas vinculaciones que presentan mayor potencial difusor.

Tabla 5. Identificación de nodos que no pudieron ser conglomerados

	Subgrupo 1 Dominado por el sector energías renovables y convencionales <i>Machine learning</i>	Subgrupo 2 Dominado por el sector minero y los sensores	Subgrupo 3 Dominado por el sector de la salud y el <i>web intelligent Eyes Tracking</i>	Subgrupo 4 Dominado por el sector pesquero y el desarrollo de algoritmo para el pronóstico
Subgrupo 1 Dominado por el sector energías renovables y convencionales <i>Machine learning</i>	32			
Subgrupo 2 Dominado por el sector minero y los sensores	6 <i>Machine learning</i> y condiciones para el monitoreo (2)	66		
Subgrupo 3 Dominado por el sector de la salud y el <i>web intelligent Eyes Tracking</i>	2 <i>Machine learning</i> y sector de la salud (2)	8 Neurodatos y minería (2) Sector de la salud y <i>Machine learning</i> (2)	31	
Subgrupo 4 Dominado por el sector pesquero y el desarrollo de algoritmo para el pronóstico	1 Energías renovables y algoritmos para el pronóstico (1)	7 Herramientas BI y algoritmos para el pronóstico (2) Sensores y algoritmos (3)	1 Neurodatos y comparación de imágenes (1)	40

Fuente: elaboración propia a partir de la matriz de adyacencia.

Nota: para efectos prácticos, el nombre del subgrupo está dado por el sector y la tecnología que tiene un mayor predominio en su centralidad.

Al revisar las tecnologías específicas que pueden cruzar toda la red se destacan: machine learning, algoritmo para pronóstico, neurodatos y sensorización. En cada caso se presentan algunos ámbitos de aplicaciones, a partir de la base de datos, lo que evidencia empíricamente lo amplio del espacio de difusión:

- *Machine learning*
 - Enrutamiento de mensajes en call center.
 - Análisis de disponibilidad, confiabilidad y mantenibilidad de los equipos.
 - Monitoreo y clasificación automática de signos vitales.
 - Predicción del riesgo de abandono y deserción escolar.

- Algoritmos para el pronóstico
 - Patrones que permitan la caracterización de enfermedades cerebrales.
 - Inspección, diagnóstico y pronóstico de daños para puentes de acero.
 - Alerta temprana para sistemas y programas sociales de infancia.
 - Control de consumos eléctricos implementados en microcomputadores.
 - Sistema de visión para generar imágenes en las bandas espectrales.
- Neurodatos
 - Análisis de exploración visual para plataforma informática.
 - Control del trabajo minero en trabajo en altura.
- Sensores
 - Telemétrica automatizada que recolecte datos de redes de sensores.
 - Identificación de la botella de vino a partir de la radio frecuencia.
 - Tecnología de biosensor optoelectrónico, para la detección y cuantificación óptica de residuos de antibióticos de uso veterinario.
 - Trazabilidad animal mediante un dispositivo de identificación individual.
 - Dispositivo óptico-digital en la producción de semillas de mitílidos (mejillones) en Chile.

Este tipo de tecnologías 4.0, que cruzan transversalmente la red, son posibles focos para la localización estratégica de instrumentos de política pública orientados a la I+D y a la difusión al mercado de estos resultados, maximizando los efectos difusores: pueden aprender de forma incremental dentro de su subgrupo y paralelamente pueden generar grandes procesos de aprendizaje a partir de las redes cruzadas.

Conclusiones

Una limitación de este trabajo es que no analiza el resultado final de las vinculaciones de red tecnológica. Por tanto, no alcanza a identificar, para cada uno de los 55 proyectos, el desarrollo de nuevos negocios. Hay que consignar que 67% de los proyectos analizados se desarrollan a partir de 2015, por lo que no ha pasado suficiente tiempo como para que puedan madurar los resultados concretos de cada iniciativa.

Constatamos que solo un 10.4% de los proyectos FONDEF-IDEA están vinculados directa o indirectamente a las tecnologías 4.0. Por tanto, no hay dentro de las políticas públicas en Chile, en el período analizado (2012-2017), una apuesta decidida al desarrollo de nuevas aplicaciones tecnológicas 4.0, desaprovechando la oportunidad para acortar brechas tecnológicas con el rendimiento de frontera de los países desarrollados.

Actualmente, estamos ante una expansión de las nuevas tecnologías en lo que se puede llamar un proceso de “dispersión creadora”. Por lo que la figura 1 (presentada al inicio de este artículo) va a cambiar en función del nacimiento de nuevas tecnologías, fusión de otras y reinterpretación de las potencialidades; debido a esto la red tecnológica tendrán un cambio significativo en los próximos años.

En el período analizado, constatamos una alta centralidad del binomio minería-sensores. Ante esto, resulta clave para el desarrollo económico nacional que la red de proveedores del conglomerado minero genere relaciones cruzadas con los demás sectores de la economía, en sus relaciones de insumo-producto, para facilitar la difusión de las tecnologías al resto del tejido productivo.

En relación con la red tecnológica, se comprueba que hay un 20% de las vinculaciones que no puede ser fácilmente agrupado dentro de la red tecnológica actual. Estos desarrollos del tipo: machine learning, algoritmo para pronóstico, neurodatos y sensorización, no están totalmente enclaustrados en un algún subgrupo específico, por lo que pueden cruzar transversalmente la red y aumentar las externalidades tecnológicas positivas ante una focalización de instrumentos públicos.

En este sentido, una focalización de parte de las políticas públicas en estas tecnologías “pivote”, consignadas en el punto anterior, y que unen a los diferentes subgrupos de la red, abren una interesante posibilidad para maximizar la rentabilidad de los recursos públicos al momento de emprender una “modernización productiva”, más cercana a un Estado activo en materia económica.

Finalmente, observamos como “cuello de botella” la alta concentración territorial de estos proyectos de desarrollo en la capital nacional, donde 52% de las iniciativas es liderado por tres instituciones que están en Santiago, explicando 61% de los montos inversión. Este centralismo perjudica la generación de conocimiento a partir de la proximidad geográfica con los procesos productivos ubicados cerca de la explotación de recursos naturales en las regiones.

La red tecnológica hace hincapié en la generación de condiciones de monitoreo y en la conversión de datos a información (en lo específico, los aspectos vinculados al desarrollo de pronósticos para la toma de decisiones). En este contexto, es fundamental el surgimiento de nuevas empresas 4.0. Además, es clave contar con una política pública acertada que fomente nuevos modelos de negocios, por ser estos una punta de lanza para la modernización productiva global. Estas nuevas empresas pueden ser “proveedoras especializadas” o “sectores basados en ciencia”, facilitando la difusión de las tecnologías 4.0 al resto de la economía nacional, lo que se traducirá en la generación de empleos.

Chile necesita de una estrategia de desarrollo tecnológico que actúe con una lógica descentralizada e inclusiva, para que la cuarta revolución industrial se transforme en una oportunidad para acortar la brecha con los países desarrollados.

Agradecimientos

Los autores agradecen los comentarios de los asistentes al XVIII Congreso Latino-Iberoamericano de Gestión Tecnológica (ALTEC 2019), realizado en Medellín, Colombia. También las valiosas aportaciones de los evaluadores anónimos de *Paakat: Revista de Tecnología y Sociedad*.

Referencias

- Analytic Technologies. (s/f). UCINET [software para el análisis de redes sociales]. Recuperado de: <http://www.analytictech.com/archive/ucinet.htm>
- Bogliacino, F. & Pianta, M. (2016). The Pavitt Taxonomy, revisited: patterns of innovation in manufacturing and services. *Economía Política*, 33, 153-180. <https://doi.org/10.1007/s40888-016-0035-1>
- Boix R.; Hervás-Oliver J. & Miguel-Molina, B. (2015). Micro-geographies of creative industries clusters in Europe: from hot spots to assemblages. *Regional Science*, 94(4). 753-772 <https://doi.org/10.1111/pirs.12094>
- Borgatti S. & Everett, M. (1997). Network analysis of 2-mode data. *Social Networks*, 19(3), 243-269. [https://doi.org/10.1016/S0378-8733\(96\)00301-2](https://doi.org/10.1016/S0378-8733(96)00301-2)
- Calderón, F. y Castells, M. (2016). Desarrollo, democracia y cambio social en Chile, en: M. Castells y H. Pekka (2016), *Reconceptualización del desarrollo en la era global de la información*. Fondo de la Cultura Económica. Santiago de Chile.
- Carrincazeaux, Ch.; Lung, Y. & Vicente, J. (2008). The scientific trajectory of the french school of proximity: interaction- and institution-based approaches to regional innovation systems. *European Planning Studies*, 16(5), 617- 628. <https://doi.org/10.1080/09654310802049117>
- Cortés-Sánchez, J. (2019). Innovation in Latin America through the lens of bibliometrics: crammed and fading away. *Scientometrics*, 121, 869-895. <https://doi.org/10.1007/s11192-019-03201-0>
- Cotteleer, M. & Sniderman, B. (2017). Forces of change: Industry 4.0. Center for Integrated Research. Deloitte Insights. Recuperado de: https://www2.deloitte.com/content/dam/insights/us/articles/4323_Forces-of-change/4323_Forces-of-change_Ind4-0.pdf
- Dallasega P.; Erwin R. & Linder, Ch. (2018). Industry 4.0 as enabler of proximity for construction supply chains: a systematic literature review. *Computers in Industry*, 99, 205-225. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2018.03.039>
- Falabella, G. y Gatica, F. (2017). TIC, cadenas y desarrollo de Santiago de Chile: ¿Conocimiento transferido o autorreferido? *Revista de Ciencias Sociales*, 30(40), 83-108. Recuperado de:

- http://www.scielo.edu.uy/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0797-55382017000100005&lng=es&tlng=es .
- Gong, H. & Hassink, R. (2017). Exploring the clustering of creative industries. *European Planning Studies*, 25(4), 583-600. <https://doi.org/10.1080/09654313.2017.1289154>
- Granovetter, M. (1973). La fuerza de los vínculos débiles. *Política y Sociedad*, 33, 41-56. Recuperado de: <https://revistas.ucm.es/index.php/POSO/article/view/POSO0000130041A/24597>
- Hanneman, R. & Riddle, M. (2005). Introduction to social network methods. Riverside, CA: University of California. Recuperado de: <https://faculty.ucr.edu/~hanneman/nettext/>
- Hermann, M.; Pentek, T. & Otto, B. (2016). Design principles for Industrie 4.0 scenarios. 49th Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS), Koloa, HI. 3928-3937. Recuperado de: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7427673>
- Horrillo-Tello, J. y Lladós-Masllorens, J. (2018). Especialización inteligente e Industria 4.0. Capacidad de adsorción y contexto institucional para la transformación digital de la industria europea. Industrial Conference on Regional Science. Hacia un Modelo económico más social y sostenible. XLIV Reunión de estudios regionales. Valencia. Recuperado de: <https://reunionesdeestudiosregionales.org/valencia2018/descargar-actas/551>
- Huggins, R.; Prokop, D. & Thompson, P. (2019). Universities and open innovation: the determinants of network centrality. *The Journal of Technology Transfer*. 1-40 <https://doi.org/10.1007/s10961-019-09720-5>
- Lasi, H.; Fettke, P.; Feld, Th. & Hoffmann, M. (2014). Industry 4.0. *Business & Information Systems Engineering*, 6(4), 239-242. Recuperado de: <https://aisel.aisnet.org/bise/vol6/iss4/5>
- Lee, J.; Bagheri, B. & Kao, H. (2015). A cyber-physical systems architecture for Industry 4.0-based manufacturing systems. *Manufacturing Letters*, 3, 18-23. <https://doi.org/10.1016/j.mfglet.2014.12.001>
- Ley 21.105. (2018). Crea el Ministerio de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación. Recuperado de <https://www.leychile.cl/Navegar?idNorma=1121682> .
- Malerba, F.; McKelvey, M. (2020). Knowledge-intensive innovative entrepreneurship integrating Schumpeter, evolutionary economics, and innovation systems. *Small Business Economics*, 54, 503-522. <https://doi.org/10.1007/s11187-018-0060-2>
- Maresova, P.; Soukal, I.; Svobodova, L.; Hedvicakova, M.; Javanmardi, E.; Selamat, A. & Krejcar, O. (2018). Consequences of Industry 4.0 in business and economics. *Economies*, 6(3), 46. <https://doi.org/10.3390/economies6030046>
- Nedelkoska, L. & Quintini, G. (2018). Automation, skills use and training. *OECD Social, Employment and Migration Working Papers*, 202, OECD Publishing: Paris. <https://doi.org/10.1787/2e2f4eea-en>
- Nhamo, G.; Nhemachena, C. & Nhamo, S. (2020). Using ICT indicators to measure readiness of countries to implement Industry 4.0 and the SDGs. *Environmental Economics and Policy Studies*, 22, 315-337. <https://doi.org/10.1007/s10018-019-00259-1>
- Pavitt, K. (1984). Sectoral Patterns of technical change: Towards a taxonomy and a theory. *Research Policy*, 13, 343-373. [https://doi.org/10.1016/0048-7333\(84\)90018-0](https://doi.org/10.1016/0048-7333(84)90018-0)
- Provalis Research. (s/f). Software DBA Miner Lite. Recuperado de: <https://provalisresearch.com/es/products/software-de-analisis-cualitativo/freeware/#.XpPBd8hKhPY>

- Qin, J.; Liu, Y. & Grosvenor, R. (2016). A categorial framework of manufacturing for Industry 4.0 and Beyond. *Procedia CIRP*, 52, 173-178. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.08.005>
- Schwab, K. (2016). *La cuarta revolución industrial*. Foro Económico Mundial. España: Editorial Debate.
- Tirole, J. (2017). *La economía del bien común*. ¿Qué ha sido de la búsqueda del bien común? ¿En qué medida la economía puede contribuir a su realización? España: Editorial Taurus Pensamiento.
- Vowles, N.; Thirkell, P. & Sinha, A. (2011). Different determinants at different times: B2B adoption of a radical innovation. *Journal of Business Research*, 64(11), 1162-1168. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2011.06.016>

Anexo 1. Listado de palabras

- | | |
|---------------------------------|---|
| 1) Integrated manufacturing | 25) Inteligencia artificial distribuida |
| 2) Intelligent manufacturing | 26) Machine learning |
| 3) Cloud computing | 27) Deep learning |
| 4) Cyber-physical system | 28) Redes neuronales |
| 5) Internet del servicio (IoS) | 29) Colonias de hormiga |
| 6) Industrial internet | 30) Sistemas expertos |
| 7) Predictive analytics | 31) Sistemas colaborativos |
| 8) Manufacturing platform | 32) Sistemas autoorganizados |
| 9) Intelligent robots | 33) Fábrica virtual |
| 10) Automated simulations | 34) Data analytic |
| 11) Internet of things (IoT) | 35) Ingeniería de datos |
| 12) Cloud computing | 36) Modelos predictivos |
| 13) Additive manufacturing (AM) | 37) Mantenimiento 4.0 |
| 14) Augmented reality (AR) | 38) Sistemas multiagentes |
| 15) Big data analytic | 39) Manufactura integrada |
| 16) Industry 4.0 | 40) Sensores inalámbricos |
| 17) Smart manufacturing | 41) Redes de sensores |
| 18) Simulations | 42) Robótica colaborativa |
| 19) Prototype | 43) Sistemas holónicos |
| 20) 3-D printing | 44) ERP |
| 21) Augmented reality | 45) MES |
| 22) Robotic | 46) Decision support systems |
| 23) Cyber security | 47) Intelligent machines |
| 24) Artificial intelligence | |

Este artículo es de acceso abierto. Los usuarios pueden leer, descargar, distribuir, imprimir y enlazar al texto completo, siempre y cuando sea sin fines de lucro y se cite la fuente.

CÓMO CITAR ESTE ARTÍCULO:

Gatica Neira, F. E. y Ramos Maldonado, M. A. (2020). Políticas públicas y redes para el desarrollo de las tecnologías 4.0 en Chile. *Paakat: Revista de Tecnología y Sociedad*, 10(19). <http://dx.doi.org/10.32870/Pk.a10n19.475>

* Dr. Francisco Gatica Neira. Es profesor asociado del Departamento de Economía y Finanzas, Facultad de Ciencias Empresariales de la Universidad del Bío-Bío, Chile.

** Dr. Ing. Mario Alejandro Ramos Maldonado. Es profesor asociado del Departamento de Ing. en Maderas, Facultad de Ingeniería de la Universidad del Bío-Bío, Chile.

¹ Este trabajo está enmarcado en el Grupo de Investigación 195212 GI/EF "Industria Inteligente y Sistemas Complejos" –GISCOM– de la Universidad del Bío-Bío, Chile.

² En la fase de búsqueda sintáctica se contó con el apoyo de la doctora Alejandra Segura Navarrete, del grupo SOMOS, académica de la Universidad del Bío-Bío. Correo electrónico: asegura@ubiobio.cl

³ Disponible en <https://provalisresearch.com/es/products/software-de-analisis-cualitativo/freeware/#.XpPBd8hKhPY>

⁴ Disponible en <http://www.analytictech.com/archive/ucinet.htm>