



 **realidad
económica**

Nº 370 • AÑO 55

16 de febrero al 31 de marzo de 2025

ISSN 0325-1926

Páginas 109 a 145

INTELIGENCIA ARTIFICIAL

El software y los servicios informáticos: transformaciones en la producción desde sus orígenes hasta la inteligencia artificial. Un análisis comparativo de Argentina con Alemania y Australia*

Lorenzo Cassini** y Florencia Podestá***

* El presente artículo es resultado del proyecto PICT "Industria 4.0: División internacional del trabajo y perspectivas para el desarrollo económico argentino" (PICT-2020-SERIEA-02241) dirigido por el Dr. Nicolás Grinberg, y del cual los autores son integrantes.

** Doctor en Desarrollo Económico por la Universidad Nacional de Quilmes (UNQ), docente de grado y posgrado en la Universidad Nacional de San Martín (UNSAM) Investigador Asistente del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), con sede en la Universidad Nacional del Oeste (UNO), Belgrano 369, San Antonio de Padua (CP1718), Provincia de Buenos Aires, Argentina. lcassini@unsam.edu.ar

*** Doctora en Desarrollo Económico por la Universidad Nacional de Quilmes (UNQ), Magíster en Desarrollo Económico por la Universidad Nacional de San Martín (UNSAM). Becaria doctoral del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) en el Instituto de Estudios de América Latina y el Caribe (IEALC) de la Universidad de Buenos Aires (UBA), Marcelo T. de Alvear 2230, piso 3, CABA, Argentina. flopodesta@hotmail.com

RECEPCIÓN DEL ARTÍCULO: agosto de 2024

ACEPTACIÓN: enero de 2025



Resumen

Este artículo se propone analizar la trayectoria del sector de Software y Servicios Informáticos (SSI) en Argentina en perspectiva comparada con otros dos productores de SSI: Alemania y Australia. Se identifican distintas etapas en el desarrollo histórico del sector a nivel global llegando hasta la actual incorporación de Inteligencia Artificial (IA) en el proceso productivo y se historiza el desarrollo del sector en los tres países, ubicando su emergencia en aquellas etapas y comparándolos a través de indicadores cuantitativos. Los resultados muestran la sincronía de los desarrollos nacionales con las tendencias globales, el papel clave de los eslabonamientos productivos locales para construir capacidades, la importancia de la exportación y el rol estratégico otorgado al sector por las políticas públicas. Sin embargo, el caso argentino presenta particularidades que han influido en la configuración de su perfil actual, como un desarrollo tardío del sector; una menor integración con el aparato productivo local y un enfoque distinto en las políticas de promoción.

Palabras clave: Software y Servicios Informáticos - Inteligencia Artificial - Desarrollo comparado - Argentina - Australia - Alemania

Abstract

Software and IT Services: Transformations in Production from Their Origins to Artificial Intelligence. A Comparative Analysis of Argentina, Germany, and Australia

This article analyzes the trajectory of the Software and IT Services (SITS) sector in Argentina from a comparative perspective with two other SITS-producing countries: Germany and Australia. The study identifies different stages in the historical development of the sector at a global level, leading up to the current integration of Artificial Intelligence (AI) into the production process. It traces the sector's evolution in the three countries, situating its emergence within these stages and comparing them using quantitative indicators. The results highlight the synchronization of national developments with global trends, the key role of local productive linkages in building capabilities, the importance of exports, and the strategic role assigned to the sector by public policies. However, the Argentine case presents particularities that have shaped its current profile, such as the sector's late development, weaker integration with the local productive apparatus, and a different approach to promotional policies.

Keywords: Software and IT Services - Artificial Intelligence - Comparative Development - Argentina - Australia - Germany

1. Introducción

La producción de *software* y servicios informáticos (SSI) es uno de los sectores de mayor crecimiento en las últimas décadas a nivel internacional. El *software* es un conjunto de flujos de información digital sistematizada en programas y contenido en algún tipo de soporte físico que brindan instrucciones operativas a ciertas máquinas o dispositivos para la implementación de operaciones deseadas. Los servicios informáticos incluyen un conjunto de actividades variadas tales como testeo, implementación, mantenimiento, diseño y desarrollo de soluciones a medida, administración de redes y de bases de datos, seguridad informática, diseño de sitios web, entre otras (Girolimo, 2020, Moncaut, 2019).

En la Argentina el sector de SSI creció de manera sostenida desde comienzos del siglo XXI. Algunas características de esta producción destacan por su excepcionalidad dentro de la canasta exportadora del país: requiere trabajo calificado de altos salarios y se constituye como un sector tecnológicamente dinámico que tiene el potencial de ser una fuente de desarrollo de la productividad de los sectores que lo utilizan¹.

El objetivo de este artículo es analizar la trayectoria del sector SSI en Argentina en comparación con otros países líderes en la producción de *software* y servicios informáticos, con el fin de comprender su desarrollo en el contexto global y extraer lecciones que permitan potenciar su crecimiento futuro. La hipótesis plantea que el perfil productivo distintivo de cada país y la etapa de la historia global del sector en la que cada país logra el despegue y la consolidación del mismo son factores clave para entender las diferencias en la evolución del sector SSI (Cassini, 2023).

¹ El objeto de estudio de este trabajo refiere específicamente a aquellos capitales cuya actividad es la producción de SSI.

Los principales antecedentes de este trabajo son las contribuciones que abordan el sector de SSI desde una perspectiva comparada, observando la complejidad del trabajo de SSI realizado (Podestá, 2023), o bien observando otras problemáticas relacionadas con el SSI, como la comparación entre clústeres (Robert et al., 2018) o sistemas de innovación (Gonzalo et al., 2018). Otros textos trabajan históricamente el desarrollo del *software* en distintos países, pero de manera separada y con datos que han quedado desactualizados (Arora y Gambardella, 2005).

Este artículo ofrece un enfoque innovador al analizar simultáneamente las transformaciones globales en los medios de producción y en la fuerza de trabajo que afectan el desarrollo del sector SSI a nivel nacional y los factores específicos de cada país. En particular, propone una periodización de la historia global del sector que permite contextualizar con mayor precisión las trayectorias nacionales. Además, presenta una comparación original entre Argentina, Alemania y Australia a través de dos ejercicios complementarios. Primero, describe la evolución del sector en cada país durante las etapas identificadas, utilizando literatura relevante e información estadística, y considerando su tamaño, los principales sectores demandantes, el perfil empresarial y las políticas de promoción. Segundo, incorpora indicadores cuantitativos que evidencian la evolución del sector, incluyendo un indicador de exportaciones indirectas que permite analizar los eslabonamientos intersectoriales, constituyendo así una contribución original al estudio del SSI.

Para este análisis, se seleccionaron Alemania y Australia como casos de comparación. Alemania se destaca como un país líder en capacidades industriales, mientras que Australia es un importante exportador de materias primas minerales. La especialización de Argentina combina elementos de ambos: se orienta a la exportación de productos primarios - en este caso, agropecuarios y su manufacturación - pero también cuenta con capacidades industriales relevantes, destinadas principalmente al mercado interno y de bajo valor agregado. Esta especialización mixta es resultado del desarrollo industrial alcanzado durante el período de Industrialización por Sustitución de Importaciones (ISI), que ha persistido parcialmente a pesar de la desindustrialización acelerada iniciada durante la última dictadura militar, aunque con importantes transformaciones en el tejido industrial y los sectores que lideran este sector. Desde entonces, el país

ha atravesado una alternancia de políticas de promoción y retracción de la industria, un proceso que continúa hasta la actualidad.

Luego de esta introducción, en la Sección 2 se analiza el desarrollo histórico del sector SSI a nivel global, identificando etapas delimitadas por las transformaciones en los medios de producción y en la fuerza de trabajo requerida. Este recorrido incluye desde los orígenes del sector hasta los avances recientes relacionados con el uso de la inteligencia artificial en la producción de *software* y sus implicancias en las capacidades laborales. La Sección 3 se enfoca en la comparación de los casos seleccionados. En primer lugar, se narra la evolución del sector en cada uno de los países. En segundo lugar, se presentan indicadores comunes que permiten evaluar el desempeño del sector en perspectiva comparada. Finalmente, las conclusiones resumen los principales hallazgos y plantean nuevas preguntas de investigación.

2. De sus orígenes a la actualidad: la informática y las transformaciones en los procesos de trabajo del SSI

El principal medio de producción en la industria de SSI es la computadora, por lo que su evolución fue transformando significativamente el *software* producido, su proceso de trabajo y la demanda de SSI. A través de sus cambios históricos, identificamos analíticamente tres grandes etapas que remiten a la forma en que se produce *software* y que transformaron las características de los trabajadores requeridas.²

La producción integrada al *hardware*.

El origen común del *software* y las computadoras se remonta a la Segunda Guerra Mundial a partir del primer ordenador programable y el transistor; la

² Aquí trabajamos con diversas reposiciones históricas del desarrollo de software. Una de las más relevantes es la de Campbell-Kelly (1995; 2004), quien utiliza un criterio que privilegia el tipo de productos o servicios desarrollados, mientras que aquí periodizamos en función de lo que observamos como saltos cualitativos en la forma de producción del software. Consideramos que este ordenamiento permite comprender mejor la inserción de los distintos países en la producción de software.

fuelle de la microelectrónica. Más allá de sus usos bélicos y académicos iniciales, las empresas de electrónica y semiconductores se instalaron en Silicon Valley (Estados Unidos). Otros países centrales fueron también fabricantes de computadoras: Alemania participó activamente de la investigación y el desarrollo de supercomputadoras y capitales británicos participaron de la producción de minicomputadoras para los mercados militares y estatales (Siebert, 2020). En su desarrollo posibilitaron la codificación de la lógica y la comunicación entre máquinas, adquiriendo un poder de procesamiento en constante evolución y un rápido descenso de sus precios a partir del mejoramiento de los chips. Los avances en la producción informática fueron la base de la ampliación de las posibilidades de uso de las computadoras, que a su vez requirieron de *software* específico para las organizaciones que las utilizaban. Como indica Campbell-Kelly (1995), a mediados de los cincuenta surgen los contratistas de *software* orientados a los fabricantes y usuarios de computadoras.

La baja capacidad inicial de procesamiento de la computadora requería *software* simple que movilizaba pequeños grupos de trabajadores, donde la codificación ligada al *hardware* era una tarea de traducción a un código binario más bien sencilla.

Una producción autónoma completa

Los avances en la producción entre los setenta y principios de los ochenta permitieron la fragmentación del proceso, entre la concepción del código y su ejecución (Feuerstein, 2013, Friedenthal y Starosta, 2016). En esta etapa, los circuitos integrados y la mejora de los microprocesadores llevaron a la progresiva transformación de las supercomputadoras en las computadoras personales (PC), con fines cada vez más diversos y generales. En las décadas del setenta y ochenta se ubican el microprocesador de Intel (1971) y la PC de IBM (1981), en combinación con el sistema operativo de Microsoft (1985), que permitieron el abaratamiento del *hardware* y un aumento en la demanda de aplicaciones (Friedenthal y Starosta, 2016).

Estas transformaciones impulsaron cambios en el proceso de producción de *software* que marcan una segunda etapa, ya que en estas décadas se generalizó la

creación de empresas especializadas en la provisión de *software* como una mercancía independiente, realizando la totalidad del proceso y ampliando sus funciones y posibilidades (Feuerstein, 2013; Friedenthal y Starosta, 2016). Muchas de estas empresas abandonaron la fabricación o alquiler de computadoras para dedicarse a la venta de programas (Leimbach, 2008) y se especializaron en la producción de *software* empaquetado y para PCs (Campbell-Kelly, 1995).³

En consecuencia, los usuarios se diversificaron hacia las décadas de los setenta y los ochenta, adquiriendo particular relevancia la demanda por parte de los sectores financieros, de telecomunicaciones, de transporte y de la administración pública. En cuanto al trabajo, con la mejora de procesos de programación del *software* portable se desarrollaron nuevos y más sofisticados lenguajes que requirieron trabajadores más especializados.

La producción en cadena

Las PCs obtuvieron cada vez más memoria y capacidad mediante el funcionamiento en red, compartiendo la potencia informática, base de internet, que surge en los noventa. Se expandieron las empresas de prestación de servicios en la web y de consultoría (Artopoulos, 2020). Pero además, con internet como una herramienta técnica para la producción de *software*, la diversificación del *software* tuvo un nuevo impulso, volviendo técnicamente posible el desarrollo de SSI en lugares remotos y las prácticas de *outsourcing* y *offshoring* que caracterizan a su producción desde entonces (Robert y Moncaut, 2020). Estas mejoras en la informática repercutieron fuertemente en la producción de *software*, constituyendo el inicio de la tercera etapa: de internacionalización de su producción, en la que la ésta se organizó en la forma de Cadenas Globales de Valor (Gereffi, 2001).

El fenómeno de tercerización ocurrió a partir de la década de los noventa y se profundizó desde comienzos del siglo XXI. Entre los primeros países a los cuales se dirigió parte de la producción de SSI en busca de estas ventajas se destacan Irlanda, Israel e India. En la década siguiente, se generalizó la deslocalización a

³ Si bien estos tipos de software continúan produciéndose en la siguiente etapa y hasta la actualidad, en lo sucesivo se modificará la organización del proceso de trabajo a partir de la introducción de nuevas herramientas informáticas.

otros países asiáticos, a aquellos países de América latina con mayores niveles educativos (cuya región además comparte el huso horario con Estados Unidos), así como al este europeo principalmente para abastecer a la Unión Europea. Los Estados a los que se dirigieron estas producciones buscaron activamente posicionarse para atraer inversiones de este tipo, con exenciones fiscales a las empresas, el desarrollo de una infraestructura de telecomunicaciones adecuada e incentivando a la capacitación de trabajadores en informática.

Dentro de esta etapa de maduración de la industria de SSI se asistió a la denominada “crisis de las punto com” en los dos mil, producto de una burbuja especulativa alrededor de las empresas vinculadas a internet. En este período, muchas empresas de *software* se reconvirtieron a las actividades de computación en la nube y procesamiento de big data, donde cobraron protagonismo las plataformas digitales (Kenney, 2017; Lippoldt y Stryszowski, 2009).

Con la expansión que significó este proceso, la industria de SSI debió lidiar con dificultades para hallar mano de obra calificada, una problemática que continúa siendo determinante para las empresas del sector. Frente a este desafío, la producción de *software* global inició procesos de racionalización del trabajo, al modularizar y estandarizar las tareas requeridas dentro de un proyecto. La creación de nuevos lenguajes de programación, más fáciles de comprender y de utilizar, contribuyó asimismo a reducir los costos. Es decir, la estandarización de ciertas tareas permitió progresivamente su simplificación y la incorporación de fuerza de trabajo más especializada, pero con menor tiempo de capacitación (Huws, 2006). De esta manera se estandarizaron las competencias laborales requeridas, las cuales se difundieron mediante la creación de carreras universitarias como la computación científica y la investigación operativa y más tarde con la ingeniería de *software* (Robert y Moncaut, 2020).

Las actividades con mayor posibilidad de captura de valor se sitúan en los extremos de la cadena porque las barreras a la entrada suelen ser más altas. Al inicio de la cadena, las actividades de contacto con el cliente y diseño y planificación del proyecto involucran mano de obra más capacitada y con más experiencia, además de conocimientos tácitos que la empresa acumula en su trayectoria, así como una mayor comunicación directa con el cliente. Al final de la cadena, el

ingreso a las etapas de distribución y comercialización está limitado por barreras tales como la consolidación de marcas o economías de red en la utilización de un producto establecido. En cambio, en los eslabones intermedios de programación la escritura de códigos estandarizada facilitó el ingreso de nuevas empresas. La codificación, el testeo, la atención al cliente y otras actividades de la industria se han convertido en mercancías con bajo nivel de diferenciación y pocas posibilidades de captura de valor, las cuales tienden a deslocalizarse y competir fundamentalmente por precio (Baum et al., 2022). Los territorios especializados en estas actividades se enfrentan al desafío de formar aceleradamente a los trabajadores para ampliar la producción de *software* y a su vez evitar el aumento de salarios que deriva de esta escasez, lo que presiona sobre las ganancias de las empresas proveedoras.

A comienzos del siglo XXI, el auge de las plataformas como intermediarias entre empresas y trabajadores dio un salto cualitativo en la deslocalización de la producción de SSI. La posibilidad de trabajar de manera remota permitió la conformación de equipos de desarrollo de distintas tareas de *software* de zonas geográficas diversas, aumentando la fragmentación de la producción a trabajadores individuales. Ello permite que los trabajadores de todo el mundo vendan su fuerza de trabajo al exterior sin salir de su país de origen, las empresas no deben necesariamente instalarse físicamente para utilizarla, y los salarios se gestionan de manera online (Haidar y Keune, 2021).

La producción asistida por IA

La evolución de la informática asiste a un nuevo momento en su desarrollo actual: el surgimiento de tecnologías ligadas a la “Industria 4.0” y, entre ellas, la inteligencia artificial (IA). Ésta se conceptualiza como una objetivación del conocimiento como medios de producción bajo la forma de algoritmos de aprendizaje automático (Hirsch et al., 2023). Su potencial reside en la capacidad de resolver problemas complejos, tomar decisiones, reconocer imágenes y lenguajes, entre otras funciones. Si bien es un proceso en curso, estas transformaciones podrían dar inicio a una nueva etapa al tener la capacidad de modificar aspectos centrales de la producción de *software* global. El potencial de

esta tecnología se manifiesta hoy en la disputa entre Estados Unidos y China por su liderazgo.

Pero además de ser un producto del desarrollo de *software*, la IA puede ser utilizada en la automatización de algunas tareas del proceso de producción de *software*. A partir del procesamiento de cantidades de texto que revelan su estructura y significado, se desarrollaron modelos de generación automática de código y texto en lenguaje natural. La automatización de la producción de *software* se investiga ya desde los ochenta con técnicas tradicionales. Las técnicas de IA constituyen nuevas alternativas y posibilidades ya que los algoritmos generativos permiten predecir y crear a partir de patrones “aprendidos” (Sarkar et al., 2022). La automatización en la producción de *software* implica poder ingresar una serie de instrucciones en formato de lenguaje natural o fracciones de código y obtener un código “nuevo”, basado en los grandes repositorios disponibles y en los avances en el manejo de datos. Ello da cuenta de un altísimo potencial en el camino hacia la automatización total de la producción de *software*.

Algunos trabajos analizan distintas experiencias de uso y efectividad de los modelos más difundidos. Entre ellos se encuentra el “CodeWhisperer” desarrollado por Amazon; el Copilot de GitHub, Wisdom, de IBM; y el OpenAI Codex. Dichos análisis sugieren que la IA es una herramienta de trabajo en la programación que aumenta la productividad de los programadores e ingenieros de *software* en tanto acelera los tiempos de producción (Greengard, 2023). Por otro lado, la literatura concluye que estos desarrollos son aún incipientes, pero comienzan a funcionar como un asistente de los trabajadores del rubro, transformando el tipo de trabajo realizado, especialmente en lo que refiere la escritura de código (Nghiem et al., 2024; Poldrack et al., 2023; Sarkar et al., 2022). La IA puede ayudar a priorizar cuando hay más de una respuesta sólida para una tarea; ofreciendo sugerencias que incorporen verificaciones de sintaxis, mejoras de algoritmos y formato y depuración de código; tratar con mayor solidez el código incompleto o no válido e incorporar señales que suelen ignorar las herramientas tradicionales para el código, como el lenguaje natural en identificadores o comentarios (Puri et al., 2021).. Se ha desarrollado *software* de “auto-código” utilizando amplias bases de datos. También contribuye a otras tareas, como analizar información de proyectos previos y generar estimaciones más precisas de futuras tareas en la etapa de planeamiento;

guiar la construcción de nuevos diseños de sistemas; en el control de calidad, asistiendo en la creación de casos de prueba; a la implementación, automatizando algunas tareas como el copiado de archivos; y en el mantenimiento y soporte, clasificando los problemas (Meziane y Vadera, 2010; Pothukuchi et al., 2023). En consecuencia, Pothukuchi et al. (2023) y Weisz et al. (2022) plantean que la IA transforma el trabajo de traducción de código de un acto de producción en uno de revisión, ya que no existen garantías acerca de la calidad del código, pudiendo propagarse errores y altos grados de imperfección (Greengard, 2023; Poldrack et al., 2023; Sarkar et al., 2022; Weisz et al., 2022).

Una pregunta que se desprende es si la utilización de la IA en la producción de SSI traerá aparejado un cambio en el tipo de calificación necesaria para producir *software*. Los trabajos consultados sugieren que los modelos de IA resultan un salto cualitativo en la simplificación de las tareas de programación, ya que en algunos casos no requieren siquiera interactuar con código (Greengard, 2023). Como concluyen Poldrack et al. (2023), un ingeniero principiante puede resolver satisfactoriamente problemas de código mediante pocas modificaciones a las sugerencias de la IA. Por otro lado, mientras la IA automatiza algunas tareas técnicas, se vuelven más relevantes las habilidades de comunicación con clientes, formación de equipos y liderazgo de proyectos. Una enseñanza basada en la solución de problemas podría ser una herramienta útil para la formación de trabajadores con estas habilidades.

3. La producción de SSI desde una perspectiva comparada.

Los casos de Alemania, Australia y Argentina.

Alemania.

El sector SSI en Alemania es el más grande de Europa, representando aproximadamente una cuarta parte del total del mercado europeo. Alemania incursiona en el desarrollo de SSI desde la primera etapa de la historia del sector. Sus comienzos están vinculados a la invención de las primeras computadoras, donde los procesos de ingeniería – actividad en la que Alemania se destacó históricamente – resultaban centrales. Siguiendo a Siebert (2020), ya en la década del cincuenta, con la reconstrucción de posguerra, institutos y universidades

alemanas desarrollaron las primeras computadoras con fines de investigación. En los cincuenta y sesenta Alemania fabricó sistemas computacionales, hasta que avanzó hacia las computadoras personales, aunque éstas se orientaron al abastecimiento interno. Dado que el país no se destacó por la realización de aquellos componentes que requerían las PCs (como chips y tableros), éstos comenzaron a importarse y la producción de *hardware* declinó a manos de la competencia asiática.

En una segunda etapa y en línea con las transformaciones globales, las empresas alemanas se especializaron en el desarrollo de *software* como una producción diferenciada del *hardware*. La historia de una de las empresas más grandes de *software* de Alemania es ilustrativa de este pasaje: SAP, creada a principios de los setenta por un grupo de trabajadores de la filial alemana de la empresa norteamericana IBM a partir de la decisión de ésta de desligar la producción de *hardware* y *software*, se especializó en el desarrollo de programas para los sistemas de IBM. Con clientes ligados a la industria química local, fue la primera en ofrecer paquetes integrados de aplicaciones que unifican distintos sistemas de información (Lehrer, 2000; Leimbach, 2008). Aunque más tarde se desligó de la dependencia de IBM, su rápido crecimiento en los setenta y ochenta se debe en gran parte a ese modelo. Sin embargo, desde un punto de vista global, Alemania quedó retrasada respecto al *software* para PCs.

Entre fines de los sesenta y mediados de los setenta se fundan la mayor parte de las empresas alemanas de *software* (Leimbach, 2008). Hasta fines de los ochenta, el mercado de *software* alemán estaba dominado por proveedores locales y pequeños.

En los noventa, el SSI alemán se orientó a empresas más que al público general, destacándose en recursos empresariales, ingeniería de *software*, herramientas para la planificación de la producción y comercio electrónico. Sin embargo, en esta tercera etapa se internacionalizaron dos empresas de *software* estandarizado presentes desde los setenta en el mercado alemán: además de SAP, *Software AG*, la cual ya en los setenta conquistó el mercado norteamericano en análisis de datos (Lehrer, 2000; Leimbach, 2008).

La demanda también fue desde el comienzo predominantemente interna – característica que se mantiene hasta la actualidad – y la mayoría de las empresas de otros rubros lo desarrollaban internamente. Por ejemplo, Broy et al. (2006) calculan que el 80% de los ingenieros de *software* alemanes están empleados en sectores industriales (citado en Strambach, 2010). Esta propensión implicó un menor desarrollo de los servicios de *software* en el país. Hacia fines del siglo XX, el *software* alemán se consolidó como una producción que principalmente se realizaba en establecimientos de otros sectores que requerían *software* integrado (Broy et al., 2001).

Desde los dos mil, la facturación del sector tecnológico continuó su tendencia alcista hasta la actualidad. En línea con las tendencias globales, la demanda de SSI alemán la lideran los servicios financieros, seguidos por las telecomunicaciones y la administración pública, el sector salud y las consultoras legales y gerenciales. Sin embargo, aparecen significativamente los sectores de ingeniería mecánica y de automóviles (Deloitte, 2019; datos de 2018). Esta demanda del sector industrial se vincula a su tradicional especialización en la industria pesada y su orientación a la innovación tecnológica aplicada, destacándose principalmente en las exportaciones de SSI. El resultado, tal como indican los gráficos presentados por Iñigo y Río (2023), es que Alemania se distingue por el grado de difusión de tres importantes tecnologías 4.0: impresión 3D, Internet de las Cosas e Inteligencia Artificial⁴. Asimismo, el desarrollo interno de *software* por parte de empresas de otros rubros tiende a subestimar su importancia en la economía nacional. La fuerte incorporación de estas tecnologías en las industrias locales explica el bajo coeficiente de exportación, que osciló entre el 13 y el 18% desde la segunda década del dos mil⁵.

En la etapa actual, la digitalización de procesos industriales se convirtió en un objetivo central en la política hacia el sector de SSI en la segunda década de los

⁴ Los índices de robotización también son altos.

⁵ En una encuesta realizada en 2011 que abarcó a la mayoría de las empresas de software alemanas, Picot et al. (2015) dan cuenta que, entre las empresas que no exportan, más del 45% considera que el mercado alemán es suficientemente redituable, por lo que la internacionalización no es necesaria.

dos mil, como medio para avanzar en la implementación de la “Industria 4.0”. La creciente especialización de los países asiáticos en la producción de maquinaria y equipos a partir de la deslocalización a regiones de menores costos, especialmente en China y Corea del Sur (De Propriis y Bailey, 2020), impulsó a Alemania a desarrollar *software* de alta calidad para fortalecer este segmento y sostener la alta productividad y niveles de exportación (Federal Ministry for Economic Affairs and Energy, 2016; Kuo et al., 2019; Thelen, 2019).

En consecuencia, Alemania siguió un desarrollo del SSI distinto al modelo estadounidense de producción de servicios de *software* y de otros países cuya especialización fue promovida a partir de la deslocalización de Estados Unidos en base a menores costos, que producen para la exportación. La inversión en investigación y desarrollo (I+D) para el sector servicios es menor en Alemania que el promedio de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE), ya que el modelo está más orientado a bienes (Strambach, 2010). Ello ha generado cierta dependencia de los grupos tecnológicos estadounidenses y asiáticos que lideran los servicios informáticos, y una creciente competencia en el mercado interno con firmas de estos países (Kuo et al., 2019; Lechowski y Krzywdzinski, 2022). Entre los principales destinos de exportación del SSI alemán se encuentran los países vecinos de habla alemana, como Austria y Suiza, mientras que las importaciones provienen de Irlanda (tradicionalmente posicionado como una plataforma de exportación de EEUU a Europa), seguido de EEUU (Deloitte, 2019).

El desempeño del sector SSI se basa en una infraestructura educativa sólida desde un punto de vista científico y técnico. La calidad educativa y la fuerte tradición en investigación dieron lugar a una fuerza de trabajo calificada con altos salarios. Aproximadamente el 20% de los universitarios se gradúan en carreras de ciencia básica y aplicada.

Además del rol del Estado en la constitución de estas condiciones generales, determinadas políticas públicas acompañaron estos objetivos. El apoyo gubernamental al sector estuvo presente desde los inicios de su desarrollo en los ochenta, principalmente mediante el financiamiento a la investigación y educación, apuntalando la competitividad desde la calidad. Durante los noventa, además, se financiaron proyectos de incorporación de nuevas técnicas en *software* en los

productos comerciales, así como iniciativas para que desde el ámbito académico se originen nuevas empresas (Lehrer, 2000). En la segunda década de los dos mil se destaca el plan de aplicación de la Industria 4.0, que se propuso asegurar y expandir la posición líder internacional de Alemania en la industria manufacturera. Para ello, articula el trabajo de diversos ministerios, sindicatos y asociaciones empresariales, así como instituciones científicas, con planes de capacitación, financiamiento, investigación, así como el avance en temas de seguridad de datos y la estandarización de procesos para hacer compatibles los sistemas, de manera de extender estas prácticas especialmente a las empresas pequeñas y medianas, más reticentes. En 2018, se introdujo la “Estrategia de alta tecnología 2025” que aumentó el gasto en educación e I+D. Como plantean Topuria y Graf (2023), todas estas acciones se orientan “horizontalmente” a crear condiciones favorables, sin apuntar específicamente a fomentar el sector del *software*. En cambio, a partir de la crisis por la pandemia de Covid-19, se sumaron nuevas iniciativas que, coordinadas por la Unión Europea, apuntaron a la “transformación digital”, con préstamos y aportes significativos. Entre ellos, se destacan los ‘Important Projects of Common European Interest’ (IPCEI) de la UE que, ya antes de la pandemia financiaron a sectores vinculados al SSI como la microelectrónica (semiconductores), innovación en baterías, infraestructura en la nube.

Entre las principales limitaciones al crecimiento se encuentra la falta de trabajadores capacitados en la cantidad que la industria necesita. Esto expresa una tendencia global ya que, entre los países comparados, Alemania es quien tiene la mayor cantidad de trabajadores de información y comunicación. La bibliografía también sostiene que una limitación para acelerar los procesos de transformación digital es el alto nivel de inversión que requiere, en un escenario donde existe aún una gran dependencia de la importación de *software* y *hardware* (Lechowski y Krzywdzinski, 2022; Topuria y Graf, 2023).

Australia.

En la primera etapa del sector, un hito fundacional la historia informática australiana ocurrió en 1949 con la construcción en la Universidad de Sydney de la primera computadora digital electrónica de programa almacenado de Australia, CSIR Mk 1 (más tarde rebautizada como CSIRAC), por parte de un equipo de

científicos del Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation (CSIRO) y que fue utilizada para propósitos de investigación (Philipson, 2017). En la década de los sesenta, la industria del *software* australiana comenzó a crecer a la par de la adopción de computadoras en instituciones gubernamentales y empresas. En 1966 nace un actor clave del sector, la Australian Computer Society (ACS), asociación profesional del sector de tecnologías de la información de Australia, que se conforma a partir de la unión de cinco sociedades similares preexistentes, todas nacidas en la misma década (Philipson, 2017).

Apuntalado en estos avances, durante la segunda etapa ocurre el despegue de la industria de SSI australiana. Durante este período, esa industria experimentó un crecimiento significativo y muchas empresas locales desarrollaron soluciones de *software* innovadoras para los mercados nacionales e internacionales (Philipson, 2017). Hacia fin del siglo XX, prácticamente todas estas empresas habían sido adquiridas por multinacionales, que tenían un control aún más fuerte sobre la industria local. No obstante, algunas empresas continuaron siendo de propiedad local. Por ejemplo, Technology One, una empresa de *software* con sede en Brisbane, desarrolló una gama de soluciones de *software* empresarial para el sector público y otras industrias, y desde entonces se ha convertido en una de las empresas de *software* más grandes de Australia (Philipson, 2017).

En la tercera etapa, ya en la década de 1990, la industria continuó expandiéndose y surgieron muchas empresas locales, incluidas Sausage *Software*⁶, reconocida internacionalmente por sus herramientas y servicios de desarrollo web; MYOB, fuerte en *software* contable; y Atlassian, que se convirtió en una potencia. De hecho, hacia finales de la década comienzan a despegar las exportaciones de *software* australianas, que se duplicaron durante el siglo XXI.

Una tendencia notable durante la década del dos mil fue el auge del *software* de código abierto⁷, la creciente importancia de Internet y las aplicaciones basadas en

⁶ Más tarde fue rebautizada como Melbourne IT.

⁷ El software de código abierto se refiere al software que está disponible gratuitamente y que los usuarios pueden modificar y distribuir

la web. Esto condujo al crecimiento del modelo de *software* como servicio (SaaS), que permitió a las empresas acceder a aplicaciones de *software* a través de Internet. Nacieron nuevas empresas de *software* australianas que desarrollaron aplicaciones y servicios basados en la web. Sin embargo, durante la década del dos mil un desafío notable fue la creciente competencia de las empresas de desarrollo de *software* extraterritoriales, particularmente en países como China e India, esta última como resultado de los procesos de deslocalización. Esto condujo a una disminución en el número de trabajos de desarrollo de *software* en Australia. La última década se caracterizó por el aumento del uso de dispositivos y aplicaciones móviles y de soluciones de *software* basadas en la nube (Philipson, 2017).

En la actualidad, el sector de *software* emplea en Australia 244.000 trabajadores que producen un valor agregado de 25.000 millones de dólares, equivalente al 2,5% del producto australiano⁸. Al considerar el comercio total del sector SSI de Australia, el país experimenta un déficit comercial sustancial⁹. Sin embargo, en la categoría de paquetes de *software* y licencias asociadas, la producción local supera a las importaciones. Esto indica una especialización en el sector de *software* altamente calificado en lugar del sector de codificación estandarizado (Martinez-Fernández et al., 2005).

Si bien las exportaciones crecieron y se consolidaron grandes empresas exportadoras líderes a nivel mundial, la mayor parte de la producción tuvo como destino el mercado local, en particular al sector minero. Actualmente, Australia es líder mundial en desarrollo y *software* minero, siendo responsable del desarrollo de cerca del 60% de esta especialidad de *software* del mundo (Australian Trade and Investment Commission, 2013). El auge minero del país ha impulsado el desarrollo de este segmento de la industria del *software* desde finales de la década de los setenta. Por ejemplo, en 1979 fue fundada Mincom, una empresa de *software* minero con sede en Brisbane, que se convirtió en líder mundial en el desarrollo de *software* empresarial para la industria minera y fue adquirida por ABB en 2011. El sector de *software* minero australiano genera exportaciones por alrededor de 160

⁸ Datos de 2021. Fuente: Australian Bureau of Statistics.

⁹ Fuente: TiVA-OECD.

millones de dólares anuales y emplea a más de 2.500 trabajadores. Aun así, el *software* es una pequeña parte del valor de la tecnología minera exportada por Australia, que alcanza los 16 mil millones de dólares anuales (aproximadamente 10% de las exportaciones totales), más de 31.000 puestos de trabajo y 60 mil millones de dólares anuales de producto, incluyendo maquinaria y equipo, minería por contrato, exploración, insumos, servicios profesionales como ingeniería y consultoría y *software* (Australian Trade and Investment Commission, 2013).

La industria de *software* de minería de Australia ofrece una amplia gama de soluciones. En el área de exploración incluye sistemas de gestión de información geocientífica, modelado geológico y modelado y gestión de datos GPS/GIS. En la operación de la mina, el *software* facilita la planificación, programación y optimización de minas, optimización de transporte, monitoreo y optimización de voladuras, mantenimiento de minas y plantas, gestión de flotas, gestión y optimización de combustibles, modelado, planificación y optimización de ventilación de minas, monitoreo de neumáticos, imágenes láser 3D y simulación/modelado numérico. Para las operaciones de procesamiento, la industria ofrece soluciones para la optimización del control de procesos, imágenes láser 3D, diseño de ingeniería y control de supervisión y adquisición de datos (SCADA). En términos de salud y seguridad ocupacional, la industria ofrece soluciones para la gestión de turnos de trabajo, control y gestión de la fatiga, prevención/detección de colisiones y capacitación en simulación. Además, en el ámbito empresarial, la industria ofrece soluciones para la gestión logística y la optimización de la cadena de suministro, la planificación de recursos empresariales, la gestión de activos empresariales, el modelado y la optimización empresarial de varias minas y el modelado/optimización financiera.

Por último, la política industrial para el sector de SSI es relativamente no intervencionista y enfatiza la innovación como una fuente de ventaja competitiva continua. Se centra en estimular la I+D y fomentar la comercialización de ideas innovadoras. Un avance importante reciente en este sentido fue la creación en 2002 de la National ICT Australia (NICTA), una destacada organización de investigación financiada por el gobierno. En 2015 la NICTA se unió al CSIRO, conformando el área denominada Data61, área de investigación en soluciones digitales. Además, para apoyar el crecimiento del sector de las Tecnologías de la

información y las Comunicaciones (TIC), particularmente en las empresas de *software*, el gobierno ha implementado el “Programa de Incubadoras de TIC”. Este programa ha puesto en marcha incubadoras que no solo proporcionan capital semilla, sino que también ofrecen diversos servicios intensivos en conocimientos, como asesoramiento en gestión, tutoría y acceso a mercados. Australia también ha implementado programas industriales genéricos que benefician a las empresas de *software*. Por ejemplo, el programa “R&D Start” proporciona subvenciones equivalentes para actividades de investigación y desarrollo, lo que permite a las empresas de *software* invertir en innovación y mantener una ventaja competitiva, y el programa de Comercialización de tecnologías emergentes (COMET).

Argentina.

La producción de SSI en la Argentina tuvo un desempeño acotado durante las dos primeras etapas de historia del sector. El desarrollo de *software* comenzó con fines académicos y hacia la década de los ochenta inició su etapa comercial, siendo sus principales clientes empresas locales del sector bancario y servicios públicos. En los noventa, proveyó de servicios de infraestructura a las grandes empresas privatizadas (Robert et al., 2018). Sin embargo, el despegue ocurrió cuando ya estaba consolidada la tercera etapa del sector, durante los años dos mil, cuando la producción local se vio estimulada a partir de la devaluación de 2001, que abarató los costos laborales y las tarifas, y generó un tipo de cambio favorable para la producción local, la radicación de empresas multinacionales y la exportación, marcando una orientación exportadora del sector de SSI que se ha mantenido hasta la actualidad. La alta calificación de los trabajadores locales, producto de una educación pública de calidad fue central para el desarrollo del sector. Estas condiciones posicionaron a la Argentina como un lugar atractivo para deslocalizar parte de la producción global. Desde entonces, el SSI se constituye como uno de los sectores más dinámicos en términos de creación de empleo y de empresas y conforma un sector exportador en base a trabajo calificado.

Las ventas totales superan los 5.411 millones de dólares anuales, de los cuales 2.609 corresponden a ventas al exterior (datos de 2022), las cuales crecieron desde inicios del milenio hasta superar las ventas al mercado interno: en el año 2002, las ventas totales de la industria alcanzaban apenas 691 millones de dólares,

de las cuáles apenas 34 millones correspondían a exportaciones. El sector continúa expandiéndose, de hecho, entre 2010 y 2022, las exportaciones crecieron a una tasa promedio anual acumulada del 6% y el empleo registrado lo hizo al 4% promedio anual. Desde 2015, las ventas comenzaron a oscilar, con años de exportaciones récord, como 2017, y otros de baja, donde los movimientos del tipo de cambio incidieron fuertemente. A partir de 2022, el sector retoma el sendero de crecimiento rápido de las ventas, exportaciones y empleo¹⁰.

En la actualidad, el sector cuenta con más 5.900 empresas de las cuales el 72% son microempresas (hasta 9 empleados), 21% son pequeñas (entre 10 y 49 empleados), 6% son medianas (entre 50 y 200 empleados) y 1% son grandes (más de 200 empleados)¹¹. Emplea a más de 140.000 trabajadores registrados y es el sector con mayor crecimiento relativo del empleo en la posconvertibilidad. Además de crear trabajo calificado, los salarios se ubican por encima del promedio nacional. Sin embargo, la falta de representación sindical para los trabajadores del *software* - debido a que desde el Estado no se otorgó personería jurídica hasta 2020 a ninguno de los sindicatos conformados - determinaron que los aumentos salariales fueran menores en promedio que en los sectores sindicalizados (Adamini, 2021; Zukerfeld y Rabosto, 2019).

Inicialmente, las empresas se ubicaron en la zona central del país, fundamentalmente en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires, el Gran Buenos Aires y las ciudades de Córdoba y Rosario, localizaciones que aún concentran el mayor número de empresas. Pero la necesidad de encontrar mano de obra calificada impulsó la formación de clústeres de empresas en otras ciudades de la Provincia de Buenos Aires, tales como Bahía Blanca, La Plata, Junín, Mar del Plata y Tandil. También en ciudades de otras provincias como Bariloche, Jujuy, Mendoza, Neuquén, Paraná, Rafaela, Río Cuarto, Salta, San Luis, Santa Fe y Tucumán (Ministerio de Hacienda y Finanzas Públicas, 2016). Las universidades públicas son un elemento fundamental en la búsqueda de mano de obra calificada a bajo costo, y los centros de producción de *software* en el país se vinculan estrechamente con la localización

¹⁰ Fuente: OPSSI-CESSI.

¹¹ Fuente: OEDE (datos de 2021).

de las mismas. Sin embargo, el aumento de la demanda de estos trabajadores resulta una preocupación para los capitales del sector, debido a la falta de recursos en cantidad suficiente para su expansión. En consecuencia, los trabajadores del sector se caracterizan por un alto nivel de abandono de los estudios universitarios, ya que son contratados tempranamente para trabajar y capacitados en las mismas empresas. Esto explica además la proliferación de capacitaciones menos completas, como cursos intensivos y otras capacitaciones cortas.

El perfil del sector en la Argentina se constituyó a partir del fenómeno de deslocalización global: el principal destino de las exportaciones es Estados Unidos, seguido por la demanda de países latinoamericanos. La principal demanda proviene del propio sector SSI, seguido de los servicios financieros y bancarios. La desintegración del tejido industrial y la baja integración local de las cadenas primarias, especialmente en energía y minería, redujeron la demanda local para el sector de SSI, construyendo un sector que progresivamente se orientó a la exportación de servicios de *software* a medida, sin una especialización transversal clara.¹² La manufactura y el agro/agroindustria representan una porción muy poco significativa de las ventas totales (5 y 2% respectivamente)¹³. Si bien el mercado interno argentino tiene una gran potencialidad de introducción de *software* para la digitalización, automatización y mejora de procesos en general, también se enfrenta a obstáculos debido a la baja inversión y las crisis recurrentes, que impiden que las pequeñas y medianas empresas demanden *software* específico (Podestá, 2024). Más allá del crecimiento generalizado de la producción, diversos autores enfatizan en la necesidad de pasar de la realización de *software* a medida, del *software* factory y la exportación de horas-hombre de programación a la producción de productos de *software* y servicios más sofisticados (Artopoulos, 2020; Baum et al., 2022; López y Ramos, 2018).

Si bien la desintegración del tejido industrial redujo la demanda local de SSI, la industrialización previa, impulsada por las políticas de ISI, dejó un acervo de instituciones de apoyo a la producción que, a pesar de la posterior

¹² Esta especialización cuenta con la competencia de otros países de bajos costos.

¹³ Fuente: OPSSI-CESSI.

desindustrialización, continuó desempeñando un papel clave en el desarrollo productivo del país. Entre 1930 y 1976 se crearon 20 Universidades Nacionales, entre ellas la Universidad Tecnológica Nacional. También se crearon otras instituciones que componen el sistema científico y tecnológico nacional como el Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), el Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI) y el Instituto Nacional de Educación Tecnológica (INET). Estas instituciones han sido esenciales para la formación de una fuerza laboral calificada y el desarrollo de capacidades tecnológicas, facilitando la inserción de la Argentina en el mercado global de SSI tras la internacionalización del sector. Este conjunto de instituciones públicas es clave para explicar el mayor desarrollo del sector de SSI en la Argentina en comparación con otros países no industrializados.

Los esfuerzos específicos de política para promocionar el sector coinciden con su despegue, durante los primeros años de la década de los dos mil. El principal instrumento fue la creación en el año 2004 del Régimen de Promoción de la Industria del *Software* por medio de la Ley N° 25.922¹⁴, impulsada por el Estado en colaboración con la Cámara Empresaria del *Software* y los Servicios Informáticos (CESSI). Se otorgaron beneficios fiscales a las empresas del sector que realizaran gastos de investigación y desarrollo, certificación de calidad y/o exportaciones de *software*, además de garantizar estabilidad fiscal por diez años y acceso a divisas para la importación de *hardware*. Es decir, de esta manera se promovieron fundamentalmente las exportaciones, dado que las certificaciones de calidad son requisitos usuales a la hora de vender a mercados externos. La mencionada Ley también creó el Fondo Fiduciario de Promoción de la Industria del *Software* (FONSOFT) con el fin de financiar proyectos de investigación y desarrollo, programas de capacitación de recursos humanos, programas para la mejora en la calidad de los procesos de creación, diseño, desarrollo y producción de *software* y programas de asistencia para la constitución de nuevos emprendimientos. El

¹⁴ Con anterioridad a la sanción de esta ley, en 2003 se realizaron los Foros de Competitividad para discutir la formulación de políticas orientadas a promover diferentes sectores, entre ellos el de SSI. De estos foros nació el Plan Estratégico de Software y Servicios de Información 2004-2014. También es un antecedente relevante la sanción de la Ley N° 25.856 que estableció a la producción de software como una “actividad productiva de transformación pasible de ser promocionada”.

FONSOFT se implementó a través de convocatorias concursables que requerían que los participantes residieran en el país y aumentaran la creación de empleo y las exportaciones. Además, la ley creó la Fundación Sadosky, organización público-privada “cuyo objetivo es favorecer la articulación entre el sistema científico-tecnológico y la estructura productiva en todo lo referido a la temática de las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC)”¹⁵.

La Ley N° 25.922 del año 2011 extendió la duración del régimen hasta 2019, al mismo tiempo que introdujo algunas modificaciones, como volver más exigentes los requisitos para que una empresa sea beneficiaria del régimen. Desde entonces serían beneficiarias aquellas empresas que cumplieran con al menos dos de las actividades antes mencionadas: investigación y desarrollo, certificación de calidad o aumento de las exportaciones. En el año 2019, se creó el Régimen de promoción de la economía del conocimiento mediante la Ley N° 27.506¹⁶, que continuó los beneficios al sector de SSI y los extendió a una gran cantidad de otras industrias vinculadas a la innovación. La denominada “economía del conocimiento” se abrió paso como un sector dinámico, cuyos intereses son representados por la Cámara empresaria Argencon. En 2020, el cambio de gobierno llevó adelante algunos ajustes de la ley anterior, principalmente escalonando los beneficios a las empresas según su tamaño, disminuyéndolos para las más grandes y sosteniendo los de las pequeñas y medianas. En todos los casos se privilegió la política fiscal. La creciente importancia del sector cristalizó en su lugar en Ministerios y Secretarías - cambiantes desde el inicio del milenio hasta la actualidad - desde donde se articularon otras políticas públicas complementarias. Entre ellas, se destaca la realización de capacitaciones masivas en programación para la población en general - en los planes “111 Mil” y “Argentina Programa” - aunque no tuvieron los resultados esperados en términos de formación e inserción laboral, así como el financiamiento para la digitalización, capacitaciones y organización de misiones comerciales, entre otras.

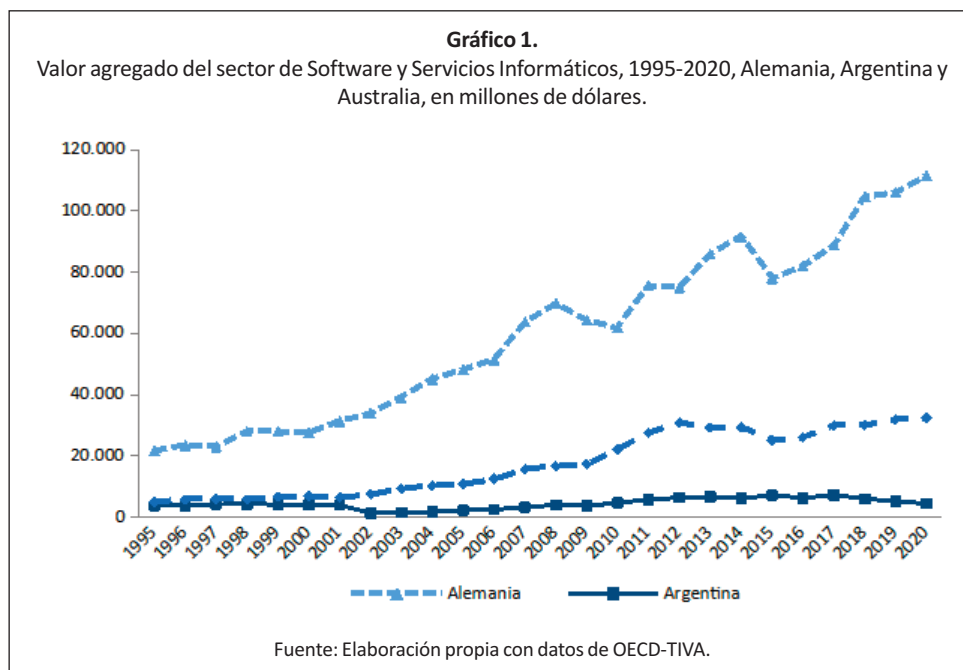
¹⁵ Tomado de <https://www.fundacionsadosky.org.ar/presentacion-institucional/>.

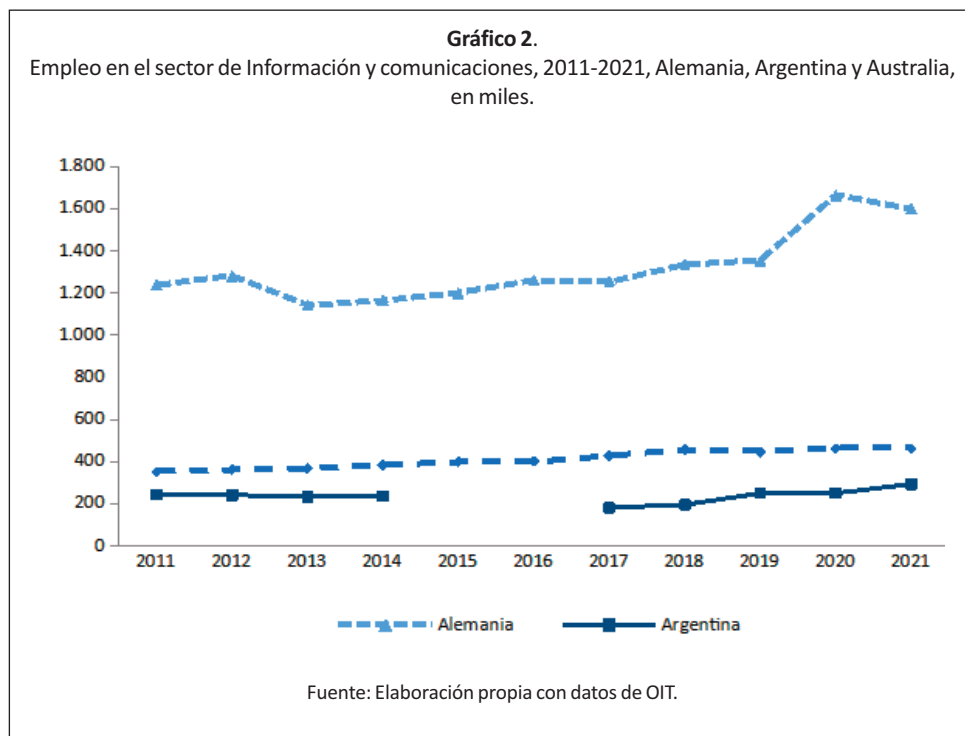
¹⁶ Modificada por la ley Ley N° 27.570 del año 2020.

El SSI de la Argentina: un análisis comparado de indicadores seleccionados.

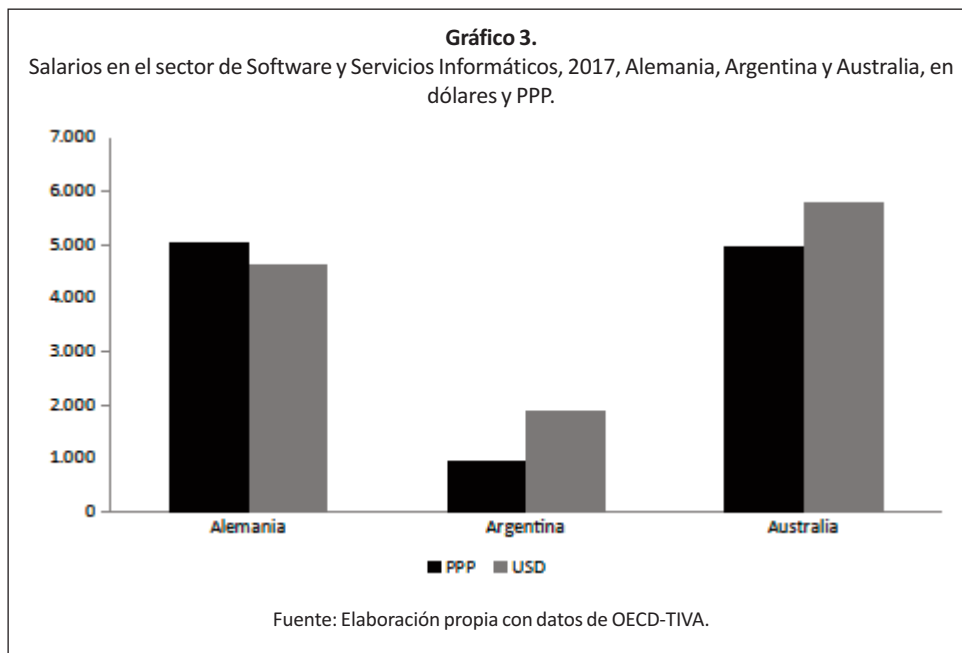
En esta sección se presentan datos cuantitativos para comparar las características y la evolución reciente del sector de SSI en Alemania, Argentina y Australia. Debido a limitaciones en la disponibilidad de información, los datos analizados corresponden únicamente a partir de la tercera y la cuarta etapa de la historia del sector, tal como se describe en la Sección 2. En primer lugar, se analizan el valor agregado, el empleo, los salarios y las exportaciones, para comparar las características generales del sector y su evolución en cada país. Luego, se introducen dos indicadores que evalúan su integración con el entramado productivo local: el coeficiente exportador y las exportaciones indirectas. Estos indicadores permiten examinar la relación entre las particularidades nacionales del sector y su grado de vinculación con el resto de la economía, en línea con la hipótesis de trabajo.

El Gráfico 1 muestra el valor agregado generado por el sector de SSI en cada país. El sector en la Argentina tiene un tamaño reducido en comparación al de los



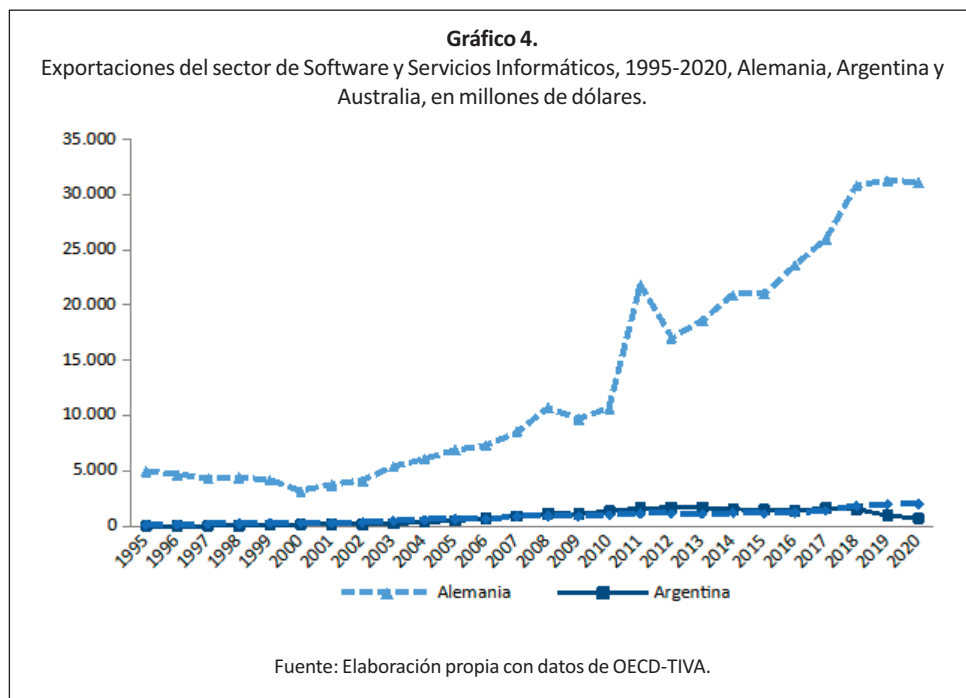


otros países: en Alemania es 20 veces mayor y en Australia, 6 veces. En los 3 países el SSI tiene una trayectoria de crecimiento sostenido que se inicia alrededor del año 2002, coincidente con la consolidación de esta industria a nivel global. En la Argentina, el crecimiento se acelera tras la sanción de la mencionada Ley N° 25.922 que crea el Régimen de Promoción de la Industria del *Software* y la devaluación del peso que abarató los costos. El valor agregado del sector en la Argentina se estanca desde 2012, lo cual no se condice con el crecimiento del empleo en Australia y Alemania (Gráfico 2). La razón de esta discrepancia puede ser la imposición de controles cambiarios, la aparición de cotizaciones paralelas con amplia brecha con la oficial que incentiva a no registrar las operaciones, en particular las de exportación y las condiciones de acumulación locales que mostraron un estancamiento a partir de ese año.



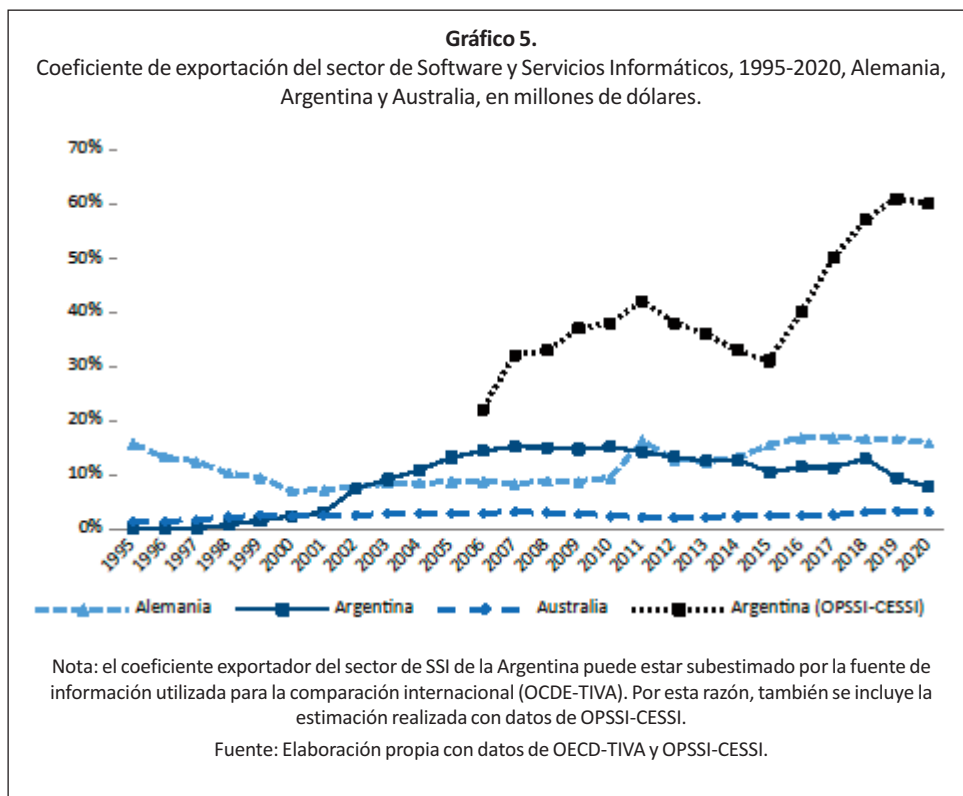
La diferencia en el valor agregado del sector en la Argentina y en los otros dos países (Gráfico 1) se explica en parte por la diferencia en el tamaño del sector medido en empleo (Gráfico 2) y en parte por la diferencia del salario en dólares de los trabajadores informáticos (Gráfico 3). Esta diferencia salarial, junto a las consideraciones realizadas anteriormente sobre el tipo de *software* en que cada país se especializa, sugiere que la producción de menor valor agregado en la Argentina requiere trabajadores menos calificados de menores salarios, donde la competencia internacional es más aguda. Las diferencias salariales se reducen parcialmente al medirlo en paridad de poder adquisitivo debido al menor costo de vida de la Argentina.

Respecto a las exportaciones, el Gráfico 4 muestra nuevamente la preeminencia de Alemania, mientras que la Argentina se ubica mucho más próxima a Australia en este indicador. La razón es que el sector de SSI en la Argentina está mucho más orientado a la exportación, tal como indica el mayor coeficiente de exportación



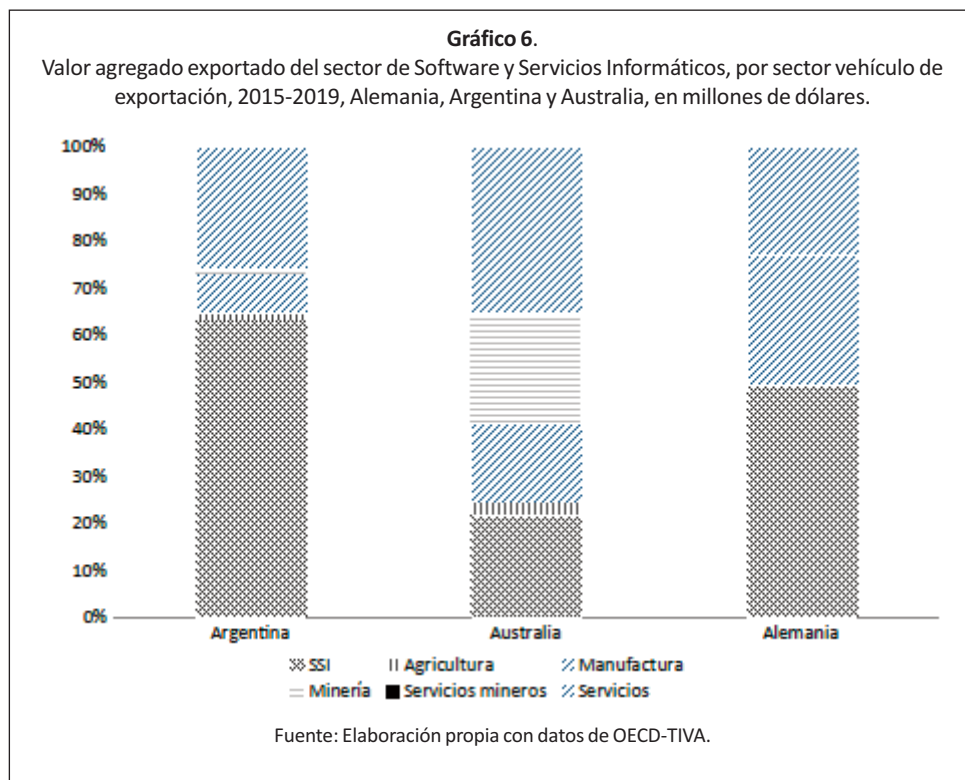
(Gráfico 5). Este coeficiente también es afectado por el hecho de que el precio de las ventas al mercado interno puede ser más bajo medido en dólares debido a la menor capacidad de pago de los clientes locales, por una menor demanda doméstica debido a la desintegración de su estructura productiva y sus bajos niveles de crecimiento e inversión y al incentivo exportador de la Ley N° 25.922. La Argentina muestra la orientación a la exportación más marcada de los tres países analizados.

Otra forma de exportación del valor agregado generado por un sector es la indirecta, como parte del valor agregado incluido en la producción de un bien exportado. Para dar cuenta de la forma de exportación indirecta es necesario considerar la cadena de producción de un bien y el valor agregado por cada etapa de la producción. Así, por ejemplo, si Australia exporta oro y las mineras contratan a empresas del sector de SSI australiano para desarrollar *software* para la explotación minera, se considera que una parte del valor agregado incluido en las



exportaciones de oro australianas corresponde al sector de SSI. Esta forma de exportación contrasta con lo que podemos denominar forma “directa” de exportación que corresponde a las exportaciones de *Software* y Servicios Informáticos, que contienen mayormente valor agregado generado por este sector (Gráficos 4 y 5). El Gráfico 6 muestra el valor agregado generado en el sector de SSI que es exportado en forma directa o en forma indirecta a través de otros sectores.

La Argentina exporta valor agregado generado por el sector de SSI mayormente en forma directa porque su sector de SSI está orientado a la exportación. También exporta SSI a través de servicios (profesionales) y en menor medida a través de la manufactura. Australia es el país que menos exporta directamente, exporta valor



agregado principalmente a través de servicios (educación, transporte, profesionales, turismo), minería y manufactura. Si bien Australia exporta servicios mineros, la exportación por esta vía es menor en comparación con los otros sectores. Alemania además de exportar directamente, lo hace en buena medida a través de la manufactura y servicios (profesionales, financieros, transporte).

4. Conclusiones.

El sector de *software* y servicios informáticos (SSI) en la Argentina ha experimentado un notable crecimiento en las últimas dos décadas, generando empleo calificado y divisas. Sin embargo, en la comparación internacional realizada

en este estudio se observa que el sector de SSI en Australia y Alemania presenta un desempeño superior en términos de empleo, salarios y ventas.

El análisis de la trayectoria del sector en los países estudiados permite identificar varias coincidencias. En primer lugar, el crecimiento del sector ha sido impulsado por tendencias tecnológicas globales, como la expansión de la demanda de SSI para usos cada vez más diversos y la internacionalización de sus mercados. En segundo lugar, la naturaleza transable del sector y sus bajas barreras de entrada facilitaron su inserción en el comercio internacional, aunque con variaciones en intensidad y modalidad según el país. En tercer lugar, las políticas públicas jugaron un rol fundamental en su desarrollo, reconociendo su carácter estratégico.

No obstante, existen diferencias significativas en la evolución del sector en cada país. Alemania y Australia comenzaron a desarrollar sus capacidades en SSI en las primeras etapas de la historia del sector, mientras que en la Argentina el crecimiento del sector fue más tardío, impulsado por la deslocalización productiva en la tercera etapa. El nacimiento del sector en Alemania estuvo vinculado a su tradición en la producción de *hardware*, donde el sector de *software* inicialmente estaba integrado. En estos casos, las empresas de SSI contaban con conocimientos, trabajadores y trayectoria en el campo de la informática. En Australia, el origen del sector estuvo impulsado por los desarrollos en el ámbito científico. En contraste, en la Argentina los avances en estas etapas fueron más acotados. El retraso tecnológico e industrial postergó su expansión hasta la tercera etapa, resultando en una inserción subordinada en la cadena de valor global. El perfil del sector de SSI argentino no sólo responde al momento histórico de su desarrollo, sino también a las características del entorno productivo nacional.

En este sentido y en línea con la hipótesis de trabajo, otra diferencia clave entre la Argentina y los casos de comparación radica en la vinculación del sector con el entramado productivo doméstico. El sector de SSI en Alemania y Australia fue impulsado en mayor medida por la demanda local, mientras que en la Argentina el crecimiento estuvo más orientado a la exportación. En Alemania, la demanda clave provino del sector industrial, mientras que, en Australia, el sector minero fue el principal demandante. Esta demanda doméstica facilitó la construcción de capacidades que posteriormente sirvieron de base para la exportación, como

ocurrió con el *software* minero australiano o la especialización alemana en la digitalización de ciertas industrias relevantes en su territorio. En la Argentina, la desintegración del tejido industrial y la baja integración local de las cadenas primarias, especialmente en energía y minería, redujeron la demanda local para el sector de SSI, construyendo un sector que progresivamente se orientó a la exportación de servicios de *software* a medida, sin una especialización transversal clara. Esta especialización cuenta con la competencia de otros países de bajos costos.

El sector industrial argentino no logró impulsar el desarrollo del SSI al nivel alcanzado en Alemania y Australia. El despegue global del sector SSI coincidió con un proceso de desindustrialización en la Argentina, que provocó una significativa pérdida de capacidades en la mayoría de las ramas manufactureras, incluidas aquellas estrechamente vinculadas al sector de SSI, como la electrónica. Esta contracción industrial limitó tanto la demanda interna que podría haber dinamizado el sector como las capacidades tecnológicas necesarias para su desarrollo. Además, la reducción de la demanda industrial no pudo ser compensada por los sectores productores de materias primas, como el agropecuario, la minería y la energía.

No obstante, la industrialización impulsada por las políticas de ISI dejó un acervo institucional que, a pesar de la posterior desindustrialización, continuó desempeñando un papel clave en el desarrollo productivo del país. Estas instituciones han sido esenciales para la formación de una fuerza laboral calificada y el desarrollo de capacidades tecnológicas, facilitando la inserción de la Argentina en el mercado global de SSI tras la internacionalización del sector.

En tercer lugar, las políticas para el sector en Alemania y Australia se orientaron hacia la educación, la vinculación con el ámbito académico y la modernización tecnológica de las empresas, incluyendo la adopción de tecnologías 4.0. En contraste, en la Argentina, la promoción del sector se basó principalmente en exenciones impositivas y en la formación acelerada de programadores, sin un énfasis en la calidad, la cual sigue dependiendo de la educación universitaria. Además, se prestó poca atención a la vinculación tecnológica y a la integración con el aparato productivo local. Como resultado, las políticas implementadas no buscaron

modificar el patrón de inserción internacional del sector, determinado por la trayectoria productiva del país y las transformaciones globales en la industria.

Finalmente, el trabajo abre algunos interrogantes con relación a las transformaciones de los procesos productivos del SSI. Concretamente, la incorporación de IA para la realización de algunas tareas, entre las cuales se destaca por sus avances el apoyo de los algoritmos para la escritura de código, apuntan a mejorar la productividad de estas tareas y funcionar como asistentes de los trabajadores del SSI. En consecuencia, se plantea la pregunta acerca de un posible reemplazo de trabajadores en estos puestos específicos, más técnicos, por la IA. ¿Es inminente este reemplazo? Con relación a la comparación realizada, ¿cómo se distribuirá la utilización de IA en las tareas que se realizan en cada país? ¿Qué grado de automatización tienen las actividades en que se emplean los trabajadores de SSI en nuestro país?

Bibliografía.

- Adamini, M. (2021, diciembre). ¿Informáticos y des-sindicalizados? Reflexiones sobre la organización y acción colectiva en el sector de *Software* y Servicios Informáticos. *15° Congreso Nacional de Estudios del Trabajo*. Asociación Argentina de Especialistas en Estudios del Trabajo, Buenos Aires, Argentina. <https://aset.org.ar/congresos/15o-congreso-nacional-de-estudios-del-trabajo/grupo-tematico-no9/>
- Arora, A., y Gambardella, A. (Eds.). (2005). *From underdogs to tigers: The rise and growth of the software industry in Brazil, China, India, Ireland, and Israel*. Oxford University Press.
- Artopoulos, A. (2020). Orígenes del subdesarrollo informacional. De la industria del *software* al extractivismo de talento en Argentina (2002-2019). En A. Rivoir, *Tecnologías digitales y transformaciones sociales. Desigualdades y los desafíos en el contexto latinoamericano actual* (pp. 35–61). CLACSO. Facultad de Ciencias Sociales de la Universidad de la República (Uruguay). Observatic.

- Australian Trade and Investment Commission. (2013). *Mining Software and Specialised Technologies*.
- Baum, G., Moncaut, N., y Robert, V. (2022). Extractivismo de capacidades: El caso del sector de *software* y servicios informáticos argentino. *Problemas del Desarrollo. Revista Latinoamericana de Economía*, 53(211), 3–28. <https://doi.org/10.22201/iiec.20078951e.2022.211.69880>
- Broy, M., Hartkopf, S., Kohler, K., y Rombach, D. (2001). Germany: Combining *software* and application competencies. *IEEE Software*, 18(4), 93–95. <https://doi.org/10.1109/MS.2001.936224>
- Campbell-Kelly, M. (1995). Development and Structure of the International *Software* Industry, 1950-1990. *Business and Economic History*, 24(2), 73–110.
- Campbell-Kelly, M. (2004). *From Airline Reservations to Sonic the Hedgehog: A History of the Software Industry*. MIT Press.
- Cassini, L. (2023). Path-dependent productive specialization: Should prematurely deindustrialized countries shift to a KIBS export-led strategy? *Structural Change and Economic Dynamics*. <https://doi.org/10.1016/J.STRUECO.2023.02.016>
- De Propriis, L., y Bailey, D. (Eds.). (2020). *Industry 4.0 and regional transformation* (1 Edition). Routledge.
- Deloitte. (2019). *The German Technology Sector. From hardware to software & services*. <https://www2.deloitte.com/de/de/pages/trends/study-german-technology-sector.html>
- Federal Ministry for Economic Affairs and Energy. (2016). *Digitization of Industrie – Plattform Industrie 4.0* (Progress Report). Federal Ministry for Economic Affairs and Energy. <https://www.plattform-i4.0.de>.
- Feuerstein, P. (2013). Patterns of Work Reorganization in the Course of the IT Industry's Internationalization. *Competition & Change*, 17(1), 24–40.
- Friedenthal, T., y Starosta, G. (2016). The New International Division of Labour in 'High-Tech Production': The Genesis of Ireland's Boom in the 1990s. En G. Charnock y G.

- Starosta (Eds.), *The New International Division of Labour* (pp. 127–156). Palgrave Macmillan UK. https://doi.org/10.1057/978-1-137-53872-7_6
- Gereffi, G. (2001). Las cadenas productivas como marco analítico para la globalización. *Problemas del Desarrollo*, 32(125), 30.
- Girolimo, U. (2020). *Ciudades, actores y redes. Los procesos de innovación sociotecnológica en el sector software y servicios informáticos en Tandil y Bahía Blanca (2003-2018)*. Universidad de Buenos Aires.
- Gonzalo, M., Martins, P., y Szapiro, M. (2018). *Policy Brief Sistemas Setoriais de Inovação em Países Emergentes: O Software na Índia e no Brasil em Perspectiva Comparada*. BRICS Policy Center.
- Greengard, S. (2023). AI Rewrites Coding. *Communications of the ACM*, 66(4), 12–14. <https://doi.org/10.1145/3583083>
- Haidar, J., y Keune, M. (2021). Introduction: Work and Labour Relations in Global Platform Capitalism. En J. Haidar & M. Keune (Eds.), *Work and Labour Relations in Global Platform Capitalism* (pp. 1–27). Edward Elgar Publishing. <https://doi.org/10.4337/9781802205138>
- Hirsch, D., Iñigo, L., y Río, V. (2023, julio 3). Automatización y atributos de la fuerza de trabajo. Notas sobre el contenido material del devenir de la escolarización. *Viento Sur*, 188. <https://vientosur.info/automatizacion-y-atributos-de-la-fuerza-de-trabajo-notas-sobre-el-contenido-material-del-devenir-de-la-escolarizacion/>
- Huws, U. (2006). *The Transformation of Work in a Global Knowledge Economy: Toward a Conceptual Framework*. Katholieke Universiteit.
- Iñigo, L., y Río, V. (2023). Acumulación de capital, industrialización y fuerza de trabajo [Presentación en Jornadas]. *Jornadas de Economía Crítica*, Mesa, Montevideo, Uruguay.
- Kenney, M. (2017). *Explaining the Growth and Globalization of Silicon Valley: The Past and Today*. <http://www.brie.berkeley.edu/wp-content/uploads/2015/01/BRIE-Working-paper-2017-1.pdf>.

- Kuo, C.-C., Shyu, J. Z., y Ding, K. (2019). Industrial revitalization via industry 4.0 – A comparative policy analysis among China, Germany and the USA. *Global Transitions*, 1, 3–14. <https://doi.org/10.1016/j.glt.2018.12.001>
- Lechowski, G., y Krzywdzinski, M. (2022). Emerging positions of German firms in the industrial internet of things: A global technological ecosystem perspective. *Global Networks*, 22(4), 666–683. <https://doi.org/10.1111/glob.12380>
- Lehrer, M. (2000). From Factor of Production to Autonomous Industry: The Transformation of Germany's *Software Sector*. *Vierteljahrshefte Zur Wirtschaftsforschung*, 69(4), 587–600. <https://doi.org/10.3790/vjh.69.4.587>
- Leimbach, T. (2008). The SAP Story: Evolution of SAP within the German *Software Industry*. *IEEE Annals of the History of Computing*, 30(4), 60–76. *IEEE Annals of the History of Computing*. <https://doi.org/10.1109/MAHC.2008.75>
- Lippoldt, D. C., & Strykowski, P. (2009). *Innovation in the Software Sector*. OECD. <https://doi.org/10.1787/9789264076761-en>
- López, A., y Ramos, A. (2018). El sector del *software* y servicios informáticos en la Argentina. Evolución, competitividad y políticas públicas. CECE. <https://fcece.org.ar/wp-content/uploads/informes/software-servicios-informaticos-argentina.pdf>
- Martinez-Fernández, M. C., Soosay, C., Venkata, K., Turpin, T., y Bjorkli, M. (2005). Knowledge Intensive Service Activities in Innovation of the *Software Industry* in Australia. University of Western Sydney.
- Meziane, F., y Vadera, S. (2010). Artificial Intelligence in *Software Engineering Current Developments and Future Prospects*. En Farid Meziane y Sunil Vadera (Eds.), *Artificial intelligence applications for improved software engineering development: New prospects*. IGI Global.
- Ministerio de Hacienda y Finanzas Públicas. (2016). Informes de Cadenas de Valor: *Software y Servicios Informáticos* (12; Informes de cadenas de valor). https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/sspe_cadena_de_valor_servicios_si.pdf

- Moncaut, N. (2019). Objetivos públicos y privados en el desarrollo económico territorial: El caso del clúster de *software* de Tandil [Tesis Doctoral, UNSAM]. <http://ri.unsam.edu.ar/handle/123456789/974>
- Nghiem, K., Nguyen, A. M., y Bui, N. D. Q. (2024). *Envisioning the Next-Generation AI Coding Assistants: Insights & Proposals* (Versión 1). arXiv. <https://doi.org/10.48550/ARXIV.2403.14592>
- Philipson, G. (2017). *A Vision Splendid: The History of Australian Computing*. Australian Computer Society.
- Picot, A., Benlian, A., Gold, B., Hess, T. y Hörndlein, C. (2015). *The Internationalization of German Software-based Companies: Sustainable Growth Strategies for Small and Medium-sized Companies*. Springer International Publishing.
- Podestá, F. (2023). La complejidad del trabajo de *software* en Argentina. Un análisis comparativo con Estados Unidos e India. *H-Industri@ Revista de historia de la industria, los servicios y las empresas en América Latina*, 17(32), 81-104.
- Podestá, F. (2024). El *software* y los servicios informáticos de Argentina y la integración productiva en la posconvertibilidad (2002-2021). Un análisis de sus posibilidades y limitaciones. *Revista de Economía Política de Buenos Aires*, 29, 41-72.
- Poldrack, R. A., Lu, T., y Beguš, G. (2023). AI-assisted coding: Experiments with GPT-4 (Versión 1). arXiv. <https://doi.org/10.48550/ARXIV.2304.13187>
- Pothukuchi, A. S., Kota, L. V., y Mallikarjunaradhya, V. (2023). Impact of generative ai on the *software* development lifecycle (sdlc). *International Journal of Creative Research Thoughts*, 11(8). https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=4536700
- Puri, R., Kung, D. S., Janssen, G., Zhang, W., Domeniconi, G., Zolotov, V., Dolby, J., Chen, J., Choudhury, M., Decker, L., Thost, V., Buratti, L., Pujar, S., Ramji, S., Finkler, U., Malaika, S., y Reiss, F. (2021). *CodeNet: A Large-Scale AI for Code Dataset for Learning a Diversity of Coding Tasks* (arXiv:2105.12655). arXiv. <http://arxiv.org/abs/2105.12655>
- Robert, V., y Moncaut, N. (2020). La programación, ¿una clave para desarticular los discursos apocalípticos sobre el futuro del trabajo? *Voces en el Fénix*, 80, 32-39.

- Robert, V., Moncaut, N., y Vázquez, D. (2018). Clusters de *software* y servicios informáticos en países pioneros y de ingreso tardío. En G. Gutman, S. Gorenstein, y V. Robert, *Territorios y nuevas tecnologías. Desafíos y oportunidades en Argentina* (p. 280). Ed. Carolina Kenigstein.
- Sarkar, A., Gordon, A. D., Negreanu, C., Poelitz, C., Ragavan, S. S., y Zorn, B. (2022). What is it like to program with artificial intelligence? (arXiv:2208.06213). arXiv. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2208.06213>
- Siebert, R. (2020). 50 years (and more) of German computer history. *International Journal of Parallel, Emergent and Distributed Systems*, 35(2), 193–208. <https://doi.org/10.1080/17445760.2019.1710148>
- Strambach, S. (2010). 19 Path dependence and path plasticity: The co-evolution of institutions and innovation—the German customized business *software* industry. *The handbook of evolutionary economic geography*, 406.
- Thelen, K. (2019). *Transitions to the Knowledge Economy in Germany, Sweden and the Netherlands*. Thelen. <https://dspace.mit.edu/handle/1721.1/120560>
- Topuria, S., y Graf, H. (2023). German industrial policy and the twin transition: Pre- and post-Covid trajectories in the automotive and IT services sectors (213/2023). Hochschule für Wirtschaft und Recht Berlin, Institute for International Political Economy (IPE). <http://hdl.handle.net/10419/272273>
- Weisz, J. D., Muller, M., Ross, S. I., Martinez, F., Houde, S., Agarwal, M., Talamadupula, K., y Richards, J. T. (2022). Better Together? An Evaluation of AI-Supported Code Translation. *27th International Conference on Intelligent User Interfaces*, 369–391. <https://doi.org/10.1145/3490099.3511157>
- Zukerfeld, M., y Rabosto, A. (2019). El sector argentino de *software*: *Desacoples entre empleo, salarios y educación, en Ciencia, Tecnología y Política*, 2(2). <https://doi.org/10.24215/26183188e021>