

Inteligencia artificial en el sector de la maquinaria agrícola de Argentina: diagnóstico de madurez y recomendaciones de política para acelerar la adopción

**Sector de Instituciones para
el Desarrollo**

**División de Competitividad,
Tecnología e Innovación**

**DOCUMENTO PARA
DISCUSIÓN N°
IDB-DP-897**

Preparado para el Banco Interamericano de Desarrollo por:

Grace Abuhamad
Cory Salveson
Lilia Stubrin
Carlos Braga

Inteligencia artificial en el sector de la maquinaria agrícola de Argentina: diagnóstico de madurez y recomendaciones de política para acelerar la adopción

Preparado para el Banco Interamericano de Desarrollo por:

Grace Abuhamad
Cory Salveson
Lilia Stubrin
Carlos Braga

Febrero de 2022

<http://www.iadb.org>

Copyright © 2022 Banco Interamericano de Desarrollo. Esta obra se encuentra sujeta a una licencia Creative Commons IGO 3.0 Reconocimiento-NoComercial-SinObrasDerivadas (CC-IGO 3.0 BY-NC-ND) (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/igo/legalcode>) y puede ser reproducida para cualquier uso no-comercial otorgando el reconocimiento respectivo al BID. No se permiten obras derivadas.

Cualquier disputa relacionada con el uso de las obras del BID que no pueda resolverse amistosamente se someterá a arbitraje de conformidad con las reglas de la CNUDMI (UNCITRAL). El uso del nombre del BID para cualquier fin distinto al reconocimiento respectivo y el uso del logotipo del BID no están autorizados por esta licencia CC-IGO y requieren de un acuerdo de licencia adicional.

Nótese que el enlace URL incluye términos y condiciones adicionales de esta licencia.

Las opiniones expresadas en esta publicación son de los autores y no necesariamente reflejan el punto de vista del Banco Interamericano de Desarrollo, de su Directorio Ejecutivo ni de los países que representa.





ELEMENT^{AI}

INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN EL SECTOR DE LA MAQUINARIA AGRÍCOLA DE ARGENTINA

DIAGNÓSTICO DE MADUREZ Y RECOMENDACIONES
DE POLÍTICA PARA ACELERAR LA ADOPCIÓN

ÍNDICE

	Resumen ejecutivo	VIII
	Prefacio	XIII
	Agradecimientos	XIV
1.	Introducción	p. 1
2.	El impacto de la IA en la producción	p. 3
2.1.	Definición de IA	p. 4
2.2.	Creación de valor a partir de la IA	p. 5
2.3	Formación de un ecosistema de IA	p. 6
3.	El marco de madurez de la IA	p. 10
3.1.	¿Qué es la madurez de la IA?	p. 11
3.2.	Marco para la evaluación de la madurez de la IA	p. 12
4.	El sector de maquinaria agrícola en Argentina	p. 14
4.1.	Productos de maquinaria agrícola	p.16
4.2.	Distribución del sector en Argentina	p. 17
4.3.	Innovaciones recientes	p. 19
5.	Evaluación de la madurez de la IA en el sector de maquinaria agrícola	p. 21
5.1.	Enfoque y alcance del estudio	p. 22
5.2.	Madurez general	p. 26
5.3.	Madurez por dimensión	p. 31
6.	Conclusiones y propuestas de política	p. 43
	Anexos	p. 59
	Anexo 1. Centros de investigación y laboratorios	p. 60
	Anexo 2. Cuestionario de la encuesta de madurez de la IA	p. 62
	Anexo 3. Entrevistas en profundidad	p. 70

Recuadros

Recuadro 1 • Un ecosistema creciente de IA en Argentina	p. 8
Recuadro 2 • Tendencias del comercio internacional en el sector de maquinaria agrícola	p. 18
Recuadro 3 • Soluciones locales innovadoras para IA en prácticas agrícolas	p. 35
Recuadro 4 • Una alianza regional para el uso ético y responsable de la IA	p. 46
Recuadro 5 • Estudio de caso: Transformación digital en la Asociación Canadiense de Productores de Semillas	p. 48
Recuadro 6 • Elementos de un mecanismo de intercambio de datos	p. 50

Cuadros

Cuadro 1 • Resumen de las propuestas de política para la adopción de la IA	p. XI
Cuadro 2 • Descripción general de la puntuación de la encuesta	p. 25
Cuadro 3 • Resumen de las recomendaciones en la dimensión Estrategia	p. 47
Cuadro 4 • Resumen de las recomendaciones en la dimensión Datos	p. 52
Cuadro 5 • Resumen de las recomendaciones en la dimensión Tecnología	p. 54
Cuadro 6 • Resumen de las recomendaciones en la dimensión Recursos humanos	p. 55
Cuadro 7 • Resumen de las recomendaciones en la dimensión Gobernanza	p. 57
Cuadro A1 • Centros de investigación y desarrollo con grupos de investigación de IA	p. 60
Cuadro A3 • Análisis de diversidad que compara a las empresas entrevistadas con las encuestadas	p. 70

Gráficos, cuadros y recuadros

Gráficos

Gráfico 1 • Tres áreas funcionales y dos modos de uso de la IA	p. 5
Gráfico 2 • Representación gráfica del ecosistema canadiense de IA, 2018	p. 7
Gráfico 3 • Mapa del ecosistema de IA en Argentina	p. 8
Gráfico 4 • Resultados de la encuesta de evaluación de madurez de Element AI en empresas de Canadá y Estados Unidos, enero de 2020	p. 11
Gráfico 5 • Marco de madurez de la IA	p. 13
Gráfico 6 • Cadena de valor de la maquinaria agrícola	p. 15
Gráfico 7 • Distribución geográfica de empresas de maquinaria agrícola y agropartes	p. 17
Gráfico 8 • Método de encuesta y entrevista	p. 23
Gráfico 9 • Instantánea de los encuestados por tipo de actividad, tamaño, región y exportaciones	p. 24
Gráfico 10 • Etapa de madurez general de las empresas encuestadas, según los resultados de la encuesta realizada para Argentina (2020–21) y América del Norte (2019–20)	p. 27
Gráfico 11 • Etapa de madurez general por tipo de actividad	p. 28
Gráfico 12 • Etapa de madurez general según el tamaño de la empresa	p. 29
Gráfico 13 • Etapa de madurez general por exportaciones	p. 30
Gráfico 14 • Puntuaciones de madurez de la IA por dimensión	p. 32
Gráfico 15 • Áreas de interés IA	p. 33
Gráfico 16 • Puntuación de madurez de la IA por dimensión	p. 34
Gráfico 17 • Nube de palabras de respuestas a la pregunta abierta 17 sobre el uso de datos	p. 36
Gráfico 18 • Nube de palabras de respuestas a la pregunta abierta 25 sobre tecnología	p. 37
Gráfico 19 • Nube de palabras de adquisiciones de equipo proyectadas para los próximos dos años	p. 38
Gráfico 20 • ¿Tiene su empresa un área de desarrollo de software o TI?	p. 39
Gráfico 21 • ¿Cómo entienden la IA los equipos técnicos, los equipos comerciales y la gerencia?	p. 40
Gráfico 22 • Interés de los encuestados en áreas de servicio de IA en ayuda externa	p. 41
Gráfico 23 • Nube de palabras de respuestas abiertas sobre la dimensión de Gobernanza	p. 42

RESUMEN EJECUTIVO

El sector de maquinaria agrícola en Argentina ha tendido a ser innovador y tecnológicamente dinámico. Con la aparición de las primeras actividades de inteligencia artificial (IA) en el país, comenzaron a surgir compañías locales de tecnologías para la agricultura (Agtech), lo que dio lugar a un nuevo segmento de proveedores en el sector de maquinaria agrícola. La IA es una tecnología de propósito general que exige que las empresas se adapten no solo en términos de tecnología e ingeniería, sino también de sus dimensiones organizativas, lo que incluye recursos humanos, estrategia y gobernanza. A fin de comprender el nivel actual de adopción de la IA en este importante sector, y de identificar los enfoques que faciliten una adopción acelerada y responsable, nos asociamos con múltiples organizaciones y actores clave del sector para completar tres etapas de trabajo:

- 1 • Acordar con los participantes del proyecto un entendimiento compartido de qué es la IA, del sector y de la adopción de la IA en el sector hasta la fecha.
- 2 • Medir la madurez de la IA en el sector, a partir de una encuesta a 100 empresas y entrevistas a 10.
- 3 • Proponer recomendaciones de política adaptadas a los diferentes actores del sector.

La IA se define como un campo amplio de actividad de investigación fundamental y aplicada que está i) enfocado en el diseño de sistemas que aprenden a realizar tareas a partir de su entorno y ii) definido en los últimos años por el aprendizaje automático, un segmento de la IA centrado en algoritmos que aprenden de los datos. Se siguieron las tendencias recientes en la literatura económica para entender la IA como una tecnología de propósito general que será un motor clave del cambio industrial en los próximos años y que, por lo tanto, requiere una visión a corto y a largo plazo en las inversiones en IA. Con el fin de abordar la dimensión organizativa de la adopción de IA, se definió la madurez de la IA como una medida de lo que las empresas son capaces de diseñar y ejecutar con ella en un momento dado. Se utilizó el concepto de trayecto hacia la IA para referirse al proceso de identificar, diseñar y ejecutar progresivamente proyectos de IA para combinar la transformación a largo plazo con la obtención de beneficios a corto plazo.

Con aproximadamente 1.202 empresas, el sector de maquinaria agrícola en Argentina se concentra principalmente en tres provincias, a saber, Buenos Aires, Córdoba y Santa Fe. Las cifras indican que la gran mayoría son pequeñas y medianas empresas familiares (85%) de propiedad argentina (98%). Desde mediados de la década de 1990, su actividad se ha centrado especialmente en el crecimiento de la agricultura de precisión y están

apareciendo *startups* desarrolladoras de soluciones de IA que buscan contribuir a la intensificación sostenible mediante el aumento de la productividad agrícola con prácticas más respetuosas con el medio ambiente. En la investigación realizada para este informe, se encontró que el sector ya ha comenzado a adoptar la IA en los productos y los procesos. Sin embargo, este progreso es relativamente lento y la mayoría de las empresas aún está explorando la IA, es decir, qué es, qué puede hacer y qué no, y cómo adoptarla. Este hallazgo se hace eco de tendencias más amplias en la adopción de IA, pero con la notable diferencia de que relativamente menos empresas habían avanzado a etapas posteriores de madurez o parecían dispuestas a hacerlo.

Para examinar la madurez de la IA en el sector de maquinaria agrícola de forma sistemática, se adaptó un marco de madurez de la IA que Element AI (un proveedor canadiense de soluciones de IA) diseñó a partir de su trabajo de asesoramiento a empresas de múltiples sectores en su trayecto hacia la IA. Este marco estructura cinco dimensiones de una organización que deben estar alineadas para adoptar la IA de manera efectiva, esto es, Estrategia, Datos, Tecnología, Recursos humanos y Gobernanza, así como cinco etapas de madurez a través de las cuales evolucionan las empresas que la adoptan, es decir, exploración, experimentación, formalización, optimización y transformación. Este marco, junto con los aportes de actores clave, guio el desarrollo de la encuesta y las entrevistas, así como el diseño de las recomendaciones de política.

Según la encuesta, 45% de las empresas está en la etapa de exploración y 38%, en la de experimentación. **En otras palabras, el 83% de las empresas encuestadas solo han realizado experimentos iniciales con la IA, y la mayoría de ellas todavía está pasando de una toma de conciencia general de la tecnología a preguntas específicas sobre qué problemas u oportunidades pueden ayudar a abordar la IA.** No se han identificado empresas en la etapa superior (la de transformación) y el 17% de las que se encuentran en las etapas de formalización y optimización son de servicios de IA o grandes compañías con equipos dedicados a desarrollar productos de IA. No se halló una diferencia significativa en la madurez de las empresas por provincia. En cambio, se halló una diferencia según los volúmenes de ventas internacionales, donde los mayores exportadores muestran una madurez algo mayor. Esto tiene sentido intuitivamente porque es probable que las empresas exportadoras sean más grandes y cuenten con los equipos y procesos adecuados para adaptarse rápidamente a la competencia, y perciban a la IA como un diferenciador.

La encuesta y las entrevistas también ayudaron a comprender las actitudes y los casos específicos de desafíos y soluciones durante el proceso de adopción. **En repetidas ocasiones, se halló evidencia de que las empresas ni desconocen la IA ni tienen falta de interés en ella, sino que no están seguras de cómo proceder o no pueden hacerlo debido a las limitaciones de recursos.** En concreto, casi la mitad de las compañías encuestadas tiene interés en la IA, pero aún no han formalizado un plan o estrategia. La mayoría carece de una comprensión clara del ecosistema de la IA en Argentina, que incluye a decenas de organizaciones del sector público y privado. Este desconocimiento de las empresas encuestadas sobre el ecosistema de IA en el país puede ser una barrera para recurrir a ayuda. La mayoría de ellas no son sistemáticas a la hora de invertir en datos en general, ni en datos para IA en particular, y no están seguras de cómo los datos pueden contribuir a los proyectos de IA. Por ejemplo, numerosos casos de uso descritos por los encuestados no requerirían IA, solo integración de datos y análisis descriptivo.

Por el contrario, las empresas conocen infraestructuras tecnológicas tales como robots, servidores, software y hardware, y han invertido al menos algo en estas áreas en los últimos años. No obstante, dos tercios de los encuestados carece de un departamento de tecnologías de la información (TI) y menos de la mitad cuenta con presupuestos para inversiones en TIC para el año próximo. Mientras tanto, menos del 10% de los encuestados confiaba en que sus equipos técnicos fuesen capaces de desarrollar soluciones de IA internamente. Asimismo, en el área de habilidades y recursos humanos, los líderes empresariales están comprometidos con el aprendizaje de IA, y creen en ella, y la estudian en mayor proporción que los equipos técnicos y de negocios. Esto es motivo de optimismo y es un hallazgo positivo que exista interés en desarrollar la capacidad de gobernanza de la IA y que la mayoría esté abierta al aprendizaje y a la concientización.

Esta información se usa en el presente trabajo para brindar recomendaciones de política enfocadas en ayudar al ecosistema de la IA a avanzar en las etapas de exploración y experimentación, con recomendaciones específicas para las empresas, las asociaciones empresariales como Fundación CIDETER (en adelante, CIDETER) y el sector público (incluidos gobiernos y el mundo académico). Estas recomendaciones se han organizado según su:

- **Dimensión:** Estrategia, Datos, Tecnología, Recursos humanos y Gobernanza (como se detalla en la sección 3).
- **Tipo de interesado:** a nivel de empresa individual, de asociaciones de empresas organizadas como un clúster, y de sector público.
- **Etapas de madurez de la IA:** de la exploración a la experimentación y de la experimentación a la formalización.

En términos generales, se percibe el valor de un ecosistema de colaboraciones para promover el entorno adecuado para el desarrollo y la adopción de la IA. En Argentina, ese ecosistema está en ciernes, con centros de investigación y laboratorios en todo el país, pero sin que exista aún una buena interacción entre los sectores público y privado, y la comunidad investigadora y empresarial. En parte, esta es la razón por la que en este trabajo se enmarcan las propuestas de política en torno a la mejora de la colaboración, ya que ayuda a hacer crecer el ecosistema en su conjunto (**cuadro 1**). Estas recomendaciones se adaptan a etapas porque las organizaciones recién pueden alcanzar un punto de inflexión desde la exploración a la experimentación cuando tienen la capacidad de discernir entre las buenas y las malas oportunidades para la adopción de la IA, lo que les permite a los equipos construir una hoja de ruta del trabajo de lo que se requiere y en qué orden. A su vez, pasan de la etapa de experimentación a la de formalización cuando los equipos que trabajan en IA aprenden no solo cómo operar las soluciones de IA en un contexto específico, sino qué proyectos deben escalarse y cómo medir su éxito. Si bien muchos están atrapados hoy en una etapa u otra, esta investigación y la experiencia sugieren que, al alinear la estrategia, los datos, la tecnología, los recursos humanos y la gobernanza de manera apropiada en cada etapa, el sector de maquinaria agrícola en Argentina puede adoptar la IA para lograr un impacto mayor y de forma más rápida.

Plan para la adopción de la IA

Cuadro 1 · Resumen de las propuestas de política para la adopción de la IA

	EXPLORACIÓN → EXPERIMENTACIÓN	EXPERIMENTACIÓN → FORMALIZACIÓN
ESTRATEGIA ¿Qué soluciones de IA deben crearse y en qué orden?		
EMPRESAS	Elaborar una hoja de ruta y acordar una o dos oportunidades en las cuales trabajar de forma experimental.	Incrementar el presupuesto y el apoyo utilizando pruebas de concepto exitosas.
CLÚSTER	Identificar tendencias y personalizar políticas específicas e iniciativas de creación de capacidad para beneficiar más a los miembros del clúster.	Invertir en programas de capacitación o centros de innovación para disminuir la carga presupuestaria de las compañías individuales.
SECTOR PÚBLICO	Recabar datos para establecer prioridades y crear coaliciones en torno a la adopción de la IA.	Poner a prueba un programa con incentivos fiscales y financieros para la adopción de la IA.
DATOS ¿Con qué datos contamos ahora, o podríamos contar mañana, para favorecer las soluciones de IA?		
EMPRESAS	Averiguar acerca de los tipos de datos disponibles y cómo su gobernanza podría afectar el proceso de desarrollo y adopción de la IA.	Concentrarse en cuáles deberían ser las pautas para la recolección y el uso de datos y cómo aprovecharlos a través de experimentos de IA.
CLÚSTER	Considerar las diferencias entre la recopilación de datos públicos y privados, y qué mecanismo de intercambio de datos sería interesante para beneficiar a múltiples partes.	Determinar si los mecanismos de intercambio de datos son el siguiente paso lógico para las empresas del clúster y la comunidad en general.
SECTOR PÚBLICO	Revisar los conjuntos de datos o plataformas que podrían estar disponibles para entrenar sistemas de IA.	Promover prácticas responsables de intercambio de datos entre los sectores y establecer un sistema de disponibilidad de datos complementarios.
TECNOLOGÍA ¿Cómo entrenar eficientemente a los modelos de IA y adoptar soluciones de IA donde se necesiten?		
EMPRESAS	Recopilar una lista de herramientas y ponerlas a prueba con miras a preparar un presupuesto para invertir.	Formalizar las arquitecturas de desarrollo e implementación y buscar formas de automatizar su uso para respaldar nuevos flujos de trabajo de ingeniería de IA.
CLÚSTER	Evaluar un modelo de negocios a fin de operar una infraestructura compartida para actividades educativas, como un laboratorio de IA.	Asesorar a las empresas sobre inversiones adecuadas en equipos.
SECTOR PÚBLICO	Asegurarse de que la infraestructura tecnológica habilitante esté disponible para su uso en contextos de maquinaria agrícola.	Establecer programas de financiación para la adquisición de nuevos equipos para IA.

RECURSOS HUMANOS ¿Qué se necesita para que las partes interesadas estén preparadas y dispuestas, y para que sean capaces de usar soluciones de IA?		
EMPRESAS	Desarrollar la alfabetización en IA de los equipos comerciales y técnicos para generar confianza y apoyo.	Asignar equipos para la experimentación con IA y fomentar oportunidades de desarrollo para los empleados, como cursos de certificación o adscripciones.
CLÚSTER	Agregar recursos de capacitación entre empresas y apoyar iniciativas de desarrollo profesional, como una biblioteca o grupos de estudio.	Fomentar las conexiones con la comunidad académica e investigadora mediante eventos de <i>networking</i> .
SECTOR PÚBLICO	Apoyar a las empresas que trabajan con el clúster para diseñar programas de desarrollo de habilidades con el fin de fortalecer el ecosistema de la IA.	Trabajar con el mundo académico y las instituciones de investigación para aclarar y organizar posibles trayectorias profesionales en todo el ecosistema de la IA.
GOBERNANZA ¿Qué condiciones son necesarias para empezar a usar las soluciones de IA y escalarlas de modo seguro?		
EMPRESAS	Familiarizarse con los casos en que se hizo un mal uso de la IA y comprender las motivaciones para una mejor gobernanza.	Implementar procesos de gobernanza tales como la revisión ética, como parte de los experimentos.
CLÚSTER	Organizar debates sobre la gobernanza de la IA o incorporarlos a los programas de capacitación.	Promocionar cómo las empresas están utilizando la IA de manera responsable y contribuir a la regulación proactiva.
SECTOR PÚBLICO	Identificar brechas en la política de gobernanza de la IA y garantizar que los marcos relevantes sean accesibles para el clúster y las empresas.	Recopilar comentarios sobre el proyecto de reglamento para promover la innovación y, al mismo tiempo, garantizar un uso responsable de la IA.

Fuente: Elaboración propia.

Nota: Las propuestas de política íntegras pueden consultarse en la sección 6.

PREFACIO

La ola actual de progreso y entusiasmo por la IA comenzó alrededor de 2010, impulsada por tres factores complementarios entre sí: la disponibilidad del *big data* de diversas fuentes (como satélites, sensores, comercio electrónico, redes sociales y gobiernos, entre otros), que proporcionó la materia prima para desarrollar nuevos enfoques y algoritmos de aprendizaje automático significativamente mejorados, que a su vez se aprovecharon de las capacidades de una computación mucho más potente. Durante la última década, el ritmo de mejora de la IA sorprendió incluso a los expertos, abriendo nuevos mercados y oportunidades de progreso en áreas clave como la agricultura y las industrias relacionadas.

En el contexto de la industria de la maquinaria agrícola, la IA puede ayudar a las empresas a trabajar mejor, optimizando los procesos comerciales y de fabricación, tanto a nivel de clúster como de empresa. Además, puede ser útil para desarrollar innovaciones que doten a sus máquinas de un mayor grado de automatización y autonomía, lo que aumentará su productividad y hará a las empresas más competitivas.

La industria argentina de maquinaria agrícola es intensiva en ciencia, tecnología e innovación, y el rápido cambio tecnológico que se está viviendo es una fuente de nuevas oportunidades. Estas incluyen desde características más sofisticadas para las máquinas existentes, hasta nuevos dispositivos y mejoras en los procesos de negocio, así como más competencia, proveniente tanto de empresas maduras como de nuevas *startups*.

En este contexto, el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) decidió explorar opciones de política pública para promover la adopción de la IA. Para ello, seleccionó el sector de maquinaria agrícola de Argentina por ser un sector industrial tecnificado y susceptible de introducir mejoras en autonomía y automatización. Para el desarrollo de este proyecto, el BID seleccionó a Element AI (una empresa de ServiceNow desde enero 2021), una de las compañías líderes en el desarrollo y la implantación de soluciones de IA a nivel mundial.

Los resultados de este estudio pueden servir como insumo para este clúster y sus empresas. Además, pueden ser útiles para las futuras políticas públicas que estimulen el desarrollo y la adopción de aplicaciones de IA en el sector de maquinaria agrícola argentina, y también en otros sectores industriales de la región.

Rafael Anta

Especialista Principal en
Ciencia, Tecnología, Innovación

Gabriel Casaburi

Especialista Líder en Desarrollo
del Sector Privado

Claudia Suaznabar

Especialista Líder en Desarrollo
del Sector Privado

*División de Competitividad, Tecnología e Innovación
Gerencia de Instituciones para el Desarrollo
Banco Interamericano de Desarrollo*

AGRADECIMIENTOS

Este proyecto fue patrocinado y supervisado por la División de Competitividad, Tecnología e Innovación del Banco Interamericano de Desarrollo (BID).

El proyecto fue ejecutado por un equipo de Element AI (una empresa de ServiceNow desde enero de 2021), integrado por **Grace Abuhamad**, Gerente del Programa de Investigación, y **Cory Salveson**, Estratega de Investigación y Soluciones, con el apoyo de los consultores locales **Carlos Braga**, Consultor de Proyectos, y **Lilia Stubrin**, Consultora de Investigación, del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y el Centro de Investigación para la Transformación de la Escuela de Economía y Negocios de la Universidad Nacional de San Martín (CONICET/CENIT-UNSAM).

Los autores desean agradecer a las siguientes personas su revisión y comentarios a lo largo del proyecto: **María Isabel Borghi** de la Fundación CIDETER; **Dr. Oscar Reula**, **Dra. Laura Alonso Alemany** y **Dr. Jorge Sánchez** de la Facultad de Matemática, Astronomía, Física y Computación (FAMAF) de la Universidad Nacional de Córdoba; **Guillermo Civetta** y **Juan Pablo Manson** del Polo Tecnológico Rosario y **Ross Young** de Element AI.

Los autores desean dar las gracias especialmente a las cerca de 100 empresas que participaron en la encuesta y, en particular, a las que aceptaron amablemente las solicitudes de entrevistas. Sin la participación del sector, este estudio no habría sido posible.

1.

INTRODUCCIÓN

El objetivo de este proyecto es proponer opciones de política para acelerar la adopción de la inteligencia artificial (IA) en el sector de maquinaria agrícola de Argentina. Con este fin, en primer lugar, Element AI evaluó la madurez de la IA de las empresas en el sector, adaptando su marco de madurez¹ al contexto local. A continuación, a partir de los resultados de dicha evaluación, desarrolló recomendaciones de política para los diferentes niveles del ecosistema: para firmas individuales, para clústeres de firmas y para el sector público. Algunas propuestas pueden estar dirigidas a las políticas de ciencia, tecnología e innovación regional y nacional del gobierno argentino, y de manera más general a la política industrial.

Este documento incluye la evaluación de la madurez del sector de maquinaria agrícola en la adopción de la IA, así como propuestas de política para acelerarla. El marco de madurez de la IA, que se describe en detalle en la sección 3, se desarrolló para ayudar a medir la madurez de las empresas en el proceso de adopción y aprovechamiento de la IA. Para adaptar y contextualizar el marco de madurez de la IA, se realizó un trabajo de investigación y se mantuvieron conversaciones con actores clave, que aportaron valiosos comentarios.

Se comenzó por investigar la política industrial de la IA en Argentina y el clúster de la maquinaria agrícola del país (secciones 2 y 4). En la sección 5 se detalla el método de recopilación de datos a través de una encuesta dirigida a empresas (también disponible para el público en internet) y de entrevistas con empresas encuestadas a las que se seleccionó para examinar los resultados de la encuesta. También se proporcionan los resultados y análisis de la encuesta, y se incorpora información de las entrevistas que se realizaron. En la sección 6, se presentan recomendaciones de política para las empresas de maquinaria agrícola, el sector de maquinaria agrícola en general y el sector público. Para los propósitos de este proyecto, la encuesta y el marco de madurez de la IA son herramientas que sirven para contextualizar las opciones de política y acelerar la adopción de la IA. Se usa el marco a fin de identificar pasos concretos para que las empresas emprendan su viaje hacia la adopción de la IA. Para algunas, ese viaje comienza con este informe.

1 · Element AI. 2020. *Maturity Framework. Understanding organizational maturity for AI to reveal next-best-actions at every step.* Disponible en: <https://www.elementai.com/products/ai-maturity>.

2.

**EL IMPACTO DE LA IA
EN LA PRODUCCIÓN**

La IA se centra en la teoría y el desarrollo de sistemas que pueden percibir el entorno y aprender a realizar acciones que maximicen las posibilidades de éxito de sus objetivos. Algunos economistas consideran que la IA es una tecnología de propósito general porque es ampliamente útil para numerosas aplicaciones en diferentes industrias, incluidas muchas que ya están en uso y otras que aún no se han desarrollado. La clave para aprovechar el potencial de propósito general de la IA es adaptarla a aplicaciones de contexto específico, y también adaptar nuestras empresas e industrias para aprovecharla.

Como resultado, las empresas y las industrias necesitarán nuevos recursos, procesos y habilidades, algo similar a la electrificación de la manufactura, un proceso que se extendió durante muchos años, hace aproximadamente un siglo. Dado que la mayoría de las empresas tardarán muchos años en adoptar por completo la IA, necesitan planificar su madurez en el uso de la IA con la mirada puesta en dos horizontes temporales: a corto plazo, priorizando soluciones de IA de alto impacto, y a largo plazo, preparando una visión estratégica de los cambios sectoriales que se prevén en el futuro.

2.1. Definición de IA







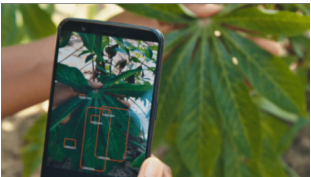
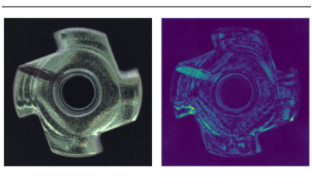
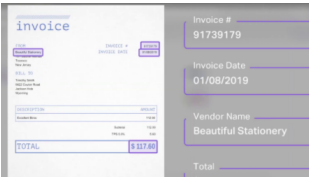
La IA es un campo de investigación científica e ingeniería aplicada con múltiples técnicas y aplicaciones. Hoy en día se entiende mejor al centrarnos en una innovación clave que recientemente ha acelerado el avance en la IA aplicada: el aprendizaje automático (*machine learning*) o el subconjunto de la IA dedicado a la creación de software que aprende de los datos. El aprendizaje automático es fundamentalmente diferente de las eras previas de desarrollo de software porque se basa en el uso de datos para "mostrar" al software cómo hacer algo útil y entrenarlo en este sentido, en lugar de programar instrucciones paso a paso.

La cantidad de datos y computación necesaria para crear modelos avanzados de aprendizaje automático puede exigir recursos financieros significativos. Pero los avances en técnicas algorítmicas que requieren menos datos y computación, el acceso gratuito a modelos de IA "previamente entrenados", y las innumerables formas de aplicar los modelos de IA para crear valor de negocio garantizan un amplio espacio para innovar en el desarrollo y la adopción de IA aplicada. Por ejemplo, en el caso de la clasificación de imágenes, un modelo entrenado previamente con los datos abiertos de ImageNet y ajustado con datos personalizados puede lograr un desempeño adecuado para una tarea determinada.

2.2. Creación de valor a partir de la IA

Para decidir qué valor de negocio crear con la IA y cómo hacerlo, las empresas pueden comenzar considerando aplicaciones de capacidades de la IA, combinadas con un área funcional de su negocio y un modo de uso. Las capacidades de la IA están evolucionando rápidamente. Algunas áreas populares incluyen la visión artificial (como la detección de objetos o de anomalías, el reconocimiento óptico de caracteres), el procesamiento de lenguaje natural (como el resumen de texto, la respuesta a preguntas), la predicción y la optimización. Tres áreas funcionales para la aplicación de IA en una empresa incluyen los productos y servicios, los procesos de producción y los procesos no productivos. Dos formas de aplicar la IA son la automatización y el aumento (*augmentation* en inglés), o el uso de IA sin y con colaboración humana.

Gráfico 1 · Tres áreas funcionales y dos modos de uso de la IA

	PRODUCTOS Y SERVICIOS	PROCESOS DE PRODUCCIÓN	PROCESOS NO PRODUCTIVOS
CAPACIDAD	<p>Detección y monitoreo de objetos</p> 	<p>Detección de anomalías</p> 	<p>Reconocimiento óptico de caracteres</p> 
AUTOMATIZACIÓN			
AUMENTO			

Fuente: Elaboración propia.

Como se aprecia en el **gráfico 1**, al área de productos y servicios podría aplicarse un modelo de IA para la detección de objetos en modo de *automatización* a fin de crear una máquina robótica especializada en recolectar solo fruta madura a partir de los datos de la cámara,² o en modo de *aumento* para habilitar una aplicación en un teléfono inteligente y analizar la salud de las hojas.³

2.3. Formación de un ecosistema de IA

Para obtener valor de la IA en cualquier área funcional o modo de uso, las empresas deben resolver distintos desafíos tanto técnicos como no técnicos, desde elegir buenas tareas hasta recopilar los datos correctos, desarrollar e integrar sistemas e interfaces de usuario, entre otras. Considerando el proceso de selección y entrenamiento de modelos de IA, que es intensivo en recursos, estos desafíos deben resolverse utilizando procesos que sean más ágiles e iterativos, en comparación con los paradigmas de ingeniería anteriores.

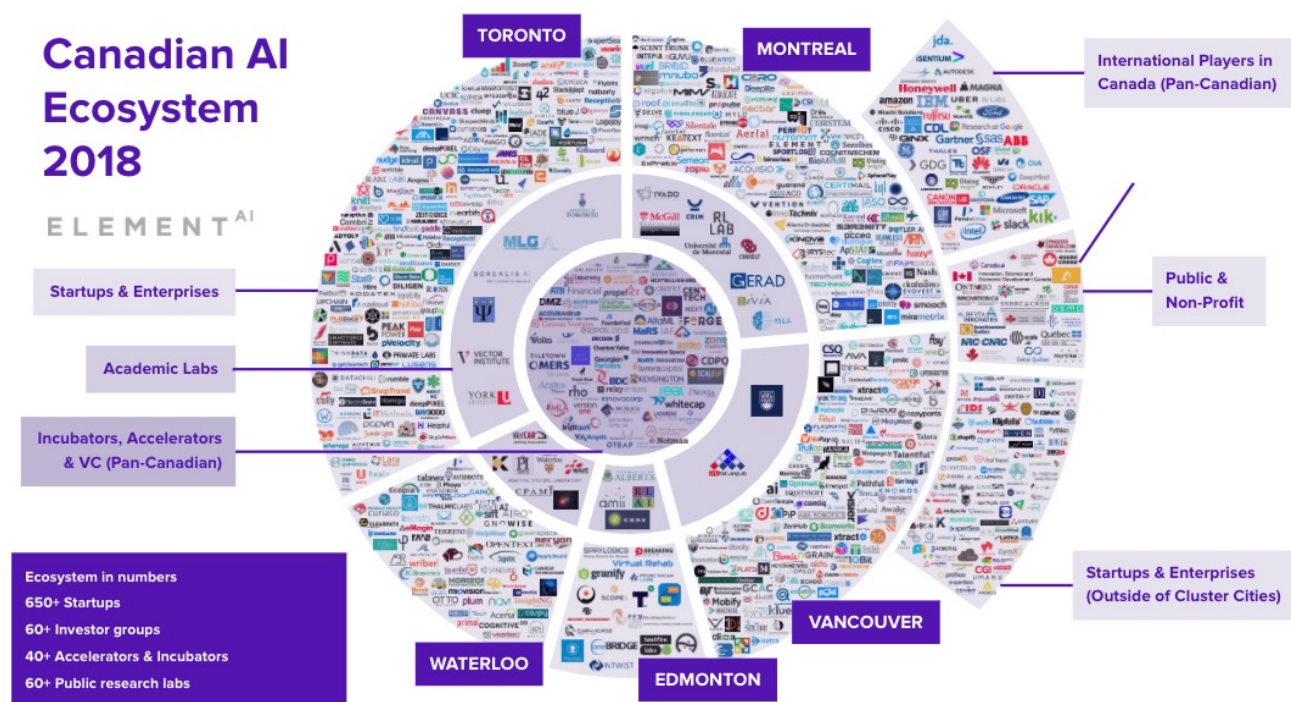
Como tecnología aplicada, la IA es una disciplina que requiere inversiones en investigación científica. Como campo científico también demuestra una necesidad única de acceder a datos que normalmente no están disponibles en un entorno académico tradicional, pero a menudo sí en la industria. En el sector público, la mayoría de los gobiernos reconocen los importantes beneficios económicos de la IA y buscan promover su desarrollo y comercialización. En consecuencia, la IA es hoy en día un campo altamente colaborativo, con relaciones formales e informales entre el sector público y privado y al interior de cada uno. Esta estructura colaborativa ha demostrado ser importante para acelerar y mantener la innovación aplicada.

Por ejemplo, en 2018, el ecosistema canadiense de IA (**gráfico 2**) contaba con más de 800 *startups* y empresas, laboratorios académicos, organizaciones públicas y sin fines de lucro, empresas internacionales con presencia en Canadá, fondos de capital de riesgo, e incubadoras y aceleradoras (tanto de financiación pública como privada). La mayoría están instalados en ciudades clave como Montreal y Toronto, pero muchos están ubicados fuera de estas ciudades (generalmente cerca de universidades). Al invertir en este ecosistema, el gobierno canadiense ha ayudado a estimular la innovación en la investigación fundamental y aplicada en IA, así como en su comercialización. Como resultado, Canadá es reconocido como un centro líder desde la investigación hasta la aplicación de IA, a pesar de gastar menos en IA, en términos generales, que países como Estados Unidos y el Reino Unido.

2• Wageningen Plant Research. 2018. *The SWEEPER-Robot*. YouTube. Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=VbW1ZW8NC2E>.

3• Universidad Estatal de Pensilvania e Instituto Internacional de Agricultura Tropical. 2018. TensorFlow: Una plataforma de aprendizaje automático para resolver problemas desafiantes y complicados. Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=NlpS-DhayQA>.

Gráfico 2 · Representación gráfica del ecosistema canadiense de IA, 2018



Fuente: Element AI.

Dentro del sector privado de *startups* y empresas, las firmas también pueden buscar especializarse dentro del ecosistema, centrándose en el desarrollo de la IA para el área funcional de productos y servicios, y convertirse así en "constructoras de IA". Otras pueden tratar de obtener beneficios de la aplicación de la IA a procesos productivos y no productivos, como consumidoras de productos y servicios de IA o como compradoras de IA. A medida que se acelere la adopción de la IA en todas las industrias, la mayoría de las empresas combinarán aspectos de la compra y creación de IA. Pero hoy, y en especial en el caso de empresas en las etapas iniciales, la mayoría solo puede categorizarse como una u otra.

Recuadro 1 • Un ecosistema creciente de IA en Argentina

El ecosistema de IA está creciendo en Argentina, con numerosas empresas que desarrollan o adoptan la IA y que apoyan iniciativas, tanto en el sector público como en el privado (gráfico 3). Dentro del sistema público, existen 17 centros de investigación y laboratorios con grupos dedicados a la IA.⁴ Aproximadamente la mitad de ellos están ubicados en las tres provincias clave para el sector de maquinaria agrícola: Buenos Aires, Córdoba y Santa Fe. Para consultar la lista completa de centros, véase el anexo 1.

Gráfico 3 • Mapa del ecosistema de IA en Argentina



⁴ Ministerio de Educación, Cultura, Ciencia y Tecnología de Argentina. 2019. Plan Nacional de Inteligencia Artificial. Disponible en: <https://ia-latam.com/wp-content/uploads/2020/09/Plan-Nacional-de-Inteligencia-Artificial.pdf>.

En el sector privado, se identificaron alrededor de 94 empresas que desarrollan o implementan soluciones de IA. Este ecosistema productivo está conformado por diferentes tipos de actores, que pueden agruparse en dos categorías amplias:

IA con aplicación horizontal: categoría formada principalmente por empresas de servicios de TI.

- Unas 10 empresas, en su mayoría subsidiarias de grandes multinacionales como Microsoft, Google, Facebook, Dell, Intel, Accenture, IBM, SAP y TATA, que venden soluciones de IA en Argentina, pero no las desarrollan en el país.
- Cerca de 25 empresas que desarrollan soluciones de IA en el país y en su mayoría son de propiedad argentina. Están ubicadas en la Ciudad de Buenos Aires (72%), la Provincia de Buenos Aires (20%) y la provincia de Córdoba (8%).

IA con aplicación sectorial: categoría formada por 59 empresas que desarrollan soluciones de IA para sectores específicos. Casi la mitad se concentran en cinco sectores: agricultura (17%), finanzas (9%), salud (9%), software (5%) y medios y publicidad (7%). Estas empresas, aunque ubicadas principalmente en la Ciudad de Buenos Aires (71%), también están muy dispersas en otras provincias argentinas: Buenos Aires (10%), Santa Fe (8%), Córdoba (7%), San Juan (2%) y Tucumán (2%).

La adopción de la IA no se limita al sector privado. El sector público ha promovido iniciativas de IA y de ciencia de datos para mejorar los sistemas de gestión, proveer servicios públicos e involucrar mejor a los ciudadanos. Por ejemplo, la ciudad de Buenos Aires implementó recientemente un sistema de lectura inteligente para identificar las placas de matrícula de los automóviles y recuperar los vehículos robados en circulación.⁵ A pesar de los avances en el desarrollo y la adopción de la IA, Argentina enfrenta varias barreras para su adopción a mayor escala, que incluyen:

- La escasez de recursos humanos capacitados para desarrollo, implementación, adopción y comprensión de los sistemas de IA.
- La necesidad de incrementar el número de plataformas de datos abiertos.
- Una infraestructura de supercomputación insuficiente.
- La necesidad de garantizar el desarrollo y la implementación de IA de acuerdo con principios éticos y legales.⁶

⁵ Para más información, véase <https://www.buenosaires.gob.ar/noticias/se-presento-el-anillo-digital-de-seguridad>.

⁶ Ministerio de Educación, Cultura, Ciencia y Tecnología de Argentina. 2019a. Plan Nacional de Inteligencia Artificial. Disponible en: <https://ia-latam.com/wp-content/uploads/2020/09/Plan-Nacional-de-Inteligencia-Artificial.pdf>.

3.

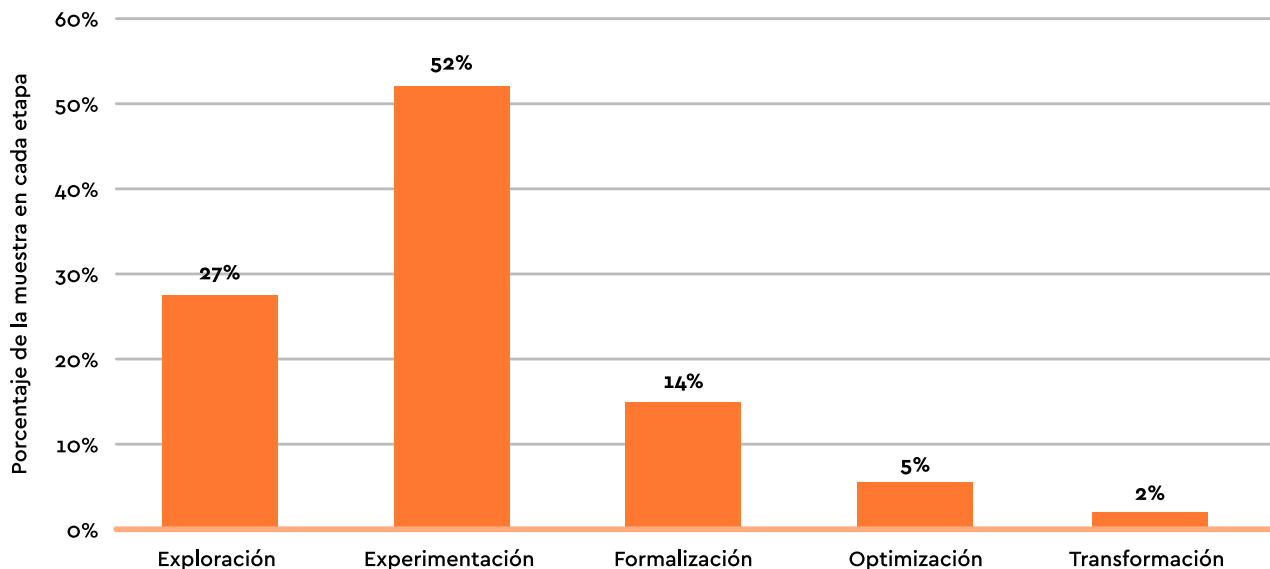
**EL MARCO DE MADUREZ
DE LA IA**

Las empresas deben resolver múltiples desafíos para adoptar la IA, desde elegir buenas tareas hasta recopilar los datos correctos, desarrollar e integrar sistemas y crear interfaces de usuario, entre otros. El marco de madurez de la IA proporciona un enfoque sistemático para organizar las cinco dimensiones de una empresa que deben estar alineadas para resolver estos desafíos de manera eficiente y exitosa, a través de cinco etapas de madurez a lo largo del tiempo.

3.1. ¿Qué es la madurez de la IA?

La madurez de la IA es una medida de la capacidad de una organización para alcanzar y escalar el impacto de sistemas de IA. De 2019 a 2020, Element AI desarrolló un marco conceptual para evaluar dónde se encuentran las empresas en su ruta hacia la madurez de la IA, y brindarles recomendaciones más contextualizadas sobre cómo avanzar más rápidamente. La encuesta de madurez de la IA recopiló datos vitales para diseñar la herramienta del marco de madurez de la IA. Proviene de 200 responsables de toma de decisiones de alto nivel en múltiples industrias, principalmente en América del Norte (**gráfico 4**). La encuesta mostró que las organizaciones todavía están luchando por adoptar la IA. Más del 50% de las empresas encuestadas estaban experimentando activamente con sistemas de IA, pero menos del 10% de las organizaciones tenían la madurez suficiente para poner soluciones de IA en producción.⁷

Gráfico 4 · Resultados de la encuesta de evaluación de madurez de Element AI en empresas de Canadá y Estados Unidos, enero de 2020



Fuente: Element AI.

7 · Fountaine T., B. McCarthy y T. Saleh. 2019. Building the AI-Powered Organization. Harvard Business Review. Núm. julio-agosto. Disponible en: <https://hbr.org/2019/07/building-the-ai-powered-organization>.

Algunos de los desafíos citados habitualmente para la adopción de la IA en las empresas son la falta de datos o los datos sin etiquetar, las brechas de habilidades de los equipos técnicos y de negocio, la alineación de los actores clave dentro de la empresa y la falta de madurez tecnológica, entre otros. Uno de los hallazgos clave es que lo que frena la madurez de la IA rara vez es un único desafío. La verdadera operatividad de la IA dentro de una empresa requiere madurez en múltiples dimensiones, que incluyen Estrategia, Datos, Tecnología, Recursos humanos y Gobernanza.⁸

Si bien están surgiendo soluciones para resolver desafíos individuales en el proceso de adopción de la IA, en general todavía no se comprende cómo avanzar en dicho proceso a través de las diferentes etapas de madurez, o qué se necesita para pasar de una etapa a la siguiente eficientemente. Como proveedor de soluciones de IA, en Element AI consideramos que nuestra experiencia en la relación con los clientes durante los últimos cuatro años y los hallazgos de la evaluación de madurez global pueden proporcionar una percepción valiosa para la elaboración de recomendaciones con miras a adoptar la IA en el contexto de la maquinaria agrícola argentina.

3.2. Marco para la evaluación de la madurez de la IA

El marco de madurez de la IA es un modelo de madurez estructurado en cinco dimensiones que deben estar alineadas en una empresa a fin de adoptar la IA. El marco también detalla cómo cambian esas dimensiones durante las cinco etapas de madurez de la IA a lo largo del tiempo. Las empresas deben alinear cinco dimensiones clave para adoptar la IA:

- 1 • Estrategia:** visión organizacional y hoja de ruta para transformar el negocio, que adopte soluciones de IA de una en una.
- 2 • Datos:** fuente tanto para el entrenamiento como para el uso aplicado de la IA, en forma de inferencia o predicción.
- 3 • Tecnología:** herramientas, infraestructura y flujos de trabajo que necesita la IA; a saber, las nuevas plataformas de desarrollo de software como TensorFlow y el nuevo hardware como los procesadores gráficos (*graphics processing unit* o GPU), utilizados habitualmente para la computación en los sistemas de IA.
- 4 • Recursos humanos:** nuevos roles, habilidades y medidas de éxito para trabajar de manera más inteligente con IA.
- 5 • Gobernanza:** políticas, procesos y estructuras que garanticen una IA responsable y segura.

Si se logra equilibrar con éxito las cinco dimensiones, las empresas pueden optimizar el proceso de creación de una primera solución de IA, incorporando un modelo de IA. Este primer intento podría ser una nueva característica agregada a un producto o proceso existente, o un producto de IA adquirido a un proveedor. Las empresas pueden dotarse de

⁸ Ramakrishnan K. 2018. *The four pillars of intelligent AI adoption*. Disponible en: <https://www.elementai.com/news/2019/the-four-pillars-of-intelligent-ai-adoption>.

más recursos de forma continua, incluidos infraestructura, procesos y habilidades para crear productos y modelos de negocio basados en IA. Esta evolución está marcada por cinco etapas distintas de madurez:

- 1 • **Exploración:** en esta etapa, las empresas aprenden lo suficiente sobre la IA como para identificar dónde deben centrar sus esfuerzos.
- 2 • **Experimentación:** en esta fase, las empresas prueban y desarrollan una o más posibles soluciones de IA a fin de ver qué se requiere para lograr el retorno de la inversión.
- 3 • **Formalización:** en este período, las empresas han seleccionado una solución para su lanzamiento en producción y empiezan a definir recursos, procesos y habilidades para el futuro.
- 4 • **Optimización:** esta es la etapa en la que las empresas aumentan la cantidad de modelos y soluciones de IA instalados, refinando recursos, procesos y habilidades.
- 5 • **Transformación:** en esta fase, las empresas se transforman a sí mismas y a sus industrias para trabajar de manera más inteligente con la IA.

Es habitual que las empresas se encuentren en diferentes etapas de madurez en las distintas dimensiones. Sin embargo, la etapa general de madurez en la que estén es limitada si son más maduras en algunas dimensiones, pero menos en otras. El **gráfico 5** muestra las cinco dimensiones a lo largo de un eje vertical y las cinco etapas a lo largo del eje horizontal. Lo ideal es que las empresas avancen en cada dimensión aproximadamente por igual, a medida que progresan. Al mantener el equilibrio y la inversión en las cinco dimensiones, y trazar una visión clara desde la exploración a la transformación, las empresas pueden aprovechar al máximo la IA, tanto en la actualidad como en el futuro.

Gráfico 5 · Marco de madurez de la IA

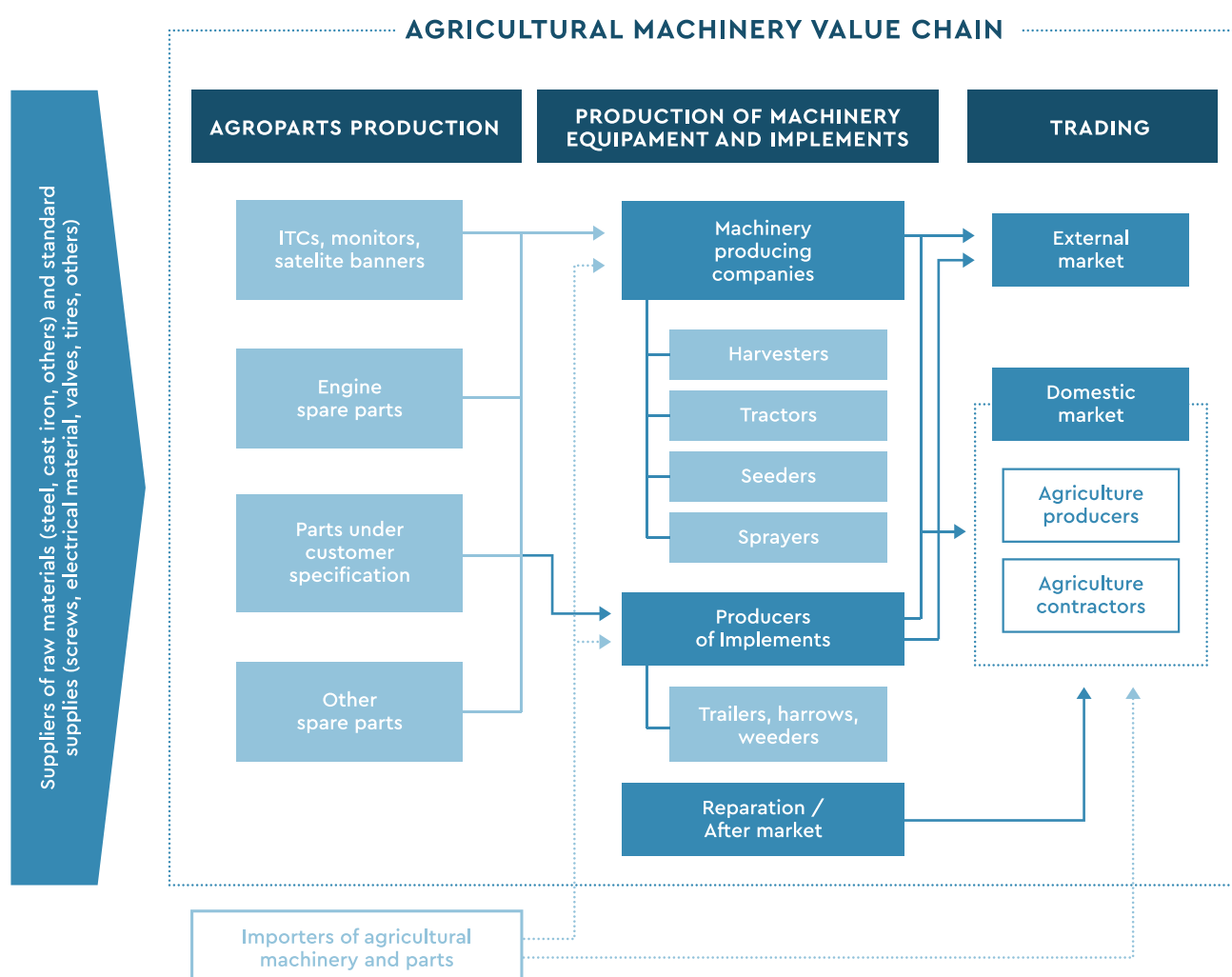


4.

**EL SECTOR DE MAQUINARIA
AGRÍCOLA EN ARGENTINA**

El sector de maquinaria agrícola en Argentina está compuesto por unas 1.200 empresas. Casi la mitad produce maquinaria agrícola (593 empresas), el 41% produce agropartes (487 empresas) y el 10% produce ambas (122 empresas).⁹ El **gráfico 6** presenta una representación de la cadena de valor del sector de maquinaria agrícola.

Gráfico 6 · Cadena de valor de la maquinaria agrícola



Fuente: Garfinkel F. Informes de cadenas de valor: Maquinaria Agrícola. Ministerio de Hacienda, Presidencia de la Nación, 2019. Disponible en: https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/sspmicro_cadenas_de_valor_maquinaria_agricola.pdf.

⁹ IERAL de Fundación Mediterránea. 2021. *Relevamiento Estructural del Sector de Maquinaria Agrícola y Agropartes*. Disponible en: https://www.ieral.org/images_db/noticias_archivos/4337-Documento%20de%20trabajo.pdf.

4.1. Productos de maquinaria agrícola

Las compañías de maquinaria agrícola fabrican tractores, cosechadoras, sembradoras, pulverizadoras e implementos. Las empresas de agropartes producen una amplia gama de productos, como repuestos, piezas a medida y equipos de agricultura de precisión. La siguiente es una descripción de los productos de maquinaria agrícola y su cuota de mercado en Argentina.

Los **tractores** son máquinas autopropulsadas que permiten el uso de diversas herramientas, así como el funcionamiento de otros equipos (sembradoras, arados, rastras, etc.). El mercado de tractores en Argentina representó el 41% de las ventas de maquinaria agrícola en 2019 (ARP 22.865 millones). De los 6.264 tractores vendidos en 2019, 63% se produjo en el país (3.966 tractores se produjeron en el país y 2.298 se importaron). Las filiales de empresas multinacionales (Agco-Allis, John Deere y Case New Holland) dominan el mercado argentino de tractores (80% del total de ventas). Dos empresas argentinas fabrican tractores (Pauny y Apache) y se enfocan mayoritariamente en el mercado nacional.

Las **cosechadoras** son equipos autopropulsados específicos para la cosecha de granos (cereales y oleaginosas), algodón y maní, entre otros. El mercado de cosechadoras representó el 21% del total de las ventas de maquinaria agrícola en 2019 (11.964 millones de pesos). De las 861 cosechadoras vendidas en 2019, el 58% se produjo en Argentina (505 cosechadoras producidas en el país y 356 se importaron). Al igual que en el mercado de tractores, el mercado de cosechadoras está dominado por empresas multinacionales. Entre 2001 y 2015 se llevó a cabo un importante proceso de sustitución de importaciones, liderado por grandes empresas multinacionales como John Deere, Case IH, New Holland, Claas y AGCO que incrementó la cantidad de cosechadoras producidas localmente. Sin embargo, las operaciones de las empresas multinacionales en Argentina consisten principalmente en el ensamblaje de piezas. La única compañía de propiedad totalmente argentina que produce cosechadoras en el país es Vassalli (cuyas marcas son Don Roque y Vassalli).

Las **sembradoras** se utilizan para la siembra directa o convencional, y para el grano fino (trigo) y el grueso (soja y maíz). Las ventas de sembradoras representaron el 14% de las ventas de maquinaria agrícola en 2019 (ARP 8.138 millones). Este segmento está compuesto por casi la totalidad de empresas nacionales (97%). Argentina se posiciona como el país líder en el mercado de sistemas de siembra directa, y el 90% de las sembradoras producidas y vendidas en el país se utilizan para el sistema de siembra directa. El mercado argentino de semillas es un exportador neto. El principal mercado de las sembradoras argentinas es Bolivia. Las principales empresas que fabrican sembradoras son Crucianelli, Agrometal, Apache, Erca, Super Walter, Giorgi, Bertini, Tanzi, Dolbi, Juri, Fabimag, Cele, Monumental, Plerobon, Genovese y Ascanelli.

Las **pulverizadoras** son máquinas remolcadas o autopropulsadas que, mediante la pulverización de agroquímicos, permiten controlar las plagas de los cultivos. El mercado de pulverizadoras representó el 8% de las ventas de maquinaria agrícola en 2019 (ARP 4.683 millones). La producción de pulverizadoras es predominantemente nacional y las importaciones representan el 20% del mercado. El segmento de estas máquinas está dominado por las empresas de propiedad nacional. Al igual que en el caso de las sembradoras, la demanda de pulverizadoras es resultado de prácticas agrícolas basadas en el sistema de siembra directa. Este sistema de producción requiere un uso más intensivo de fertilizantes y biocidas (herbicidas y pesticidas) que el sistema de siembra convencional. Las exportaciones de pulverizadoras representaron

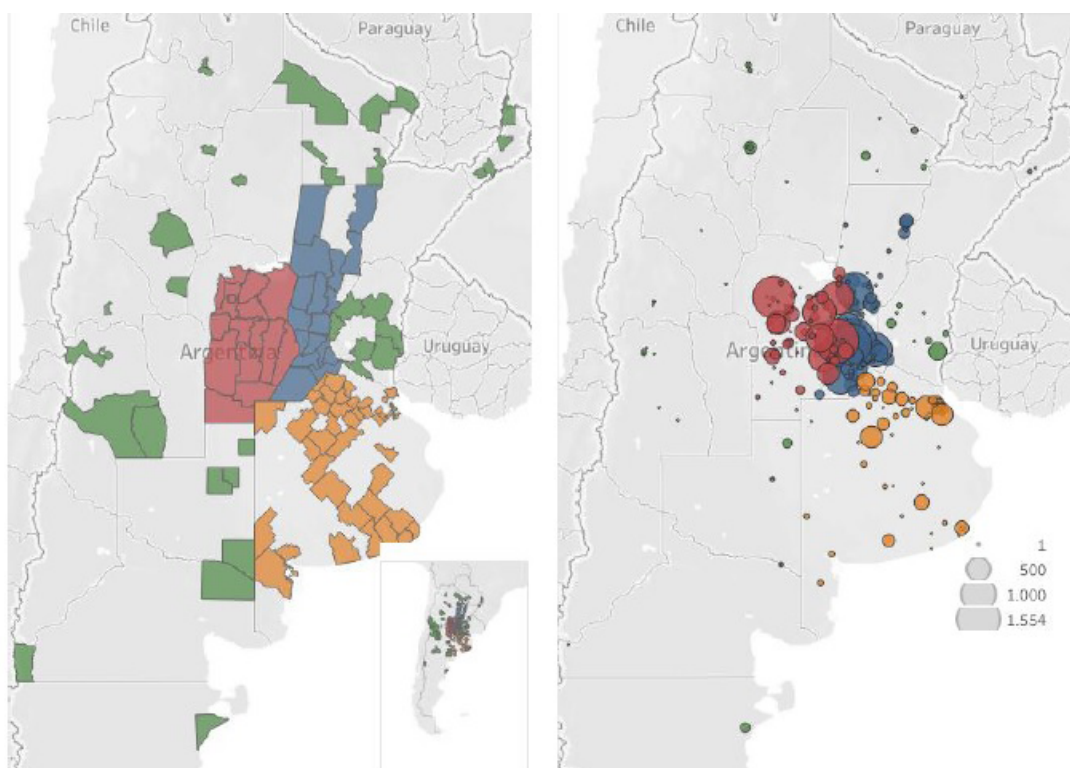
el 23% del total de las exportaciones de maquinaria agrícola en 2017. Los mercados de exportaciones más importantes fueron Brasil (26%) y Australia (18%). Las principales empresas argentinas que fabrican pulverizadoras son PLA (filial de John Deere), Metalfor, Caimán, Praba, Pulqui, Ombú, Apache, Favot, Releyco, Golondrín y Tedeschi.

El segmento de **implementos** incluye un conjunto heterogéneo de equipos de remolque y componentes adicionales a los equipos autopropulsados. Algunos ejemplos son los cabezales de cosecha específicos, la maquinaria para cortar, almacenar y preparar forrajes, los implementos de remolque para la labranza, los equipos de riego y otros para almacenar y conservar granos, e incluso los equipos para mover animales. El mercado de implementos agrícolas representó el 4% de las ventas de maquinaria agrícola en 2019 (ARP 2.371 millones). Los principales fabricantes en Argentina son empresas nacionales como Allochis, Mainero, De Grande, Franco Fabril, Maizco, Ombú, Akron, Richiger, Cestari, Martinez & Staneck, Yomel, Mega, Montecor, Fertec, D'Ascanio, Altina, Piersanti, Syra, Doble TT, Gea, Implecor, Nieves, Fertilizadoras SR, Palou, Chalero, Silos Mengo y Simeco.

4.2. Distribución del sector en Argentina

En términos geográficos, las empresas de maquinaria agrícola se concentran en su mayoría en tres provincias argentinas (**gráfico 7**): el 44% están ubicadas en Santa Fe (533 empresas), el 33%, en Córdoba (398 empresas) y el 14%, en Buenos Aires (163 empresas).

Gráfico 7 · Distribución geográfica de empresas de maquinaria agrícola y agropartes



Fuente: IERAL de Fundación Mediterránea. 2021. Relevamiento Estructural del Sector de Maquinaria Agrícola y Agropartes. Disponible en: https://www.ieral.org/images_db/noticias_archivos/4337-Documento%20de%20trabajo.pdf.

Las cifras del sector indican que la mayoría de las empresas son de propiedad argentina (98%) y que son pequeñas y medianas empresas familiares (85%). El sector en su conjunto genera 26.501 empleos directos y 64.000 indirectos.¹⁰ Una gran proporción de los empleados tiene una cualificación alta: 52% del total de empleados son ingenieros y técnicos (24% y 28%, respectivamente); 42%, trabajadores de fábrica; 4%, gerentes, y 1%, administrativos.¹¹

El sector se enfoca principalmente en el mercado argentino y representa solo el 0,2% de las exportaciones argentinas (USD 115 millones en 2018). Es un sector que, en su conjunto, tiene déficit de comercio exterior. Las exportaciones se concentran principalmente en la región de América Latina. En general, Argentina ocupa el puesto 47 en términos de países exportadores de maquinaria agrícola.

Recuadro 2 · Tendencias del comercio internacional en el sector de maquinaria agrícola

- El comercio mundial de maquinaria agrícola se ha estancado durante una década en alrededor de USD 50.000 millones. Una de las principales causas de este estancamiento es la desaceleración del crecimiento de los precios de los alimentos, que antes de la pandemia de COVID-19 no se esperaba que creciera en el corto plazo.
- Alemania, Bélgica, China y Estados Unidos son los principales exportadores mundiales de maquinaria agrícola. Juntos representaron el 60% de las exportaciones globales, con un valor total de USD 10.600 millones en 2017.
- El principal país exportador latinoamericano de maquinaria agrícola es Brasil, con ventas al exterior por valor de USD 313 millones. La producción que realizan las filiales de empresas multinacionales con fábricas de producción en el país representa una parte importante del monto total de las exportaciones.
- Los principales países importadores de maquinaria agrícola son Alemania, Australia, Canadá, Francia, Reino Unido y Ucrania. Estos seis países representaron 42% de las compras mundiales de maquinaria agrícola en 2017.

Fuentes: Garfinkel F. 2019. Informes de cadenas de valor: Maquinaria Agrícola. Ministerio de Hacienda, Presidencia de la Nación. Disponible en: https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/sspmicro_cadenas_de_valor_maquinaria_agricola.pdf. y Ministerio de Producción de la Nación y Gobierno de Argentina. Estudio de mercados de exportación: Maquinaria Agrícola. s.f. Disponible en: https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/estrategias_sectoriales_de_insercion_internacional_sector_maquinaria_agricola.pdf.

10 · INTA-Manfredi-CIDETER y IERAL (2019).

11 · Véase la nota 12.

4.3. Innovaciones recientes

En Argentina, el sector de maquinaria agrícola ha tendido a ser muy innovador y tecnológicamente dinámico. Desde mediados de la década de 1990, se viene desarrollando un sector de tecnologías de agricultura de precisión que hoy ya cuenta con 20 empresas nacionales que han acumulado capacidades con muy poco retraso con respecto a la frontera tecnológica global, para fabricar una amplia gama de productos (monitores de siembra y cosecha, banderas satelitales o sistemas de control de cosecha). Este sector ha sido clave para la incorporación masiva de sensores y aplicaciones con georreferenciación, habilitadas por el uso de GPS, a productos de maquinaria agrícola local.

Más recientemente y en coincidencia con la fase temprana del desarrollo de la IA en el país, comenzaron a aparecer empresas locales de Agtech que dieron lugar a un nuevo segmento de proveedores de maquinaria agrícola. Estas *startups* ofrecen servicios basados en la captura, el procesamiento y la entrega de datos a usuarios finales a través de plataformas digitales. Para la captura de datos se basan en imágenes aéreas, capturadas por satélites, drones y otros dispositivos, así como en sensores instalados en máquinas. Para el procesamiento de datos utilizan la IA y la computación en la nube. El uso de los datos es variado, pero se centra en la caracterización de los microambientes en los que operan los productores, el seguimiento específico de los cultivos, la identificación temprana de plagas o los controles operativos a partir de datos georreferenciados de sensores en los equipos.

Antes de realizar la encuesta, se identificaron un total de seis empresas en el segmento Agtech, entre las que destacan Deep Agro, Auvarant y S4 Agtech. Tanto Deep Agro como Auvarant desarrollan soluciones de IA que tratan de contribuir tanto al aumento de la productividad agrícola como a prácticas agrícolas más respetuosas con el medio ambiente.¹²

- **Deep Agro:** ubicada en la provincia de Santa Fe, ha desarrollado un sistema inteligente de detección automática de malezas que permite una aplicación de herbicidas más precisa a lo largo de las diferentes etapas de crecimiento del cultivo de soja. Esta innovación puede reducir el uso de agroquímicos hasta en 70%, dependiendo de la cantidad de malezas en el terreno.
- **Auravant:** es una plataforma integral para el desarrollo de agricultura de precisión, que digitaliza diferentes puntos del campo, para que el productor o agrónomo pueda monitorear y administrar el campo de manera permanente y remota. La plataforma utiliza imágenes satelitales para informar al agrónomo sobre la variabilidad del terreno, con el fin de que pueda operar de forma variable, maximizando los rendimientos, minimizando los costos y reduciendo el impacto ambiental.

¹² • Ministerio de Educación, Cultura, Ciencia y Tecnología de Argentina. 2019a. Plan Nacional de Inteligencia Artificial. Disponible en: <https://ia-latam.com/wp-content/uploads/2020/09/Plan-Nacional-de-Inteligencia-Artificial.pdf>.

- **S4 Agtech:** es una *startup* argentina que desarrolló el primer índice del mundo para medir los riesgos de la producción de granos a partir de datos satelitales. Para ello, la compañía recopiló datos de los satélites de la NASA y luego utilizó herramientas de Microsoft Azure, entrenó modelos para reconocer el tipo de cultivo, predecir las condiciones climáticas y estimar las consecuencias en la producción de ese cultivo. Esta herramienta de previsión de riesgos permite a los productores asignar recursos de manera eficiente, gestionar los riesgos y el impacto futuro del rendimiento.¹³

Los ejemplos anteriores se identificaron en la investigación documental de este trabajo antes de lanzar la encuesta de madurez de la IA. La encuesta sacó a la luz otras soluciones innovadoras de IA en el sector agrícola argentino, que se describen en la sección 5.3 (**recuadro 3**).

También se identificó un ejemplo instructivo de la inversión pública en ciencia y tecnología en IA para la agricultura. El Centro Internacional Franco-Argentino de Ciencias de la Información y de Sistemas (CIFASIS), que pertenece al Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), desarrolló un robot desmalezador, un dispositivo autónomo alimentado con energía solar que utiliza visión artificial y GPS para detectar y eliminar malezas en los campos de soja, de forma que se pueda aplicar glifosato solo de manera local.¹⁴ En 2019, los investigadores de CIFASIS publicaron un conjunto de datos, obtenido a partir de esta investigación, "motivados por la falta de lecturas realistas de sensores recopiladas por un robot móvil en entornos agrícolas".¹⁵ El conjunto de datos está disponible gratuitamente para su descarga bajo una licencia flexible que permite a las empresas del sector privado reutilizarlos en un contexto de aprendizaje. El conjunto de datos de CIFASIS es notable: representa un modelo exitoso de fortalecimiento de la investigación pública y es un ejemplo de cómo las organizaciones públicas pueden apoyar y acelerar la comercialización de la investigación de IA en el sector privado.

¹³ · Albriev R., M. Rapetti, C. Brest López, P. Larroulet y A. Sorrentino. 2018. *Inteligencia artificial y crecimiento económico. Oportunidades y desafíos para Argentina*. Buenos Aires, CIPPEC. Disponible en: <https://www.cippec.org/publicacion/inteligencia-artificial-y-crecimiento-economico-oportunidades-y-desafios-para-argentina/>.

¹⁴ · Pire T., M. Mujica, J. Civera y E. Kofman. 2019. *The Rosario Dataset: Multisensor Data for Localization and Mapping in Agricultural Environments*. *The International Journal of Research Robotics*. Disponible en: <https://www.cifasis-conicet.gov.ar/robot/doku.php>.

¹⁵ · *Ibíd.*

5.

**EVALUACIÓN DE LA MADUREZ
DE LA IA EN EL SECTOR DE
MAQUINARIA AGRÍCOLA**

Para evaluar la madurez de las empresas de maquinaria agrícola en Argentina, se llevó a cabo un estudio de campo basado en el marco de madurez de Element AI (véase la sección 3). El estudio consistió en una encuesta en línea y en entrevistas en profundidad a empresas de maquinaria agrícola, realizadas entre octubre y diciembre de 2020.

En esta sección se detalla cómo se adaptó el marco de madurez de la IA a este estudio, y a continuación se presentan los resultados de la encuesta, enriquecidos con información de las entrevistas en profundidad. En una breve comparación, se detectó que las empresas argentinas encuestadas están más concentradas en la primera etapa de exploración que las empresas de referencia estudiadas por Element AI anteriormente.¹⁶ También se observó que ninguna empresa se encuentra en la etapa más avanzada, de transformación.

5.1. Enfoque y alcance del estudio

Se adaptó la encuesta de madurez de la IA desarrollada por Element AI con la ayuda de actores clave de este proyecto. A partir de un catálogo de alrededor de 500 empresas, se estableció la meta de lograr respuestas de una muestra de alrededor de 100 empresas y de entrevistar en profundidad a 10 empresas. Las preguntas de la encuesta (anexo 2) se puntuaron para producir una calificación de etapa para cada dimensión y para las empresas en general; sin embargo, el objetivo no era tanto calificar a las empresas *per se* sino generar información a nivel agregado sobre la tendencia de madurez de la IA en el sector.

Encuesta

El cuestionario original se diseñó para grandes empresas de Estados Unidos y Canadá, y por tanto tuvo que adaptarse al contexto local y sectorial de este proyecto. Dado que la encuesta se convertiría en la principal fuente de información para el estudio y en la base para el desarrollo de recomendaciones de política, era fundamental plantear las preguntas correctamente. Para ello, se consultó con actores clave del ecosistema. Se recibieron comentarios y sugerencias extremadamente valiosos de conocidos investigadores expertos en IA en el país,¹⁷ así como de personal directivo y técnico de CIDETER, una asociación empresarial que representa a un clúster de empresas de maquinaria agrícola y que fue el socio local de este proyecto. Estas interacciones ayudaron a producir una versión ajustada del cuestionario (anexo 2). Una vez que se obtuvo la versión final, se publicó la encuesta en internet el 10 de noviembre de 2020. La encuesta fue completamente abierta y de acceso público, similar a la forma en que Element AI distribuyó su encuesta global en 2020.

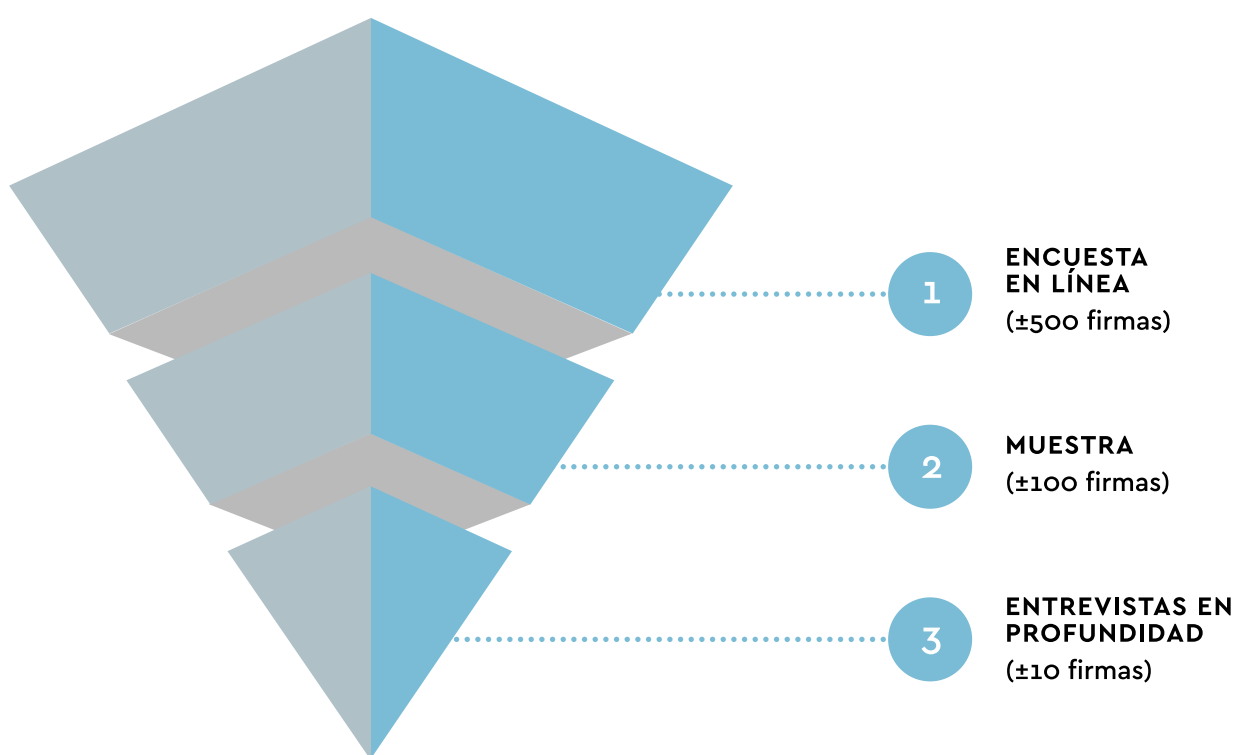
¹⁶ La encuesta de Element AI se llevó a cabo en 2019 y se centró fundamentalmente en empresas de América del Norte.

¹⁷ Véase la sección de agradecimientos al principio del documento.

Muestra

CIDETER facilitó una lista de contactos de empresas de maquinaria agrícola con aproximadamente 500 direcciones de correo electrónico, a las que se enviaron invitaciones a participar en la encuesta. Se estableció el objetivo de obtener 100 respuestas y de realizar entrevistas en profundidad a 10 empresas, como se muestra en el **gráfico 8**. Se seleccionó a las empresas a las que se entrevistaría en base a sus respuestas a la encuesta, al asesoramiento de CIDETER y a criterios de diversidad geográfica y de segmento de actividad (anexo 3).

Gráfico 8 · Método de encuesta y entrevista

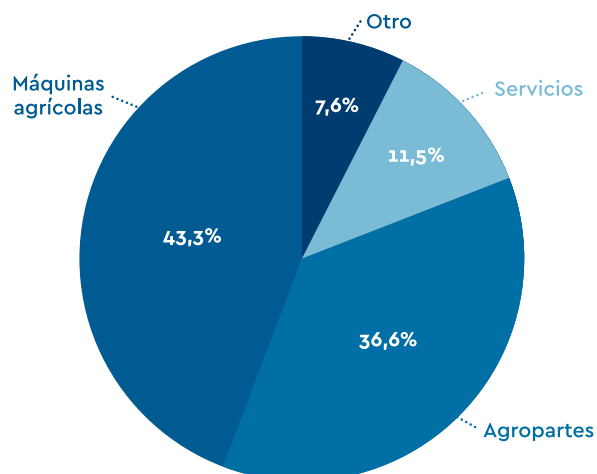


Fuente: Elaboración propia.

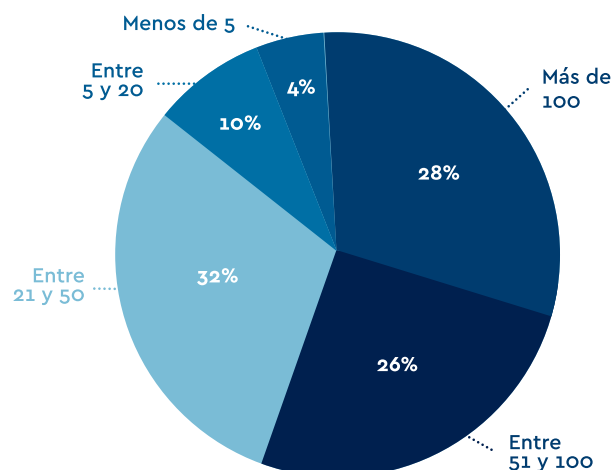
El **gráfico 9** presenta una instantánea de la muestra, derivada de la información demográfica que se recopiló sobre los encuestados. En términos de tipo de actividad empresarial, el 44% de los encuestados se dedica a la maquinaria, seguido de las agropartes con el 37%. Aproximadamente un tercio de los encuestados son empresas con 21 a 50 empleados, seguidas de un desglose uniforme para las categorías de 51 a 100 empleados y de más de 100 empleados. La mayoría de los encuestados tienen su sede en la provincia de Santa Fe (58%), y le siguen Córdoba (29%) y Buenos Aires (12%). En términos de ventas al exterior, casi dos tercios de las empresas no exportaron en 2019 (59%) y el 49% exportaron menos del 10% de sus ventas internacionales.

Gráfico 9 · Instantánea de los encuestados por tipo de actividad, tamaño, región y exportaciones

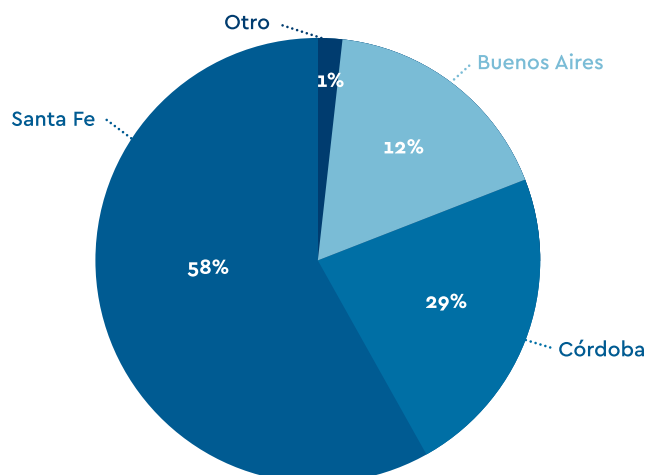
7 · ACTIVIDADES Y PRODUCTOS



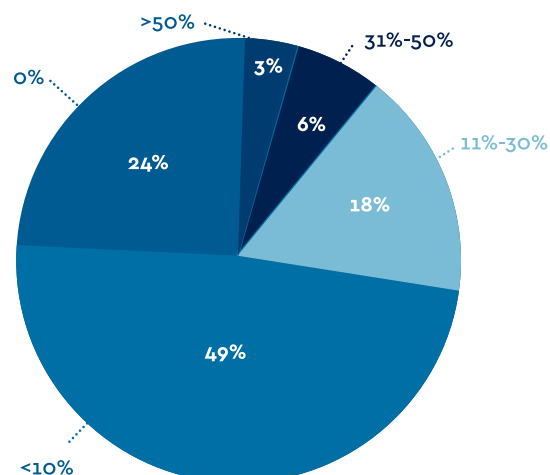
8 · EMPLEADOS



9 · PROVINCIA



10 · VENTAS INTERNACIONALES (2019)



Fuente: Elaboración propia.

En términos generales, los autores están satisfechos con la muestra, que coincide aproximadamente con sus suposiciones sobre el sector. El rol activo de CIDETER, que contactó a las empresas directamente para informarles del proyecto y recordarles que completaran la encuesta, fue clave para lograr la tasa de respuesta deseada, que fue significativa. Sin embargo, no se puede afirmar que la muestra es representativa, porque no se dispone de evidencia real con respecto al tamaño de la población ni se establecieron tasas de respuesta objetivo para subgrupos como provincias o subsectores. **Aun así, se observa que la encuesta de evaluación de la madurez podría leerse, por lo menos, como una señal del interés del sector por la IA.**

Metodología

En la encuesta original de Element AI, las preguntas y respuestas se diseñaron para un mecanismo de puntuación simple. Para cada pregunta, había cinco posibles respuestas, y cada respuesta se asignó a una de las cinco etapas de madurez de la IA. Por ejemplo, una empresa que seleccionara la respuesta A en toda la encuesta terminaría obteniendo una puntuación en la etapa de exploración, y una empresa que seleccionara la respuesta B en toda la encuesta obtendría una puntuación en la etapa de experimentación, y así sucesivamente.

En esta encuesta de evaluación de la madurez, la puntuación fue más compleja y el énfasis de la investigación cambió de la evaluación comparativa de empresas individuales, que sabíamos que estaban en etapas de madurez desde exploración a transformación, a evaluar un sector que sabíamos que estaba en las primeras etapas de madurez en la adopción de la IA.

A través de rondas de retroalimentación con actores clave de este proyecto, incluido CIDETER y expertos del ámbito académico, se desarrollaron 35 preguntas divididas en seis secciones. Para obtener una lista completa de las preguntas y opciones de respuestas, véase el anexo 2. La primera sección de la encuesta recopiló información demográfica sobre los encuestados (preguntas 1 a 10). Cada una de las siguientes cinco secciones representó una dimensión de la madurez de la IA. Cada una de esas secciones tenía un número diferente de preguntas, un tercio de las cuales no se calificaron ya que fueron diseñadas para recibir respuestas abiertas (preguntas 15, 17, 19, 24, 25, 26, 31 y 34). El resto de las preguntas eran de opción única (preguntas 12, 16, 18, 20, 21, 23, 27, 28, 29, 32 y 33) o de opción múltiple (preguntas 11, 13, 14, 22 y 30). Cada una de las respuestas a las preguntas de opción única, de forma similar al esquema de puntuación de la encuesta original, representaba una etapa de madurez en forma numérica. Para puntuar las preguntas de opción múltiple, asignamos un valor a cada opción de respuesta y sumamos cada selección, por una cantidad máxima de puntos en la sección (**cuadro 2**).

Después de sumar los puntos para cada pregunta y sección, escalamos las puntuaciones de forma proporcional, asignando una puntuación simplificada de 1 a 5, para representar cada una de las cinco etapas de madurez de la IA.

Cuadro 2 · Descripción general de la puntuación de la encuesta

	Número de preguntas	Número de preguntas puntuadas	Puntuación máxima
ESTRATEGIA	5	1	5
DATOS	4	2	9
TECNOLOGÍA	6	4	7
RECURSOS HUMANOS	6	4	12
GOBERNANZA	3	2	7
TOTAL	24	16	40

Fuente: Elaboración propia.

Con el enfoque en el sector, y no en empresas individuales, los puntajes individuales de las empresas son menos relevantes que una visión agregada del sector. Por ejemplo, se consideraron las respuestas individuales de la encuesta durante las entrevistas exhaustivas, pero por lo demás, se analizan de forma agregada.

Limitaciones

No existe la encuesta perfecta y, como ya se mencionó anteriormente, la encuesta de evaluación de la madurez es una herramienta que permite observar el sector directamente y medir el interés en la IA. Una limitación clave es que no se puede afirmar que esta encuesta sea representativa del sector y, por lo tanto, no se puede evaluar realmente si sus resultados son estadísticamente significativos. Es importante tener esto en cuenta al analizar e interpretar los resultados.

También se observó que más del 60% de quienes completaron la encuesta se identificaron como personas en funciones de gestión en su organización. Esto era esperable ya que la encuesta se orientó a personas con roles ejecutivos y de liderazgo, y es positivo, ya que indica que la organización atribuyó cierta importancia a responder la encuesta. El cuestionario contenía tanto preguntas de estrategia como de recursos humanos y de TI, por lo que algunos aspectos técnicos podrían haber pasado por alto al provenir las respuestas de personas en roles de gestión. Aunque esto se ha identificado como una posible limitación, no se considera preocupante.

Por último, si bien no fue necesariamente una limitación para los fines del proyecto, la pandemia de COVID-19 afectó los plazos y las actividades de coordinación. Considerando las restricciones de la pandemia, el proyecto se desarrolló en remoto, a través de medios digitales. Esto incluyó la encuesta, que se distribuyó por correo electrónico y estuvo disponible públicamente en el sitio web del proyecto. Las entrevistas y reuniones de trabajo se llevaron a cabo mediante videoconferencias.

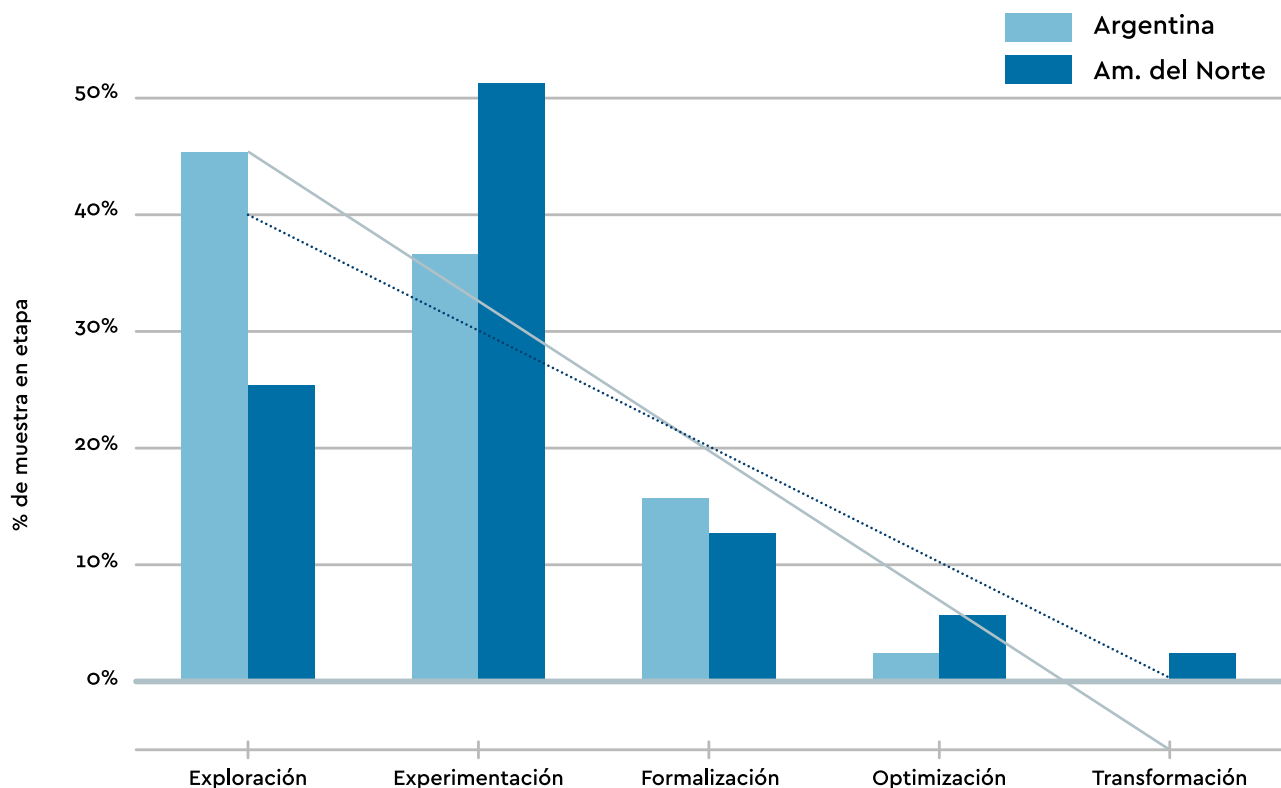
5.2. Madurez general

Sobre la base de la investigación inicial para el caso argentino, se estimó que muchas empresas, especialmente considerando su tamaño más pequeño, estarían en las primeras etapas de madurez de la IA. Esto se confirmó en la encuesta. **Como puede verse en el gráfico 10, el 45% de las empresas se encuentran en la etapa de exploración y el 38%, en la de experimentación.** No se identificó a ninguna empresa en la etapa superior (transformación), y el 17% que puntuó en las etapas de formalización y optimización son empresas dedicadas a servicios de IA o grandes firmas con equipos dedicados al desarrollo de productos de IA. **Como resultado, se considera que, en términos generales, el sector de maquinaria agrícola de Argentina se encuentra entre las etapas de exploración y experimentación.**

El **gráfico 10** también muestra el nivel de madurez de la IA de las empresas encuestadas en Estados Unidos y Canadá, aproximadamente un año antes de este estudio. Si bien es difícil comparar estos estudios en detalle, el patrón agregado que se muestra a continuación muestra que Argentina es claramente menos madura en términos

generales. En particular, los resultados de Estados Unidos y Canadá revelan que un mayor número de compañías habían pasado de la etapa de exploración a la de experimentación en IA, mientras que otras ya habían entrado en la etapa de transformación. Por el contrario, en la muestra de este estudio, hay más empresas en la etapa de exploración o, como se observó en las entrevistas, se estancaron en esta etapa inicial.

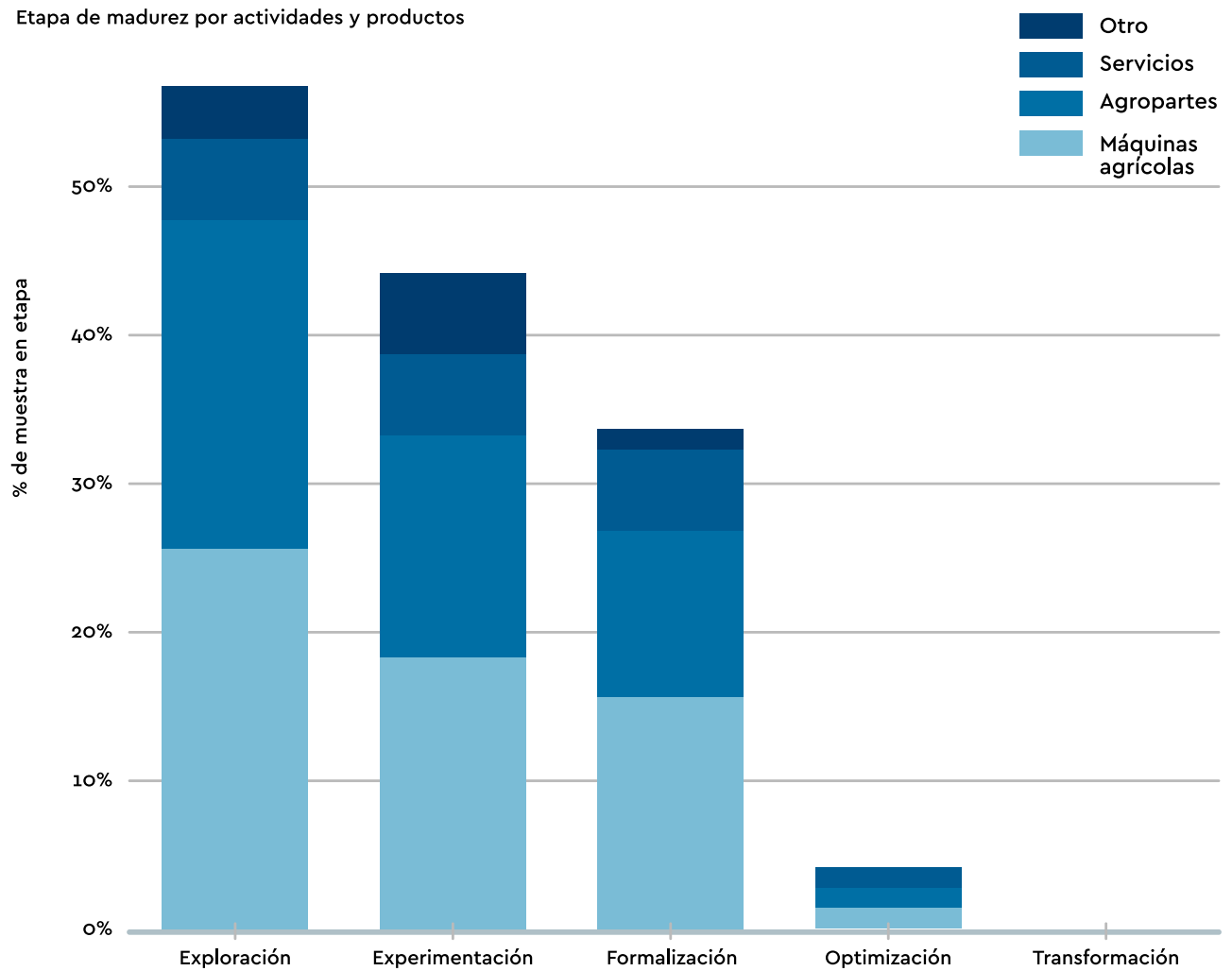
Gráfico 10 · Etapa de madurez general de las empresas encuestadas, según los resultados de la encuesta realizada para Argentina (2020-21) y América del Norte (2019-20)



Fuente: Elaboración propia para el caso de Argentina y sobre la base del informe del marco de madurez y la encuesta de Element AI para el caso de América del Norte.

Asimismo, se compararon los resultados de la etapa de madurez según los datos demográficos de la muestra (**gráficos 11 a 14**). En cada uno de los gráficos, el eje horizontal es una medida de cuántos encuestados de la muestra corresponden a una categoría determinada. Por ejemplo, en el **gráfico 11**, más de 25 encuestados se encontraban en la etapa de exploración y habían indicado que sus actividades y productos como empresa se centraban en maquinaria. En general, las formas de las distribuciones son similares al comparar la madurez general con la información demográfica, excepto en el caso de las ventas internacionales y la región.

Gráfico 11 · Etapa de madurez general por tipo de actividad¹⁸



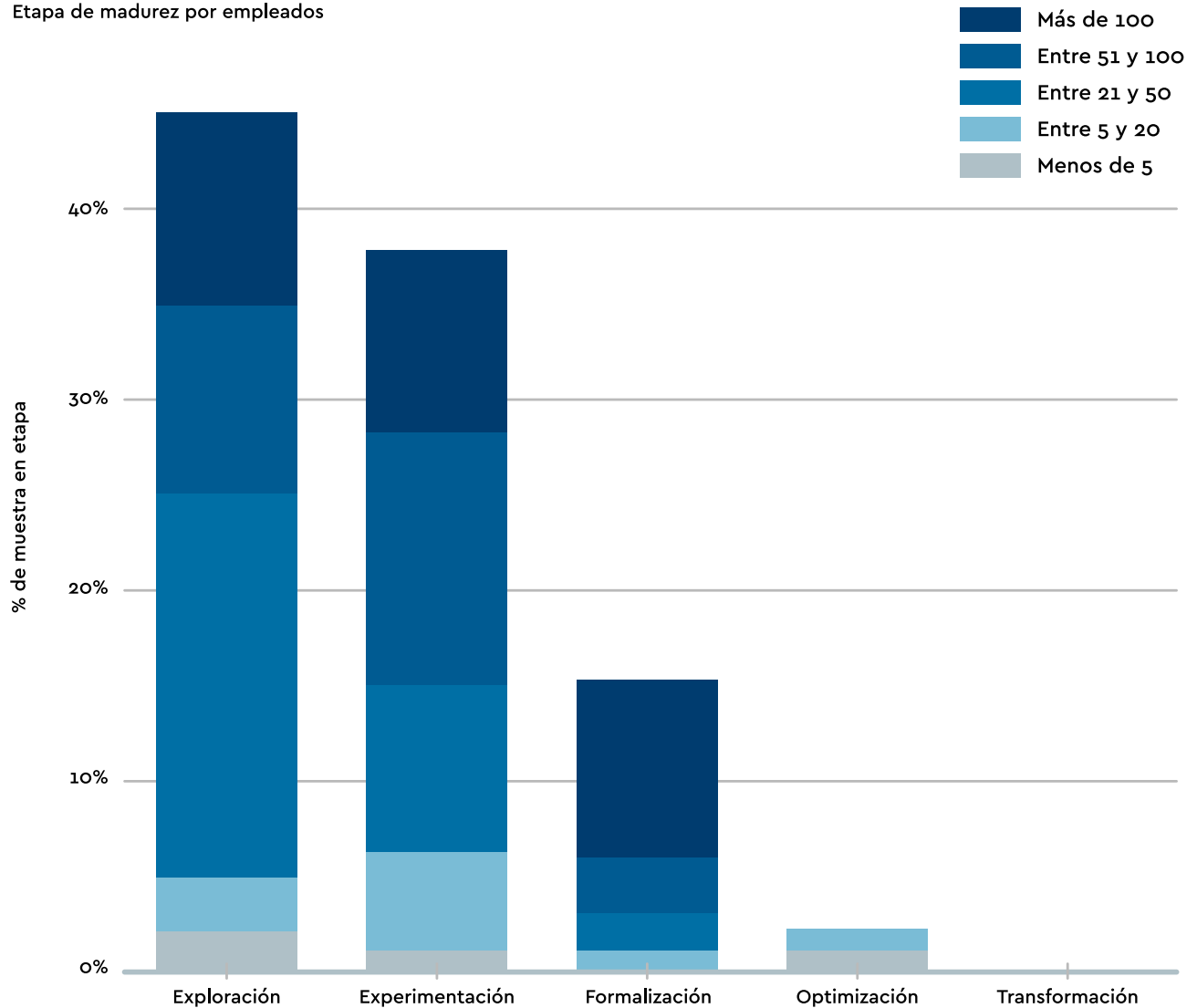
Fuente: Elaboración propia a partir de la encuesta de madurez de la IA.

En la muestra había muchas más empresas enfocadas en la maquinaria y las agropartes que en otras categorías, y estaban distribuidas de manera similar por etapa de madurez. Había menos empresas dedicadas a los servicios, pero estas se distribuían de manera más uniforme entre las etapas.

¹⁸ En esta pregunta, los encuestados podían seleccionar más de una opción.

Gráfico 12 · Etapa de madurez general según el tamaño de la empresa

Etapa de madurez por empleados

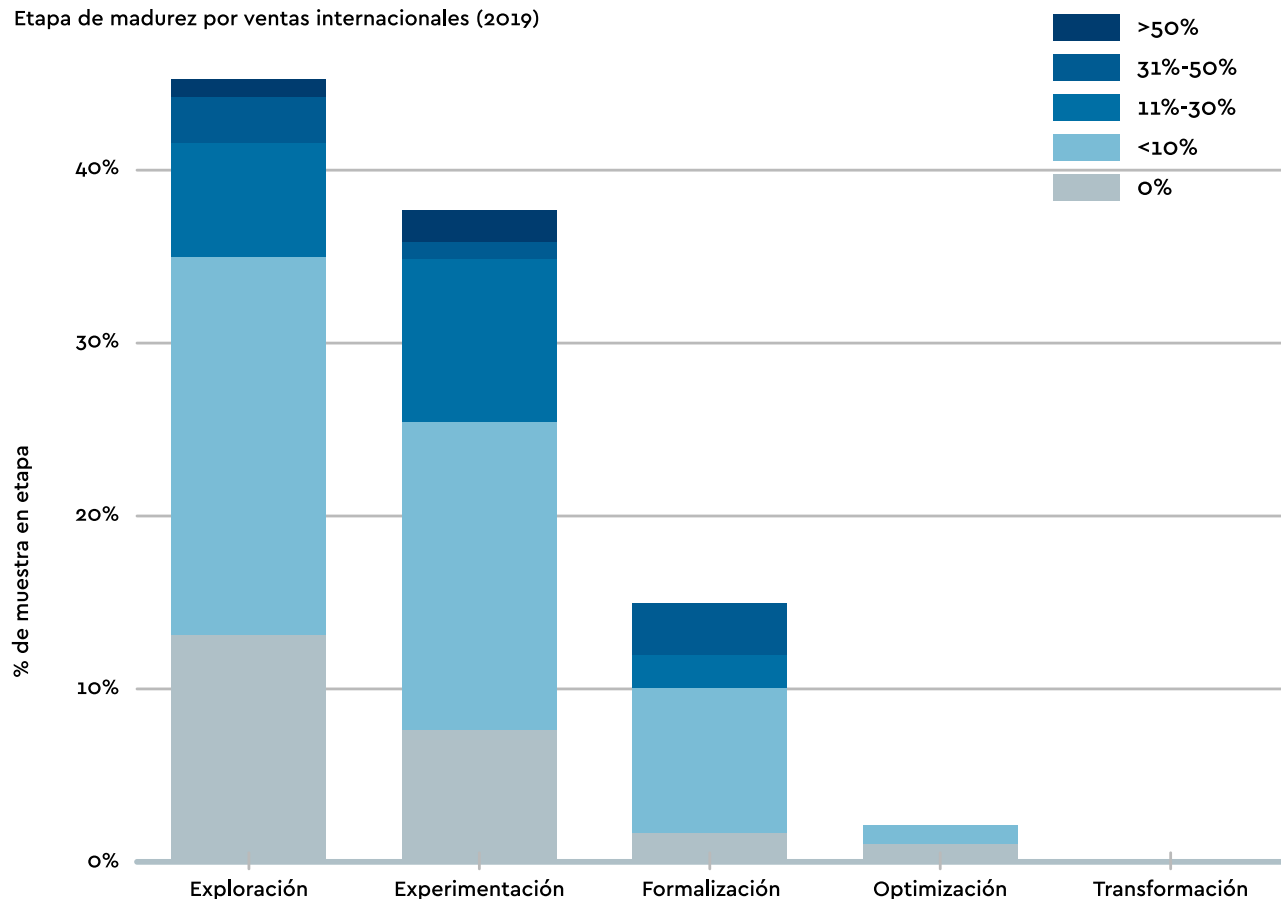


Fuente: Elaboración propia a partir de la encuesta de madurez de la IA.

En la muestra, las empresas más grandes constituyeron la mayoría de las empresas en proceso de formalización, mientras que las pocas empresas más maduras en la etapa de optimización eran empresas mucho más pequeñas (**gráfico 12**). Esto respalda la expectativa de que las *startups* más pequeñas pueden adoptar la IA más rápidamente, mientras que solo las empresas establecidas más grandes y con más recursos pueden realizar las inversiones necesarias para adaptarse con miras a utilizar IA.

Gráfico 13 · Etapa de madurez general por exportaciones

Etapa de madurez por ventas internacionales (2019)



Fuente: Elaboración propia a partir de la encuesta de madurez de la IA.

Por último, las empresas con más ventas internacionales eran un poco más maduras que las empresas con menos exportaciones (**gráfico 13**). Esto tiene sentido intuitivamente porque es probable que las empresas exportadoras sean más grandes, y cuenten con los equipos y procesos para adaptarse rápidamente a la competencia, y logren ver a la IA como un factor diferenciador. La distinción no fue tan significativa en general, a pesar de que los autores esperaban que fuera más pronunciada.

De forma preliminar, podría decirse que, aparte de las excepciones descritas anteriormente, la uniformidad general de los resultados prepara el escenario para el análisis de madurez de la IA y el diseño de las recomendaciones de política que aplican horizontalmente a toda la muestra.

En general, estar en la etapa de exploración significa que las organizaciones están iniciando el proceso de adopción de IA cuando pasan de la conciencia general de la tecnología a preguntas específicas sobre qué

problemas u oportunidades puede ayudar a resolver. La situación de las empresas en esta etapa puede variar, desde las que tienen un presupuesto cero para la IA hasta las que tienen un rol activo y recursos para su adopción. **En la experiencia de los autores, las empresas en etapa de exploración comparten la falta de experiencia para discernir entre una buena oportunidad de IA de una mala.** Por ejemplo, los líderes empresariales pueden estar estudiando cómo se está aplicando la IA en su industria, pero no pueden juzgar qué aplicaciones podrían ser inversiones valiosas para su empresa.

Las técnicas para cerrar esta brecha varían según los diferentes equipos y estructuras organizativas. Los líderes empresariales y técnicos generalmente necesitan ayuda para separar la exageración de la realidad sobre las técnicas de aprendizaje profundo o *deep learning*, aprendizaje por refuerzo (*reinforcement learning*) y aprendizaje por transferencia (*transfer learning*). Los equipos de ciencia de datos pueden requerir menos ayuda para comprender estas técnicas, pero aún deben descubrir el grado de cooperación necesario del negocio para construir modelos y ponerlos en producción. El avance dentro de la etapa de exploración tiende a verse impulsado por individuos o equipos ambiciosos que se centran en generar un interés y realizar compras informadas.

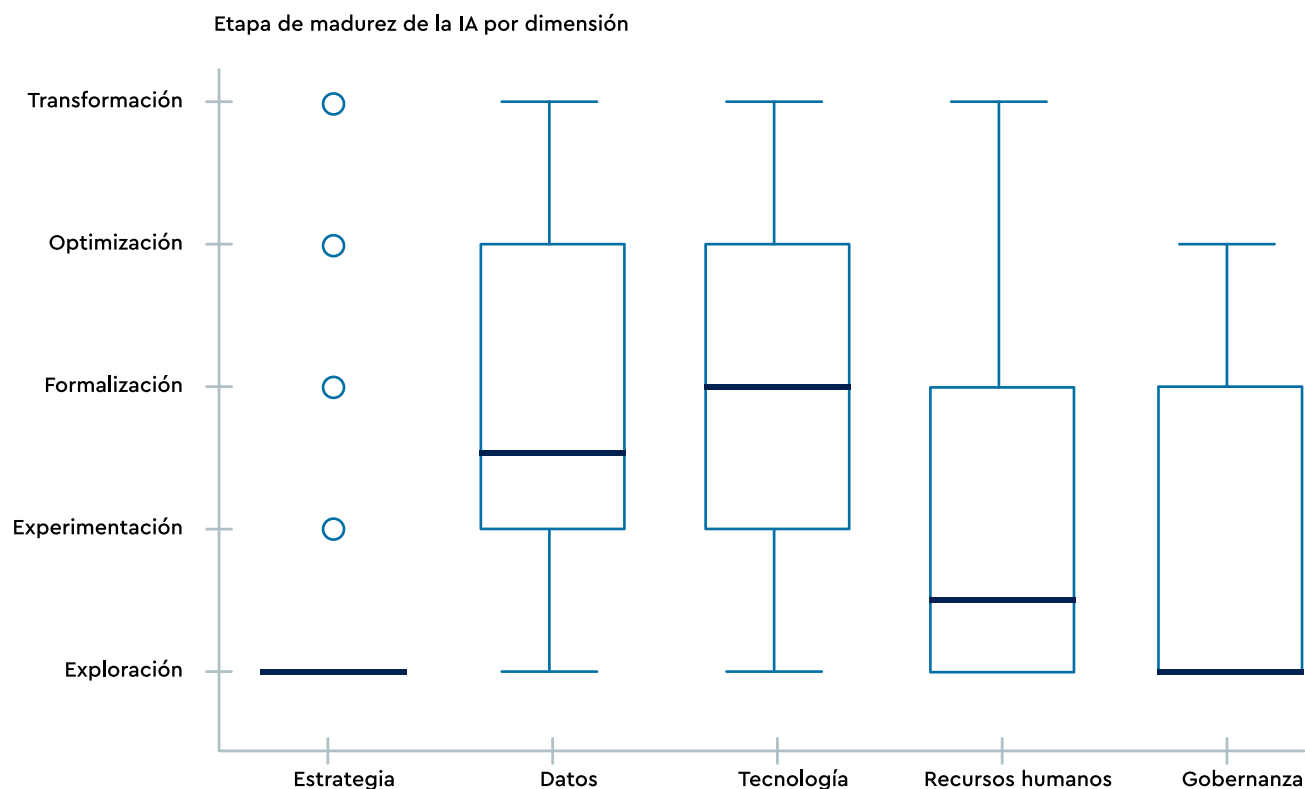
Como una forma de mirar hacia el futuro, en la etapa de experimentación, las organizaciones asignan mayor intencionalidad en el desarrollo de una hipótesis detallada acerca de dónde y cómo debería aplicarse la IA. En la etapa de formalización, las empresas han implementado con éxito sus primeros proyectos de IA en producción y están explorando cómo garantizar y escalar su desempeño en el largo plazo.

5.3. Madurez por dimensión

En esta sección, se analizan los resultados de la encuesta para cada dimensión: Estrategia, Datos, Tecnología, Recursos humanos y Gobernanza. La madurez por etapa revela resultados similares a la madurez general: las empresas exploran estrategias e ideas para invertir en recursos humanos, tecnología y datos, pero aún no saben cómo hacerlo.

Antes de analizar los datos por dimensión, es relevante considerar ciertas limitaciones del método de puntuación del estudio (sección 5.1). Dado que la puntuación varía según la dimensión y se pondera en general, no se puede hacer una comparación simple con otras encuestas, o incluso entre dimensiones dentro de la misma encuesta. Se usa el siguiente diagrama de caja para mostrar la distribución de las puntuaciones por dimensión (**gráfico 14**).

Gráfico 14 · Puntuaciones de madurez de la IA por dimensión



Fuente: Elaboración propia a partir de la encuesta de madurez de la IA.

El diagrama de caja (**gráfico 14**) es una visualización de la distribución en los resultados. Las barras indican los cuartiles y la línea roja representa la puntuación mediana. La dimensión Tecnología ilustra la distribución más equilibrada, mientras que otras dimensiones como Datos, Recursos humanos y Gobernanza muestran una distribución más desigual en los resultados. El grado de distribución de las puntuaciones por dimensión puede influir en el grado en que las recomendaciones de política sean más específicas. Esto se describe en profundidad en la sección 6.

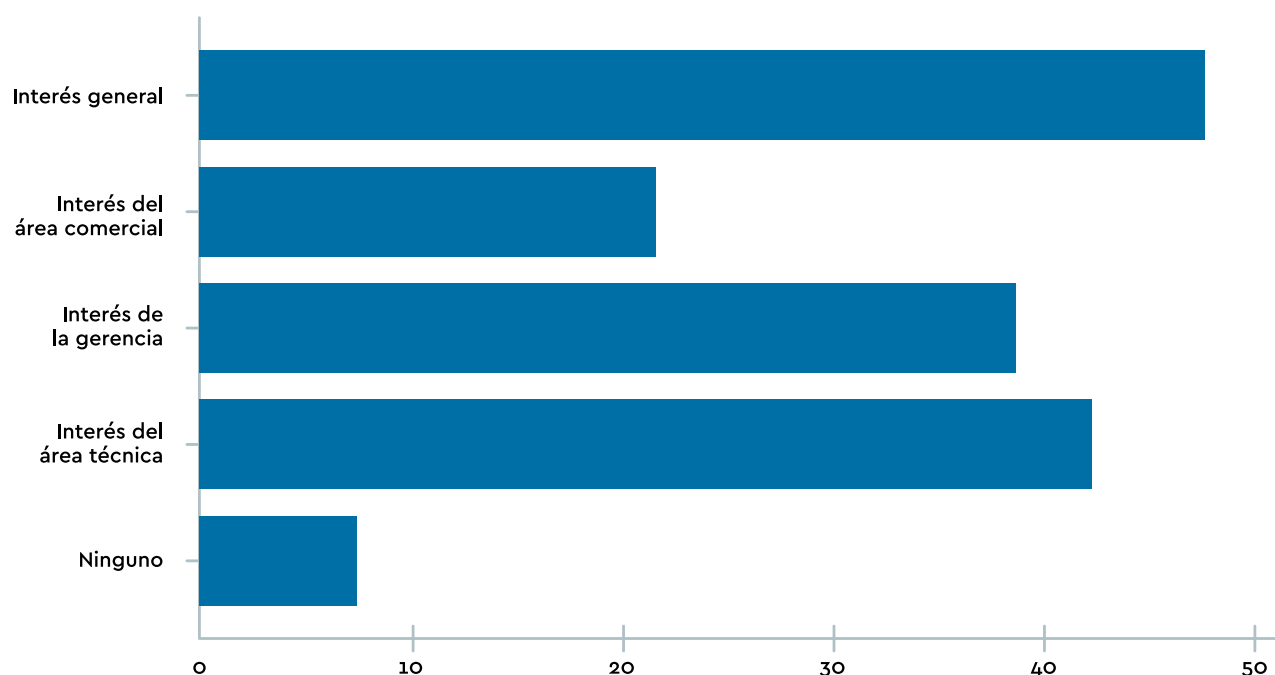
Estrategia

La mayoría de las preguntas de la dimensión Estrategia no se diseñaron tanto para calificar a las empresas sino para obtener información sobre sus planes y asociaciones dentro del ecosistema. **Casi la mitad de las empresas encuestadas respondieron que tienen interés en la IA, pero no han formalizado un plan o estrategia.** La mayoría de las empresas está interesada en la IA en general, pero también en los avances tecnológicos y las mejoras

comerciales y de gestión (**gráfico 15**). Cabe señalar, sin embargo, que el interés por la IA para la gestión y el área técnica está mucho más extendido entre las empresas que el interés para el área comercial. Cuando se les preguntó qué iniciativas de IA habían planeado para los próximos 6 a 24 meses, el 60% de las empresas se centró en los procesos de producción, mientras que alrededor del 10% se centró en procesos no relacionados con la producción. Interpretamos esto en el sentido de que las empresas ven a la IA como una forma de transformar sus líneas de producción, no necesariamente su estructura empresarial u organizativa. Si bien este es un enfoque común para la adopción de la IA en las primeras etapas de madurez, las empresas con niveles más altos de madurez buscan implementar la IA de manera tan exhaustiva que el negocio se transforme y la IA esté "en su ADN".

Gráfico 15 · Áreas de interés para la IA¹⁹

11 · ¿Cuánto interés existe para la IA en toda su organización?



Fuente: Elaboración propia a partir de la encuesta de madurez de la IA.

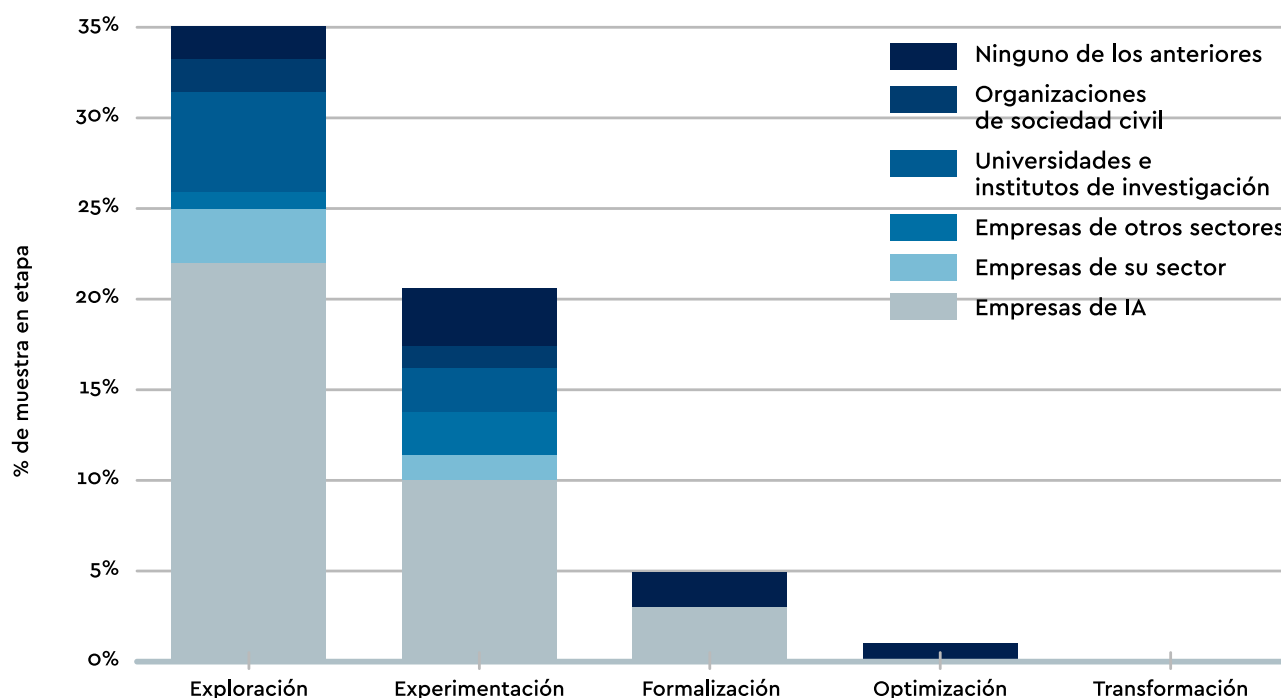
En términos de adopción de soluciones de IA por parte de empresas de maquinaria agrícola, las entrevistas con un grupo seleccionado de empresas mostraron que aquellas que se encuentran en la etapa de exploración son muy conscientes de su necesidad de ingresar al mundo de la IA para seguir siendo competitivas. Su percepción es que el desarrollo de capacidades en IA es inevitable; el problema es que muchas de estas empresas no están seguras o no saben cuál es el mejor camino a seguir.

19 · En esta pregunta, los encuestados podían responder eligiendo más de una opción.

La falta de conocimiento de las empresas entrevistadas sobre el ecosistema de IA en el país puede ser una barrera para pedir ayuda. Consideramos que las empresas se benefician de un entorno de IA favorable, que incluye otras empresas, instituciones académicas y de investigación y grupos de la sociedad civil. En la pregunta 14, se preguntó sobre las preferencias para establecer alianzas, e implícitamente, también se buscó observar el nivel de conocimiento de las empresas acerca del ecosistema (**gráfico 16**). Los encuestados prefirieron abrumadoramente alianzas con empresas de IA, y se mostraron menos inclinados a elegir socios dentro del sector de ciencia y tecnología, especialmente en el caso de empresas en niveles más avanzados de madurez. Esto no es de extrañar ya que, como hemos aprendido de nuestras entrevistas, la mayoría de estas empresas no está acostumbrada a colaborar con el sector científico. Las entrevistas también revelaron que la mayoría de las empresas no conoce ni el ecosistema público ni el privado de IA en Argentina. La mayoría de las empresas no conocen universidades, instituciones de investigación o empresas que trabajan en IA en el país, las cuales podrían ayudarles a desarrollar su plan de IA.

Gráfico 16 · Puntuación de madurez de la IA por dimensión

Etapas de madurez por ¿A quién o quiénes acudiría para llevar a cabo sus iniciativas o proyectos de IA?



Fuente: Elaboración propia a partir de la encuesta de madurez de la IA.

Cabe destacar, sin embargo, en términos de desarrollo de la IA, que dentro del subgrupo de empresas que están más avanzadas en estrategia de IA, hay algunas que se han comprometido en el desarrollo de soluciones innovadoras de IA (**recuadro 3**). Entre esas empresas podemos diferenciar proveedores de tecnología como empresas de Agtech, y otras de maquinaria agrícola que están desarrollando soluciones de IA.

Recuadro 3 · Soluciones locales innovadoras para IA en prácticas agrícolas

Sistema de detección de malezas en tiempo real

Deep Agro, una empresa de Agtech creada recientemente en Rosario, está desarrollando su primer producto, que lanzará comercialmente el próximo año: un sistema de detección automática de malezas en tiempo real, utilizando IA y visión por computación. El sistema de detección se puede instalar en equipos de pulverización para agricultura de precisión. Aunque este producto todavía está en desarrollo, Deep Agro ganó el premio a la innovación en robótica en la exposición anual Expoagro 2020. Cabe destacar que Deep Agro fue creada como una firma de base científica, y sus fuertes vínculos con el sistema científico local (Universidad Nacional de Rosario y CIFASIS) son parte de su estrategia de crecimiento.

Soluciones para la aplicación selectiva de agroquímicos y control de malezas

Milar Agro Tech es una *startup* de Agtech de tres años de antigüedad. Su negocio principal es “buscar alternativas tecnológicas para el sector agrícola”. Actualmente, está desarrollando soluciones para el control de malezas. El proyecto más relevante en desarrollo es un dispositivo innovador para la aplicación selectiva de agroquímicos. La firma tiene una alianza estratégica con una empresa de maquinaria agrícola, Soluciones Integrales, que se encargará de las fases de producción y comercialización.

Robot autónomo para la detección de malezas y la fumigación selectiva

Plantium es una empresa de AgTech dedicada a la investigación y desarrollo de productos. En base a tecnología de IA, ha desarrollado sistemas de detección de malezas por medio de visión por computadora. Uno de sus productos insignia es Terran, un robot autónomo que utiliza la tecnología de detección de malezas para incorporar la fumigación selectiva en tiempo real. Los productos fueron galardonados con el premio TERNIUM EXPOAGRO a la innovación en 2020, medalla de oro y mención de Diseño Industrial y en Mejores Prácticas en Agricultura.

Sistema de detección visual de anomalías para el procesamiento y clasificación de la caña de azúcar

La compañía **Doble TT**, que nació en la década de 1980 como una empresa especializada en la preparación de suelos, se ha orientado hacia el desarrollo de máquinas para ayudar en el procesamiento de la caña de azúcar. La empresa ha desarrollado una solución innovadora de IA para la detección visual de anomalías en el procesamiento y la clasificación de la caña de azúcar. La IA es ahora parte del plan estratégico a mediano plazo de la empresa.

En cuanto a la recopilación, aproximadamente una cuarta parte de las empresas encuestadas no recopila datos y no saben cómo empezar a hacerlo. Muchas de los que lo hacen —el 40% de las empresas recopilan algunos datos e incluso han desarrollado soluciones basadas en datos, como cuadros de mando personalizados para diferentes áreas de la empresa o aplicaciones móviles donde los usuarios se registran y cargan datos sobre la reparación de equipos— no tienen casos de uso de IA en mente. Las empresas están abiertas a ideas sobre los usos de la IA; sin embargo, no tienen claro a quién preguntar.

Algunas empresas (principalmente las que desarrollan soluciones de IA) están recopilando datos sistemáticamente para alimentar sus modelos. Por ejemplo, la empresa Deep Agro ha comenzado a recopilar datos en sus propios campos para alimentar el desarrollo de su sistema de detección de malezas en tiempo real. Estos datos se utilizaron tanto para entrenar el modelo de IA como para evaluarlo con posterioridad. Más recientemente, la empresa ha comenzado a recibir datos de clientes, quienes comparten imágenes que Deep Agro luego utiliza para adaptar el modelo a las características del terreno y campo del cliente. Aunque estos datos se comparten con Deep Agro, el cliente retiene sus datos como dueño de los mismos.

Fuente: Elaboración propia a partir de la encuesta de madurez de la IA.

Cuando se preguntó a los encuestados cómo les gustaría usar los datos, mostraron interés en usarlos para desarrollar productos y proveer información para la producción, los procesos y las ventas. Estas respuestas son consistentes con las expectativas de los autores, aunque no todos los casos de uso requerirían necesariamente IA. En cambio, algunos casos de uso pueden ser más adecuados para análisis de datos menos complejos, como el análisis de regresión para trabajar con datos de ventas. Antes de invertir en la adopción de la IA, vale la pena investigar más a fondo qué casos de uso son apropiados.

Tecnología

Las preguntas sobre tecnología ayudan a mostrar no solo el estado de las inversiones en tecnología en las empresas encuestadas, sino también las percepciones acerca de los desafíos y beneficios de la tecnología. De la nube de palabras del **gráfico 18** queda claro que las empresas ven la tecnología como poder. Esto se ve reforzado por el hecho de que, de todas las dimensiones, Tecnología fue la que obtuvo las puntuaciones más altas y la distribución más equilibrada en la muestra (**gráfico 14**). **A pesar de estas afirmaciones, los resultados fueron menos prometedores en cuanto a capacidad tecnológica e inversión.** En términos de capacidad actual, el 15% de los encuestados no tiene una base tecnológica para la IA, y aproximadamente un cuarto usa software de procesamiento simple como Microsoft Excel o Word. Aproximadamente un tercio de los encuestados usa su propia infraestructura, y menos del 20% de los encuestados utiliza soluciones basadas en la nube.

Gráfico 18 · Nube de palabras de respuestas a la pregunta abierta 25 sobre tecnología

¿Hay algo más que le gustaría destacar sobre su tecnología para IA?



Fuente: Elaboración propia a partir de la encuesta de madurez de la IA.

En términos de inversión, se preguntó a las empresas sobre las adquisiciones pasadas y proyectadas en equipos. En los últimos dos años, el 80% de los encuestados adquirió computadoras personales y el 70%, servidores o servicios de computación en la nube. Alrededor del 20% invirtió en robótica. Cuando se les preguntó sobre

los próximos dos años, las palabras clave generadas a partir de las respuestas a la pregunta 24 fueron robots, servidores, software y hardware, que podrían indicar áreas potenciales de inversión (**gráfico 19**). El interés pasado y actual en la robótica parece intuitivo para el sector de maquinaria agrícola, y de hecho, como se describió en la sección 4.3, el sector es conocido por adoptar rápidamente la innovación. Sin embargo, estas tecnologías se pueden utilizar sin emplear técnicas que ahora constituyen la vanguardia de las tecnologías de IA, como el aprendizaje profundo o *deep learning*. Como también se indica en la sección 4.3, algunos usos de la IA ya explorados no incluyen necesariamente el uso de la robótica.

Gráfico 19 · Nube de palabras de adquisiciones de equipo proyectadas para los próximos dos años

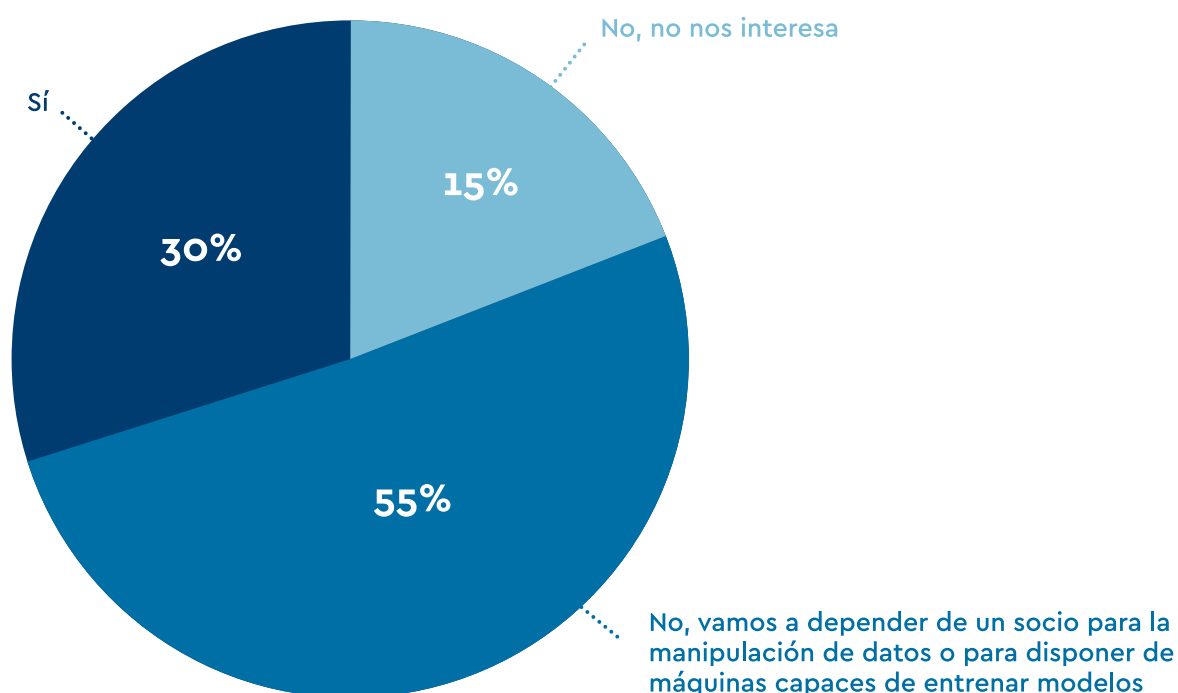


Fuente: Elaboración propia a partir de la encuesta de madurez de la IA.

Hay algunas advertencias respecto de las preguntas sobre futuras inversiones. Cuando se preguntó a las empresas si tenían un presupuesto para invertir en sistemas de TIC (tecnologías de la información y la comunicación) el próximo año, hubo una división casi pareja: el 51% respondió que sí y el 49%, que no. Esto puede significar que las empresas tengan planes de invertir durante dos años en lugar de uno (agregando así una nueva perspectiva a la pregunta 24) o que no tengan presupuestos específicos para TI. Esto último se vuelve más plausible cuando se consideran las respuestas a la pregunta 20 (**gráfico 20**): dos tercios de los encuestados no cuenta con un departamento de TIC o dedicado al desarrollo de software. La forma en que las empresas planifican y gestionan las inversiones en tecnología sin departamentos de TIC podría ser una barrera a la adopción de IA. Si bien un departamento de TIC puede no ser necesario, sí lo es un plan de inversión: el 55% de las empresas sostiene que dependerían de alianzas para realizar su trabajo de IA, y esas asociaciones requieren inversión. En la sección 6 se abordan estos desafíos en nuestras propuestas de política a nivel de empresa.

Gráfico 20 · ¿Tiene su empresa un área de desarrollo de software o TI?

20 · ¿SU EMPRESA TIENE UN ÁREA DE DESARROLLO DE SOFTWARE O IT?



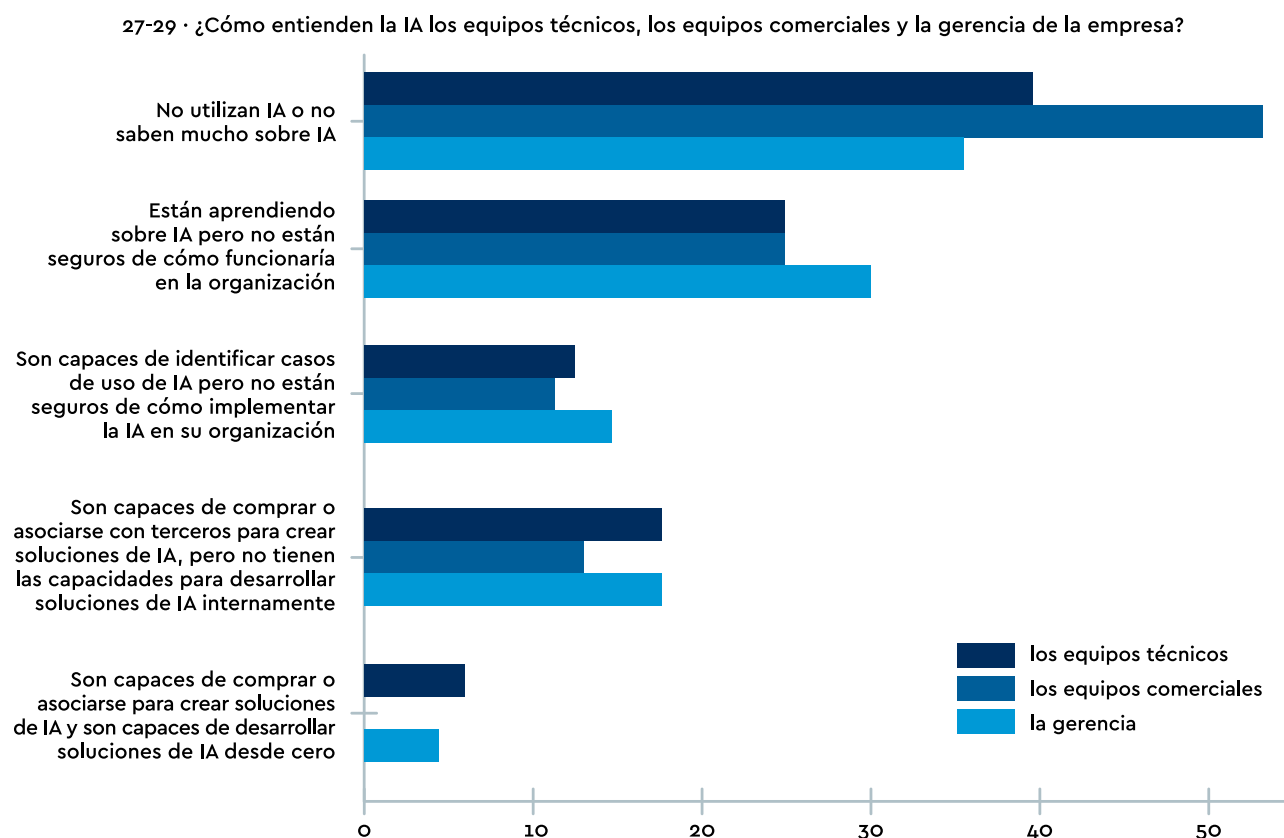
Fuente: Elaboración propia a partir de la encuesta de madurez de la IA.

Recursos humanos

Las preguntas sobre la dimensión de Recursos humanos están diseñadas para mostrar cómo la empresa comprende y toma medidas en proyectos de IA, desde una perspectiva de habilidades y responsabilidades. Como se describió anteriormente, la encuesta fue completada principalmente por representantes en funciones de gestión. Se observa, por lo tanto, que sus respuestas con respecto a los recursos humanos en la firma pueden estar sesgadas hacia esa perspectiva.

Teniendo en cuenta lo anterior, más de dos tercios de los encuestados indicó que sus equipos técnicos, comerciales y de gestión no saben mucho sobre IA o aún están aprendiendo sobre esta disciplina y las tecnologías aplicables (**gráfico 21**). Menos del 10% de los encuestados indicó que sus equipos técnicos son capaces de desarrollar soluciones de IA internamente.

Gráfico 21 · ¿Cómo entienden la IA los equipos técnicos, los equipos comerciales y la gerencia?

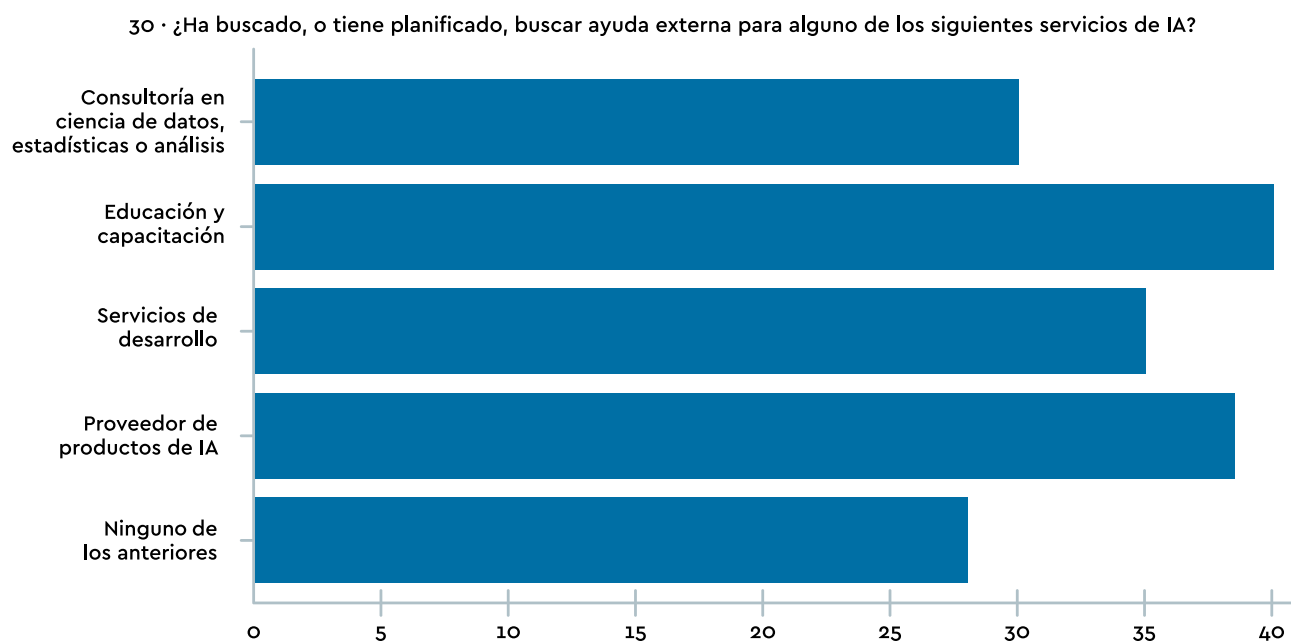


Fuente: Elaboración propia a partir de la encuesta de madurez de la IA.

No obstante, algunas empresas de maquinaria agrícola están comenzando a avanzar en la creación de capacidades internas para ingresar al mundo de la IA. Algunas de las empresas entrevistadas han designado un equipo (en algunos casos interdisciplinario, compuesto por diferentes perfiles de ingenieros) para llevar a cabo la transformación digital de la empresa y poner en marcha un plan de IA. Las empresas reconocen que no les resulta fácil encontrar profesionales de TIC capacitados o especialistas en IA.

Si bien es posible que los encuestados no se sientan capaces o no conozcan la IA, están buscando o piensan buscar ayuda externa para servicios de IA (gráfico 22). En términos de áreas en las que les interesaría buscar ayuda, se encuentran educación y desarrollo de capacidades (40%), con proveedores de productos (37%) y desarrollo de servicios (35%) como segundas opciones. Estos resultados son consistentes con respuestas anteriores sobre la limitada capacidad interna. La pregunta permitió a los encuestados seleccionar varias respuestas simultáneamente, en las que más del 70% de las empresas seleccionó al menos una opción, diferente de "Ninguna de las anteriores", mientras que el 43% seleccionó más de una opción.

Gráfico 22 · Interés de los encuestados en áreas de servicio de IA en ayuda externa



Fuente: Elaboración propia a partir de la encuesta de madurez de la IA.

Sin embargo, dentro de las empresas entrevistadas, las que se decidían a la creación de soluciones innovadoras de IA son, como era de esperar, las que sí tienen importantes capacidades internas en IA. Estas empresas suelen tener un equipo multidisciplinario de empleados, compuesto por ingenieros eléctricos, industriales, mecánicos, informáticos y agrónomos.

Gobernanza

La dimensión Gobernanza fue la dimensión de puntuación más baja, similar a lo sucedido con la evaluación de madurez global que realizó Element AI. La Gobernanza a menudo se percibe incorrectamente como una dimensión que entra en juego una vez que hay más madurez en otras dimensiones, como Datos y Tecnología. En la práctica, sin embargo, las consideraciones de gobernanza pueden y deben ser parte de la estrategia de IA desde el principio, incluidos los enfoques para el desarrollo responsable y sostenible de la IA.

En este caso, más del 75% de los encuestados indicaron que no son conscientes de los posibles riesgos asociados con la IA y que no conocen los marcos legales y éticos relevantes para la gobernanza responsable de la IA (preguntas 32 y 33). Un tercio de los encuestados indicó que estaban comenzando a educarse sobre la IA responsable (pregunta 33). **Estos resultados indican que existe cierto interés en desarrollar la capacidad de gobernanza de la IA, y que un primer paso podría ser la educación y concientización.**

Gráfico 23 · Nube de palabras de respuestas abiertas sobre la dimensión Gobernanza

¿Hay algo más que le gustaría destacar acerca de la gobernanza de la IA?



Fuente: Elaboración propia a partir de la encuesta de madurez de la IA.

Cuando se solicitaron comentarios adicionales sobre la gobernanza de la IA, los comentarios de los encuestados hablaron por sí mismos: les falta un plan organizacional (**gráfico 23**).

La realización de la encuesta de evaluación de la madurez en sí misma fue un ejercicio para medir el interés en la IA. En última instancia, las puntuaciones individuales de las empresas, o incluso su puntuación de madurez como una muestra, no es lo que importa. La encuesta de evaluación de la madurez es una herramienta que nos permite observar directamente al sector en su conjunto, y realizar recomendaciones de política más efectivas, sobre la base de esas observaciones.

6.

CONCLUSIONES Y PROPUESTAS DE POLÍTICA

En esta sección, proponemos recomendaciones de política diseñadas para acelerar la adopción de la IA en el sector de maquinaria agrícola. Diseñamos estas recomendaciones según tres criterios: i) dimensión; ii) etapa de madurez, y iii) tipo de participante.

Dimensión y etapa

Como se discutió en el primer capítulo, la clave para aprovechar el potencial de la IA es adaptarla a la industria en forma de aplicaciones específicas según cada contexto, y también adaptar las empresas e industrias para que puedan aprovecharla. Este proceso de adaptación, al igual que con la electrificación de la manufactura, tomará muchos años en llevarse a cabo por completo en todas las industrias. Debido a la escala de este cambio, se definen diferentes recomendaciones en distintos niveles: i) el de las propias empresas de maquinaria agrícola; ii) el del sector representado por asociaciones empresariales como CIDETER, y iii) el del sector público, que busca aumentar el impacto de la investigación, así como la fortaleza económica sectorial y nacional.

Para estructurar las recomendaciones, se utilizan las etapas y dimensiones del marco de madurez de la IA. Como pudo observarse en el capítulo 2, el marco de madurez de la IA define cinco dimensiones que las empresas deben equilibrar para optimizar los beneficios de corto plazo, junto con la transformación a largo plazo. Debido a que la mayoría de las empresas encuestadas se encuentran en la etapa de exploración o en la de experimentación, esta sección se centra en los dos primeros procesos de adopción.

- **De la exploración a la experimentación:** las organizaciones alcanzan un punto de inflexión desde la exploración hasta la experimentación cuando adquieren la capacidad de discernir entre las buenas oportunidades de IA y las malas. Esto permite que los equipos comiencen a construir una hoja de ruta del trabajo necesario para definir soluciones de IA convincentes.
- **De la experimentación a la formalización:** los experimentos a menudo aportan valor cuando se implementan como un riesgo calculado en un área de aplicación acotada. Para madurar hacia la formalización, es importante que los equipos aprendan a distinguir qué proyectos deben escalarse en producción y cómo medir su éxito.

Tipo de participante

El marco de madurez de la IA se desarrolló originalmente para asesorar a empresas. Dado el énfasis en el ecosistema como parte del proceso de adopción (capítulo 1.3), hemos adaptado las recomendaciones para incluir dos tipos adicionales de partes interesadas: las asociaciones empresariales organizadas como un clúster y el sector público.

A nivel de clúster, vemos a organizaciones como CIDETER como un vínculo crucial entre las empresas, así como entre las empresas y el sector público (sector académico y gobierno). En esta capacidad, las recomendaciones se enfocan en desarrollar oportunidades de trabajo en red, mejores prácticas, recursos compartidos y análisis

agregado de tendencias en el sector. Observamos que este rol proporciona una vía para que organizaciones como CIDETER exploren opciones generadoras de ingresos para crear servicios de valor agregado o incluso una unidad de negocios dedicada (quizás enfocada en la transformación digital de manera más general).

A nivel del sector público, observamos dos desafíos clave que respaldan nuestras recomendaciones: i) aumentar la conciencia de las capacidades derivadas de la investigación académica (y combinar oportunidades para explorarlas comercialmente), y ii) facilitar la creación de soluciones confiables de IA que requieran el uso de datos considerados confidenciales, privados o sensibles. En cada dimensión, por lo tanto, se alienta al sector público a tener una visión intersectorial de las actividades, con el fin de diseñar intervenciones apropiadas.

El objetivo de este capítulo de aquí en adelante es proponer medidas de política que aceleren la adopción de IA en el sector de maquinaria agrícola, a partir de la investigación y los datos recopilados y presentados en las secciones anteriores de este informe.

Estrategia

Los resultados de nuestra encuesta indican que casi la mitad de las empresas encuestadas tiene interés en la IA, pero que no han formalizado un plan o estrategia (**cuadro 3**). Tampoco son conscientes del ecosistema de IA que los rodea. Nuestras propuestas de política se enfocan principalmente en ayudarlas a alinearse en una hoja de ruta y alentar al clúster y al sector público a construir vínculos dentro del ecosistema de IA de Argentina. Creemos que las empresas se beneficiarían de un entorno de IA favorable, incluidas otras empresas, organizaciones académicas y de investigación y grupos de la sociedad civil.

¿Qué puede hacer la empresa?

De la exploración a la experimentación: es clave que las empresas exploren el potencial de la IA en su negocio. Primero, una empresa puede desarrollar una comprensión de las técnicas, oportunidades y requisitos de IA que existen en áreas tales como: procesos de producción, productos y servicios, servicios posventa, marketing, administración y recursos humanos. Luego, junto con los líderes técnicos y de gestión, la empresa puede colaborar para desarrollar una lista de oportunidades de IA que sean de mayor interés para el negocio. Después de realizar una investigación inicial sobre la conveniencia y viabilidad de cada oportunidad, puede priorizarlas en una hoja de ruta. Esta hoja de ruta debe proponer una o dos oportunidades en las que trabajar como un experimento. Estas podrían ser oportunidades que requieran que la IA se compre, construya o desarrolle en asociación con otras empresas.

De la experimentación a la formalización: una vez que se han identificado los experimentos, la empresa los puede repetir (y su estrategia en general), asignando un equipo al desarrollo de pruebas de concepto. Hacerlo podría requerir la obtención de apoyo o recursos, y este desarrollo, en su forma experimental, ayudará a la empresa a refinar su hoja de ruta y la asignación de fondos. Usando pruebas de concepto exitosas, la empresa puede alinear y galvanizar el liderazgo en inversiones en IA. Esto debería recibir el presupuesto y el patrocinio del equipo ejecutivo de la empresa a los proyectos de IA.

Recuadro 4 · Una alianza regional para el uso ético y responsable de la IA

fAIR LAC es una alianza regional impulsada por el BID, de la que participan el sector público y privado, la sociedad civil y la academia. Su finalidad es promover el uso ético y responsable de la IA en la solución de problemas sociales. Los objetivos de esta alianza son fomentar el desarrollo de algoritmos con los siguientes atributos:

- **Centrados en las personas:** respetando la privacidad, la diversidad, la equidad y la justicia social.
- **Entrenados sin sesgos:** evitando el riesgo de replicar y extender la desigualdad en la región.
- **Implementados en condiciones de transparencia e interpretabilidad:** asegurando mecanismos de rendición de cuentas para los afectados por un sistema de IA.

Pueden consultarse los detalles sobre el modelo de trabajo y las líneas de acción de la alianza en <https://fairlac.iadb.org>.

¿Qué puede hacer el clúster?

De la exploración a la experimentación: el clúster puede ayudar a las empresas a lo largo de su proceso de adopción, ayudándolas a construir capacidades y a promover colaboraciones público-privadas y privadas-privadas para el desarrollo y aplicación de IA. Por ejemplo, el clúster podría:

- Fomentar las relaciones con las instituciones públicas.
- Formar un grupo de trabajo, comité o similar, para impulsar actividades de *networking* o interacción entre empresas para intercambiar información.
- Organizar un programa de capacitación o un entorno de laboratorio para apoyar la mejora de las habilidades y la experimentación.
- Organizar un *hackathon* para que las empresas diseñen ideas para la innovación basadas en IA.

El clúster se beneficiaría del marco de madurez para evaluar (al menos, de manera informal) dónde se encuentran las empresas miembro en su proceso de adopción. De esta manera, el clúster puede identificar tendencias y personalizar estrategias específicas y esfuerzos de desarrollo de capacidades para beneficiar a la mayoría de sus empresas.

De la experimentación a la formalización: A medida que el clúster continúa ayudando a las empresas a lo largo de su proceso de adopción, debe mantener referencias de las mejores prácticas de madurez en cada dimensión que son específicas de su sector. Los tipos de actividades y compromisos que el clúster apoyaría también podrían ser más avanzados.

Por ejemplo, más allá de simplemente fomentar relaciones público-privadas y privado-privadas, el clúster podría trabajar para garantizar que estas relaciones conduzcan a una colaboración real en el desarrollo y la aplicación

de IA. Con el sector público, el clúster podría revisar y ayudar a implementar centros de innovación, como ZoneAgtech,²⁰ una incubadora regional canadiense de Agtech e innovación en bioproductos ubicada en Quebec.

Por último, si el clúster se propusiera ofrecer un programa de capacitación o crear un laboratorio para la experimentación con IA, esto permitiría a las firmas miembro obtener acceso a habilidades y educación en IA sin tener que invertir demasiado de sus propios presupuestos, al menos inicialmente. Este tipo de recurso común podría aliviar parte de la incertidumbre expresada por las empresas encuestadas respecto de sus inversiones en IA.

¿Qué puede hacer el sector público?

De la exploración a la experimentación: al igual que las empresas y el clúster, el sector público puede comenzar por comprender los nuevos productos, servicios y modelos de negocio basados en IA, y conocer el ecosistema de IA y la cadena de valor de la maquinaria agrícola. Por ejemplo, el sector público, a través de sus universidades y centros de investigación, podría explorar avances en la ciencia de los cultivos, como por ejemplo el uso de IA en tareas como la gestión de cultivos.²¹ El sector público podría diseñar un programa preliminar de asistencia a partir de sus aprendizajes y promoverlo entre las empresas interesadas. Este programa podría luego servir como catalizador para la construcción de alianzas dentro del clúster y otras partes interesadas.

De la experimentación a la formalización: después de un período de descubrimiento y formación de alianzas, el sector público puede avanzar en la definición de una estrategia sectorial o nacional unificada para fortalecer el ecosistema de IA. Como parte de esta estrategia unificada, el sector público puede querer establecer un programa piloto de incentivos financieros y fiscales para la incorporación de la tecnología necesaria para la adopción de IA. Este tipo de programa ayudaría tanto al clúster, en su planificación y presupuesto de ofertas a empresas, como a las empresas individuales.

Cuadro 3 · Resumen de las recomendaciones en la dimensión Estrategia

	Exploración → experimentación	Experimentación → formalización
EMPRESAS	Elaborar una hoja de ruta y acordar una o dos oportunidades en las que trabajar de forma experimental.	Incrementar el presupuesto y el apoyo, a través de pruebas de concepto exitosas.
CLÚSTER	Identificar tendencias y personalizar políticas específicas e iniciativas de creación de capacidades para beneficiar más a los miembros del clúster.	Invertir en programas de capacitación o centros de innovación para aliviar la carga presupuestaria de las empresas individuales.
SECTOR PÚBLICO	Realizar una misión de investigación para desarrollar prioridades y crear alianzas en torno de la adopción de IA.	Poner a prueba un programa con incentivos fiscales y financieros para la adopción de IA.

Fuente: Elaboración propia.

20 · <https://zoneagtech.ca/en/>.

21 · Barbosa A., A. Trevisan, N. Hovakimyan y N. F. Martin. 2020. Modeling yield response to crop management using convolutional neural networks. *Computers and Electronics in Agriculture*, 170, 105197. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168169919308543>.

Datos

La dimensión Datos del marco de madurez busca comprender cómo las empresas se relacionan con los datos y los valoran como un recurso que impulsa su adopción de IA (**cuadro 4**). Una cuarta parte de las empresas encuestadas no recopilan datos y no saben cómo hacerlo o por dónde empezar. Las que ya los recopilan, no lo hacen teniendo en cuenta los casos de uso de IA. Las empresas están abiertas a ideas sobre posibles usos de IA; sin embargo, no saben a quién preguntar. Las propuestas de política en esta sección están orientadas a mejorar esta situación.

¿Qué es la gobernanza de datos?

El Centro de Recursos de Seguridad Informática del Instituto Nacional de Normas y Tecnología (NIST, por sus siglas en inglés) define la gobernanza de datos como "un conjunto de procesos que garantiza que los activos de datos se gestionan formalmente en toda la empresa. Un modelo de gobernanza de datos establece la autoridad y los parámetros de gestión y toma de decisiones relacionadas con los datos producidos o gestionados por la empresa".²² La gobernanza de datos puede organizarse en dos categorías: recopilación y uso. Para cada una de ellas, puede haber reglas y criterios en torno a principios como la calidad, la integridad, la seguridad y la propiedad.

Parte del uso implica la utilización de datos para apoyar la toma de decisiones. Alrededor del 25% de los encuestados afirmaron que tomaban algunas decisiones basadas en datos. Para poder hacerlo, muchas empresas previamente llevaron a cabo un proceso típicamente largo y costoso de convertir los datos analógicos en digitales. La digitalización y estandarización de datos ha permitido a las empresas comenzar a utilizarlos para implementar tareas como control y programación remotas de equipos de producción. El caso de la Asociación Canadiense de Semillas (CSGA, por sus siglas en inglés) (**recuadro 5**) demuestra cómo un caso específico de uso de datos puede presentar la oportunidad adecuada para la transformación digital.

Recuadro 5 · Estudio de caso: Transformación digital en la Asociación Canadiense de Productores de Semillas

La Asociación Canadiense de Productores de Semillas (CSGA, por sus siglas en inglés) se fundó en 1904, en un intento por mejorar la producción de cultivos en Canadá, a través de la producción y el uso de semillas de pedigrí. El CSGA se convirtió en la intersección entre los fitomejoradores, los productores de semillas y los estándares regulatorios para la producción de semillas. La semilla con pedigrí asegura la pureza genética y varietal para cultivos comerciales, mejorando los rendimientos para los agricultores comerciales.

²² · Committee on National Security Systems (CNSS). Glossary. CNSSI 4009-2015. NSA/CSS Policy 11-1. Disponible en: https://csrc.nist.gov/glossary/term/data_governance.

En 2012, el Gobierno anunció que la Agencia Canadiense de Inspección de Alimentos ya no brindaría servicios de inspección de cultivos a partir de 2014, dejándole esta función a servicios de inspección privados. De este modo, el proceso de certificación y presentación de informes en papel, de 109 años de antigüedad, atravesó una transformación digital para capturar y almacenar datos electrónicamente con el fin de atender a nuevos miembros y mejorar los servicios para los productores de semillas existentes.

A fin de facilitar nuevos procesos para gestionar la gran cantidad de datos en papel, se realizó la ardua tarea de digitalizar documentos y procesos. Se implementaron nuevos métodos para recopilar y almacenar datos digitalmente. Esto significó la configuración de una base de datos centralizada, formularios electrónicos y herramientas para la generación de informes, y la implementación de flujos de trabajo electrónicos para almacenar datos estructurados, que fueran fácilmente recuperables, rastreables, procesables y estuvieran disponibles para su análisis.

Fuente: Elaboración propia.

¿Qué puede hacer la empresa?

De la exploración a la experimentación: para empezar, las empresas deberían abordar la dimensión Datos con un objetivo de aprendizaje, buscando comprender qué tipos de datos se pueden usar con IA (por ejemplo, imágenes, texto o voz, series de tiempo) y cómo varían los requisitos de datos para las diferentes técnicas de IA. Una vez que se completa esa fase de aprendizaje, o tal vez como parte de ella, las empresas pueden hacer una auditoría sobre qué datos tienen disponibles y las consideraciones clave de gobernanza de datos para su uso, como la calidad, la privacidad o los requisitos de procesamiento de *big data*. Las empresas deberían considerar qué datos no se han recopilado aún, pero se podrían recopilar, y explorar los datos que pueden obtener de fuentes externas, como las imágenes satelitales disponibles de CONAE/ISAGRO.²³

De la experimentación a la formalización: en la dimensión Estrategia, se alienta a las empresas a realizar algunos experimentos para entender dónde podrían estar sus mejores casos de uso de IA. La dimensión Datos se basa en la misma idea, al alentar a las empresas a utilizar los primeros experimentos de IA para crear apoyo y romper los silos de datos y consolidar los datos. Como parte de estos experimentos, las empresas deberían tratar de definir métricas, procesos y tecnologías para administrar la calidad de los datos para la IA, así como qué datos específicos deberían recopilarse y de qué forma. Las empresas pueden probar ideas incorporando en sus experimentos versiones piloto de un protocolo o marco legal sobre la confidencialidad en el uso de datos. Finalmente, si la empresa necesita digitalizar sus datos, entonces debería aprovechar un experimento de IA como una oportunidad para llevarlo a cabo.

¿Qué puede hacer el clúster?

De la exploración a la experimentación: dado que las empresas pueden tener dificultades para recopilar y definir casos de uso de datos en sus experimentos de IA, el clúster puede ayudar consolidando datos y poniéndolos a disposición de las empresas. De esta forma, las empresas pueden centrarse en los casos de uso. Para lograrlo, el

²³ Para más información, véase <https://www.argentina.gob.ar/ciencia/conae/aplicaciones-de-la-informacion-satelital/agro>.

clúster debe explorar qué datos se podrían almacenar y organizar en un mecanismo de intercambio de datos y tratar de responder las siguientes preguntas:

- ¿Qué datos públicos están disponibles (como datos meteorológicos o geográficos) que podrían organizarse o hacerse más accesibles a través de un mecanismo de intercambio de datos?
- ¿Qué datos son privados actualmente para las empresas?
- ¿Qué datos podrían recopilar las empresas algún día, incluso si no los recopilan hoy, para contribuir a un mecanismo de intercambio de datos?

Con las respuestas a estas preguntas, el clúster puede impulsar un esfuerzo público-privado o privado-privado para capacitar a las empresas sobre qué recopilación de datos y, por extensión, qué uso de datos podrá promover la adopción de IA.

De la experimentación a la formalización: con las respuestas sobre datos públicos y privados, el clúster debería ser capaz de determinar si un mecanismo de intercambio de datos es el siguiente paso lógico para sus empresas miembro y la comunidad en general (**recuadro 6**). A partir de ahí, el clúster necesitaría identificar los tipos de inversiones que las empresas deben realizar para recopilar y usar mejor los datos, y mantener una lista de las mejores prácticas o recomendaciones de herramientas y técnicas para hacerlo. El clúster podría querer impulsar a la comunidad en cuanto al desarrollo de un mecanismo de intercambio de datos, independientemente de si la plataforma de datos es desarrollada internamente por el ecosistema o tercerizada a compañías externas.

Recuadro 6 · Elementos de un mecanismo de intercambio de datos

Hay muchos tipos de mecanismos de intercambio de datos, como fideicomisos de datos o *data trusts*, cooperativas de datos o *data commons*, almacenes de datos y asociaciones de investigación. Cada uno de ellos difiere en su modelo de gobernanza. El interés en estos mecanismos se deriva principalmente del potencial para facilitar el intercambio responsable de datos y la innovación en el sector de la IA.

Element AI se ha centrado en los fideicomisos de datos como mecanismo preferido para compartir datos porque estos fideicomisos toman prestadas las reglas de gobernanza utilizadas en el fideicomiso de derecho consuetudinario: los datos se consideran un activo que los "fideicomitentes" depositan en un fideicomiso.²⁴

24 · P. Dawson y G. Abuhamad. 2019. "Towards Data Governance that Empowers the People." GISWatch. Disponible en: <https://www.giswatch.org/node/6199>.

Un estatuto de fideicomiso estipula el propósito y los términos del fideicomiso, que existe para beneficiar a un grupo de personas conocido como el "beneficiario". En términos más básicos, un fideicomiso de datos crea una forma legal de administrar datos.

Los fideicomisos de datos no son un modelo de gobernanza en sí mismos y su eficacia dependerá del uso complementario de otras herramientas que constituyen buenas prácticas de gobernanza empresarial. Al determinar qué mecanismo de intercambio de datos es el más adecuado para el contexto de la maquinaria agrícola, el clúster y las partes asociadas deben tratar de responder las siguientes preguntas:

- ¿Existe un caso de negocio para compartir datos?
- ¿Qué recursos están disponibles para facilitar el intercambio de datos?
- ¿Cuáles son los estándares técnicos para el intercambio de datos que cumplen todas las partes?
- ¿Cuáles son las preocupaciones sobre el acceso a los datos y cómo se pueden mitigar?
- ¿Quién es el propietario de los datos, quién controla su acceso, y cuán claros son los derechos y responsabilidades para todas las partes involucradas?

Fuente: Elaboración propia.

¿Qué puede hacer el sector público?

De la exploración a la experimentación: para ayudar al clúster en esta iniciativa, el sector público debería revisar los conjuntos de datos o plataformas que podrían estar disponibles para entrenar sistemas de IA, por ejemplo, una base de datos meteorológicos.

De la experimentación a la formalización: promover prácticas responsables de intercambio de datos entre sectores, como el mecanismo de intercambio de datos que el clúster podría implementar. Establecer un enfoque para hacer que las fuentes de datos complementarias, como el clima, el GPS o imágenes satelitales personalizadas estén disponibles para que las utilicen los compradores y los productores de maquinaria agrícola.²⁵ Por ejemplo, identificar estrategias para aumentar la adopción de datos de ISAGRO, que podrían producir ahorro de costos significativos para los agricultores que los adopten, dada la experiencia canadiense en la que la agricultura de precisión ahorró entre CAD 19 y CAD 39 por acre (dependiendo del tipo de cultivo).²⁶

25· Ejemplos canadienses de esto incluyen satélites dedicados para la administración de la tierra (<https://www.asc-csa.gc.ca/eng/satellites/everyday-lives/agriculture-in-the-satellite-age.asp>). Otro modo de llevarlo a cabo podría ser subsidiando empresas del sector privado que se especializan en esta recopilación de datos para brindárselos económicamente a las empresas (<https://medium.com/planet-stories/satellites-vs-drones-the-technology-in-your-vegeTablas-5794ee94b738>).

26· Véase el informe de la Agencia Espacial Canadiense (<https://www.asc-csa.gc.ca/eng/publications/2018-socio-economic-benefits-spce-utilization.asp#3.2>).

Cuadro 4 · Resumen de las recomendaciones en la dimensión Datos

	Exploración → experimentación	Experimentación → formalización
EMPRESAS	Aprender acerca de los tipos de datos disponibles y cómo su gobernanza podría afectar el proceso de desarrollo y adopción de la IA.	Concentrarse en cuáles deberían ser las pautas para la recopilación y el uso de datos y cómo aprovecharlos a través de experimentos de IA.
CLÚSTER	Considerar las diferencias entre la recopilación de datos públicos y privados, y dónde podría haber interés en el desarrollo de un mecanismo de intercambio de datos para beneficiar a múltiples partes.	Determinar si un mecanismo de intercambio de datos es el siguiente paso lógico para las empresas del clúster y la comunidad en su conjunto.
SECTOR PÚBLICO	Revisar los conjuntos de datos o plataformas que podrían estar disponibles para entrenar sistemas de IA.	Promover prácticas responsables de intercambio de datos entre sectores y establecer un enfoque para hacer que los datos complementarios estén disponibles.

Fuente: Elaboración propia.

Tecnología

A diferencia de su enfoque sobre los datos, las empresas conocen bien la infraestructura tecnológica, hardware como robots y servidores, y software, y han invertido al menos algo en estas áreas durante los últimos años. Esto tiene sentido intuitivamente, ya que la encuesta estaba dirigida al sector de maquinaria agrícola. Sin embargo, a pesar del interés en la inversión en TI, dos tercios de los encuestados carece de un departamento de TIC dedicado y menos de la mitad había presupuestado inversiones en TIC para el próximo año. Menos del 10% de los encuestados confiaba en que sus equipos técnicos fuesen capaces de desarrollar soluciones de IA internamente. El 55% de las empresas afirman que dependería de asociaciones para su trabajo de IA, y esas medidas requieren inversión. Si bien un departamento de TIC puede no ser indispensable para un proceso de desarrollo y adopción de IA, un presupuesto dedicado y un plan de inversión ciertamente lo son.

¿Qué puede hacer la empresa?

De la exploración a la experimentación: para los experimentos iniciales, hay una serie de herramientas disponibles de forma gratuita o de bajo costo. A medida que las empresas diseñan esos experimentos, pueden comenzar a recopilar una lista de herramientas y probarlas. En base a la experiencia con esas herramientas, las empresas pueden diseñar un presupuesto para comprar equipos y servicios específicos, como licencias para servidores en la nube que ofrecen acceso a GPU. Si las empresas deciden confiar en un socio para el desarrollo,

deben considerar, junto con sus socios, qué tipo de infraestructura podrían necesitar internamente para facilitar tales asociaciones, asegurando que mantienen el control de sus sistemas y la propiedad intelectual (PI). Una oportunidad que considerar podrían ser los proveedores de Infraestructura-como-servicio en la nube o IaaS (por sus siglas en inglés), ya que estos permitirían a las empresas empezar con un pequeño gasto en infraestructura, y escalar según sea necesario.

De la experimentación a la formalización: comenzar a formalizar la arquitectura técnica de implementación y buscar la forma de automatizar su uso para admitir nuevos flujos de trabajo de ingeniería de IA. Las empresas pueden utilizar herramientas de IA y la infraestructura relacionada no solo para diseñar sistemas de IA, sino también para actualizar y mejorar los procesos de producción en general. Si los beneficios se consideran ampliamente aplicables en toda la empresa, existe una mayor probabilidad de que el presupuesto y la inversión se mantengan.

¿Qué puede hacer el clúster?

De la exploración a la experimentación: el clúster puede ayudar a las empresas a gestionar los costos de inversión. También vincularse con el ecosistema de IA para producir sinergias tecnológicas, por ejemplo, catalogar proveedores de servicios en la nube para entrenamiento e inferencia de IA (GPU o hardware de IA especializado) y negociar precios en nombre de las empresas miembro. Y evaluar un modelo de negocio para operar infraestructura compartida para sus actividades educativas, como un laboratorio de IA (que también podría albergar el mecanismo de intercambio de datos descrito en la sección de la dimensión Datos).

De la experimentación a la formalización: educar y asesorar a las empresas sobre el equipamiento apropiado, por ejemplo, la innovación en chips especializados para IA (además de las GPU) y CPU de menor costo y menor consumo de energía, que pueden ejecutar cargas de trabajo de IA significativas de manera más económica y eficiente, utilizando plataformas como TensorFlow Lite. Si corresponde, poner en línea un entorno de "laboratorio" piloto o cualquier otra infraestructura tecnológica compartida que se haya decidido en la etapa de exploración.

¿Qué puede hacer el sector público?

De la exploración a la experimentación: el sector público puede centrarse en descubrir hasta qué punto se satisfacen las necesidades tecnológicas en la actualidad y diseñar políticas para llenar los vacíos cuando sea necesario. También utilizar programas oficiales para fomentar la transformación digital en general y la adopción de IA en particular, garantizando que la infraestructura tecnológica habilitante, como internet móvil de alta velocidad (por ejemplo, 4G, 5G e internet satelital), y la computación en la nube estén disponibles para su uso en contextos de maquinarias agrícolas.

De la experimentación a la formalización: alentar y respaldar la inversión mediante la puesta a prueba de programas de financiación como incentivos fiscales, subvenciones o préstamos, entre otros, para la adquisición de nuevos equipos para IA.

Cuadro 5 · Resumen de las recomendaciones en la dimensión Tecnología

	Exploración → Experimentación	Experimentación → Formalización
EMPRESAS	Recopilar una lista de herramientas y testearlas, con miras a preparar un presupuesto de inversión.	Formalizar las arquitecturas de desarrollo e implementación y buscar formas de automatizar su uso para admitir nuevos flujos de trabajo de ingeniería de IA.
CLÚSTER	Evaluar un modelo de negocios para operar una infraestructura compartida para actividades educativas, tales como un laboratorio de IA.	Asesorar a las empresas sobre inversiones en equipos adecuados.
SECTOR PÚBLICO	Garantizar que la infraestructura tecnológica habilitante esté disponible para su uso en contextos de maquinaria agrícola.	Establecer programas de financiación para la adquisición de nuevos equipos para IA.

Fuente: Elaboración propia.

Recursos humanos

Los graduados argentinos con capacidades en IA aún no han encontrado su camino en el sector de maquinaria agrícola. Las empresas afirman que no les resulta fácil encontrar profesionales de TIC capacitados o especialistas en IA. De hecho, más de dos tercios de los encuestados indicaron que sus equipos técnicos, comerciales y de gestión no sabían mucho sobre IA o aún estaban aprendiendo sobre esta disciplina y las tecnologías aplicables. Menos del 10% de los encuestados indicó que sus equipos técnicos eran capaces de desarrollar soluciones de IA internamente. Nuestra opinión es que debe establecerse una conexión entre los centros de investigación y el sector para fomentar el ecosistema y acelerar la adopción de IA (**cuadro 6**).

¿Qué puede hacer la empresa?

De la exploración a la experimentación: en un principio, la empresa puede centrarse en desarrollar la alfabetización en IA de los equipos comerciales y técnicos para generar confianza y apoyo. Para este fin, podrían solicitar la ayuda de especialistas en IA para identificar y abordar brechas de conocimiento, definir las competencias y el alcance de un equipo de desarrollo de IA, o simplemente identificar recursos clave como materiales de capacitación.

De la experimentación a la formalización: asignar equipos multifuncionales, flexibles y en red que experimenten con IA. Organizar las actividades de aprendizaje como oportunidades de desarrollo para los empleados, por ejemplo, cursos de certificación o *pasantías tecnológicas*. Considerar opciones para trabajar con estudiantes o expertos del ámbito académico, por ejemplo a través de pasantías y consultorías.

¿Qué puede hacer el clúster?

De la exploración a la experimentación: al igual que las empresas, el clúster puede ayudar a desarrollar la competencia de los líderes y, por lo tanto, la confianza en las aplicaciones de IA para el sector. Lo puede llevar a cabo a través de talleres, capacitaciones, etc. Si bien las empresas pueden estar desarrollando su lista de

recursos para los empleados, el clúster podría agregar esta información, por ejemplo, albergando una biblioteca de materiales de capacitación, o facilitando grupos de estudio para recibir capacitación gratuita de educadores en plataformas como Coursera y EdX.

De la experimentación a la formalización: el clúster podría fomentar las conexiones con las comunidades académicas y de investigación mediante la exploración de lo que se necesita para que el talento técnico, como los estudiantes graduados, comprenda que existen oportunidades digitales y de IA en el sector. También podría facilitar la comunicación entre las empresas y el sector público para definir las competencias en IA específicas para el sector y organizar un hackathon o evento similar para brindar oportunidades a los estudiantes (incluidos los empleados de las empresas y los estudiantes e investigadores del mundo académico y los centros investigación) de relacionarse, mientras exploran tecnologías de un modo facilitado.

¿Qué puede hacer el sector público?

De la exploración a la experimentación: el sector público puede vincularse con empresas a través del clúster para entender las necesidades y comenzar a diseñar programas específicos para fortalecer el ecosistema. Asimismo, puede revisar y difundir programas de formación para personal técnico, especialmente pensando en estudiantes adultos dentro de empresas o jóvenes profesionales de escuelas técnicas.

De la experimentación a la formalización: al trabajar con universidades y programas de formación relevantes, el sector público puede aclarar y organizar posibles trayectorias profesionales para cursos en IA o campos relacionados, y generar nuevas políticas de educación terciaria o universitaria sobre IA, según sea necesario. Puede también anunciar al ecosistema de IA las capacidades en IA que estén disponibles en la academia y sean útiles al sector privado, junto con los medios para aprovecharlas. Se debe trabajar con el clúster para diseñar hackathones o eventos similares para conectar a los estudiantes con la industria.

Cuadro 6 · Resumen de las recomendaciones en la dimensión Recursos humanos

	Exploración → experimentación	Experimentación → formalización
EMPRESAS	Desarrollar la alfabetización en IA de los equipos comerciales y técnicos para generar confianza y apoyo.	Asignar equipos para que experimenten con IA y fomentar oportunidades de desarrollo para los empleados, como cursos de certificación o adscripciones.
CLÚSTER	Agregar recursos de capacitación entre empresas y apoyar iniciativas para el desarrollo profesional tales como una biblioteca o grupos de estudio.	Fomentar las conexiones con las comunidades académicas y de investigación, organizando eventos de <i>networking</i> .
SECTOR PÚBLICO	Apoyar a las empresas, trabajando con el clúster, para diseñar programas de desarrollo de habilidades con el fin de fortalecer el ecosistema de IA.	Trabajar con el mundo académico y las instituciones de investigación para aclarar y organizar posibles trayectorias profesionales en todo el ecosistema de IA.

Fuente: Elaboración propia.

Gobernanza

Sobre el tema de la gobernanza de la IA, más del 75% de los encuestados indicó que no es consciente de los posibles riesgos asociados a la IA y que no está al tanto de los marcos legales y éticos relevantes para una gobernanza responsable de la IA. Al mismo tiempo, más de un tercio de las empresas señaló interés en desarrollar la capacidad de gobernanza de la IA y la mayoría está abierta a la educación y a la concientización. Por lo tanto, las recomendaciones y las políticas de esta sección se centran en la creación de capacidades (**cuadro 7**). Observamos que la gobernanza a menudo se percibe, incorrectamente, como una dimensión que entra en juego una vez que hay más madurez en otras dimensiones, como Datos y Tecnología. En la práctica, sin embargo, las consideraciones sobre gobernanza pueden y deben formar parte de la estrategia de IA desde el principio, incluidos los enfoques a un desarrollo de IA responsable y sostenible.

¿Qué puede hacer la empresa?

De la exploración a la experimentación: en esta etapa inicial, las empresas pueden familiarizarse con ejemplos de casos en los que se hizo un mal uso de la IA y comprender cuáles fueron las consecuencias en tales casos. Un recurso útil podría ser la base de datos de incidentes de IA,²⁷ que tiene más de 1.000 ejemplos. Muchos de los más notorios ocurren cuando la IA se utiliza para suplantar la toma de decisiones humanas en contextos de alto riesgo, como una sentencia penal. Sería valioso que las empresas consideraran qué aplicaciones podrían relacionarse mejor con el contexto de Agtech.

De la experimentación a la formalización: las empresas podrían considerar implementar un proceso de revisión de la ética o la gobernanza, como parte de sus experimentos de IA. De esta manera, pueden testear ideas y capacitar a los usuarios sobre el uso responsable de los datos y los sistemas de IA, que incluyen tanto a los empleados como a los clientes, según sea necesario. Experimentar con los procesos de gobernanza permitirá que las empresas comprendan qué tipos de gobernanza son válidos según el contexto. Por ejemplo, en contextos de bajo riesgo, como la detección de anomalías en los cultivos, puede que no sea necesario hacer una revisión ética o hacer una con el mismo detalle que en un contexto de mayor riesgo, como la gestión de trabajadores.

¿Qué puede hacer el clúster?

De la exploración a la experimentación: al igual que las empresas, el clúster también puede familiarizarse con ejemplos de casos en los que se hizo mal uso de la IA y comprender cuáles fueron las consecuencias de tales casos. El clúster podría sostener debates sobre la gobernanza de la IA o incorporarlos a su programa de formación, recomendados como parte de la dimensión Estrategia.

De la experimentación a la formalización: facilitar la concurrencia de diferentes partes interesadas para identificar tendencias en cuanto a desafíos y oportunidades en términos de confiabilidad, seguridad y responsabilidad de

27 · Partnership on AI. The Artificial Intelligence Incident Database. Disponible en: <https://incidentdatabase.ai/>.

la IA. A su vez, comunicar al público y al sector privado cómo las empresas están utilizando la IA de manera responsable, por ejemplo, las políticas para el uso confidencial de datos. Cuando existan enfoques de soluciones comunes para mitigar riesgos de la IA, el clúster debería comunicarlo a los responsables de las políticas para ayudar en la regulación proactiva.

¿Qué puede hacer el sector público?

De la exploración a la experimentación: el sector público puede trabajar para identificar brechas en las políticas de gobernanza de IA y, como parte de ello, recopilar marcos legales relevantes —por ejemplo, sobre el uso responsable de datos— que abordan puntos clave relacionados con la IA, a fin de garantizar que sean accesibles al clúster y a las empresas.

De la experimentación a la formalización: buscar retroalimentación entre las partes relevantes para cada borrador de nuevas regulaciones con miras a promover la innovación y, al mismo tiempo, garantizar un uso responsable de la IA. En particular, incluir en este ejercicio empresas individuales, así como grupos de empresas. A su vez, educar al público sobre los peligros y las soluciones a los principales desafíos para generar confianza.²⁸ A medida que las primeras soluciones de IA comiencen a estar en operación en el sector, pueden explorarse nuevas implicaciones para la propiedad intelectual y cómo eso interactúa con la financiación de la investigación y el desarrollo.

Cuadro 7 · Resumen de las recomendaciones en la dimensión Gobernanza

	Exploración → experimentación	Experimentación → formalización
EMPRESAS	Familiarizarse con casos en los que se hizo un mal uso de la IA y comprender las motivaciones para una mejor gobernanza.	Implementar procesos de gobernanza, como la revisión ética, como parte de los experimentos.
CLÚSTER	Organizar debates sobre la gobernanza de la IA o incorporarlos a sus programas de capacitación.	Promover el modo en que las empresas están utilizando la IA de forma responsable y contribuir a una regulación proactiva.
SECTOR PÚBLICO	Identificar las brechas en la política de gobernanza de la IA y asegurarse de que los marcos relevantes sean accesibles para el clúster y las empresas.	Buscar retroalimentación sobre proyectos de nuevas regulaciones para promover la innovación y, al mismo tiempo, garantizar un uso responsable de la IA.

Fuente: Elaboración propia.

²⁸ Un ejemplo de esto es la guía de deliberación de Canadá sobre IA responsable. Disponible en: https://na.eventscloud.com/file_uploads/3791cf7b32eb26534bc48f2724d017ee_GuideDeliberation_ENGpdf.pdf.

Conclusiones

Estas recomendaciones de política son muy útiles como base para el debate para diferentes grupos de interés como, por ejemplo, los distintos jefes de departamento de una empresa o representantes del sector público. El éxito de estas recomendaciones depende no solo de equilibrar su progreso en las cinco dimensiones del marco de madurez de la IA, sino de la cooperación entre los participantes en todo el ecosistema de la IA y del apetito por el cambio que acompañe la toma de decisiones. En la experiencia de Element AI, por ejemplo, una empresa comprometida puede llevar a cabo una actividad como un “boot camp” (sesión intensa de capacitación) en IA destinada a líderes empresariales y un taller para desarrollar una hoja de ruta de IA, en tan solo cuatro semanas. Con equilibrio, cooperación y foco, el sector de maquinaria agrícola de Argentina puede descubrir los beneficios de la IA más rápidamente.

Las técnicas para cerrar la brecha de madurez de la IA varían para los distintos equipos y estructuras organizativas. Los líderes empresariales y técnicos generalmente necesitan ayuda para discernir la exageración de la realidad respecto de las técnicas de IA tales como *deep learning*, *reinforcement learning* y *transfer learning*. Los equipos de ciencia de datos pueden necesitar menos ayuda para comprender estas técnicas, pero aún necesitan descubrir qué cooperación requieren del negocio para implementar soluciones de AI en producción.

ANEXOS

Anexo 1 · Centros de investigación y laboratorios

Cuadro A1 · Centros de investigación y desarrollo con grupos de investigación de IA

NOMBRE	INSTITUCIÓN	UBICACIÓN (CIUDAD, PROVINCIA)	ÁREAS TEMÁTICAS O TÓPICOS DE LOS GRUPOS DE INVESTIGACIÓN
Instituto Superior de Ingeniería de Software de Tandil (ISISTAN)	Instituto del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET)	Tandil (Buenos Aires)	<ul style="list-style-type: none"> • Sistemas de recomendación. • Sistemas inteligentes. • Computación distribuida y móvil. • Metodologías y herramientas para diseño de software.
Centro Internacional Franco-Argentino de Ciencias de la Información y de Sistemas (CIFASIS)	Instituto de la Universidad Nacional de Rosario (UNR)-CONICET	Rosario (Santa Fe)	<ul style="list-style-type: none"> • Procesamiento de señales multimedia. • Fundamentos y aplicaciones de lógica y programación. • Aprendizaje automatizado y aplicaciones. • Bioinformática y agroinformática.
Instituto de Investigación en Señales, Sistemas e Inteligencia Computacional (SIN (I))	Instituto de la Universidad Nacional del Litoral (UNL)-CONICET	Santa Fe (Santa Fe)	<ul style="list-style-type: none"> • Sistemas de control y procesamiento de señales. • Mecánica computacional. • Computación gráfica y tecnología de imágenes.
Instituto de Ciencias e Ingeniería de la Computación (ICIC)	Instituto del CONICET- Universidad Nacional del Sur (UNS)	Bahía Blanca (Buenos Aires)	<ul style="list-style-type: none"> • Gestión del conocimiento y recuperación de la información. • Ingeniería cognitiva y bases de datos. • Investigación jurídica y social e IA. • Representación y razonamiento del conocimiento en sistemas multiagentes. • Robótica cognitiva.
Facultad de Matemática, Astronomía, Física y Computación (FAMAF)	Universidad Nacional de Córdoba (UNC)	Córdoba (Córdoba)	<ul style="list-style-type: none"> • Lógica, interacción y sistemas inteligentes (LISI). • Procesamiento del lenguaje natural. • Semántica de programación. • Análisis y procesamiento de grandes redes sociales y semánticas.
Laboratorio de Arte Electrónico e Inteligencia Artificial (LAEIA)	Universidad Nacional de Tres de Febrero (UNTREF)	Provincia de Buenos Aires (Buenos Aires)	Proyectos interdisciplinarios de artes, ciencias y tecnologías.
Laboratorio de Investigación y Desarrollo en Inteligencia Artificial (LIDIA)	Universidad Nacional del Sur (UNS)	Bahía Blanca (Buenos Aires)	<ul style="list-style-type: none"> • Representación y razonamiento del conocimiento. • Programación lógica y anulable. • Programación lógica posibilista anulable. • Negociación y programación lógica anulable. • Explicaciones, revisión de creencias y razonamiento anulable. • Conocimiento basado en lógica. • Sistemas de representación. • Razonamiento en la web. • RoboCup. • IA en juegos. • Argumentación cronometrada.
Centro de Estudios en Tecnología y Sociedad	Universidad de San Andrés (UDESA)	Victoria (Buenos Aires)	<ul style="list-style-type: none"> • Machine Intelligence Lab. • Repositorio de conocimiento científico sobre la gobernanza de IA.
Instituto de Ciencias e Ingeniería de la Computación (ICC)	Instituto UBA – CONICET	Ciudad de Buenos Aires (Buenos Aires)	<ul style="list-style-type: none"> • Lingüística Informática. • Neurociencia Informática. • Procesamiento de lenguaje natural. • Sistemas de diálogo. • Reconocimiento de voz. • Análisis en tiempo real de señales cerebrales.

NOMBRE	INSTITUCIÓN	UBICACIÓN (CIUDAD, PROVINCIA)	ÁREAS TEMÁTICAS O TÓPICOS DE LOS GRUPOS DE INVESTIGACIÓN
Instituto de Investigación Biomédica de Buenos Aires (IBioBA-MPSP)	Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET)- Instituto Partner de la Sociedad Max Planck	Ciudad de Buenos Aires (Buenos Aires)	<ul style="list-style-type: none"> • Modelado molecular y bioinformática. • Neurociencia.
Instituto Superior de Investigaciones Biológicas (INSIBIO)	CONICET-UNT	San Miguel de Tucumán (Tucumán)	<ul style="list-style-type: none"> • Aprendizaje automatizado. • Sistemas expertos. • Redes neuronales. • Robótica.
Laboratorio de Sistemas de Información Avanzados (LSIA)	Facultad de Ingeniería de la UBA	Ciudad de Buenos Aires (Buenos Aires)	<ul style="list-style-type: none"> • Sistemas autónomos. • Ingeniería del conocimiento. • Integración de nuevos dispositivos de comunicación hombre-máquina.
Laboratorio de Innovación e Inteligencia Artificial (IALAB)	Facultad de Derecho de la UBA	Ciudad de Buenos Aires (Buenos Aires)	<ul style="list-style-type: none"> • IA para mejorar la relación ciudadana con la administración y la justicia. • Automatización. • IA predictiva.
Laboratorio de Inteligencia Artificial	Universidad Nacional de Tucumán (UNT)	San Miguel de Tucumán (Tucumán)	<ul style="list-style-type: none"> • Investigación en IA.
Laboratorio de Inteligencia Artificial (DHARMA Lab)	Universidad Tecnológica Nacional (UTN), Mendoza	Mendoza (Mendoza)	<ul style="list-style-type: none"> • Predicción inteligente de heladas y rendimiento para la industria vitivinícola. • Sistema sociotécnico de gobernanza autodeterminante. • Detección de yemas de vid en dos dimensiones. • Exposición a la luz solar del viñedo. • Estimación de variables biomecánicas a partir de imágenes mediante visión artificial y aprendizaje automatizado.
Grupo de Inteligencia Artificial y Robótica -GIAR-	Universidad Tecnológica Nacional (UTN), Medrano	Ciudad de Buenos Aires (Buenos Aires)	<ul style="list-style-type: none"> • Robótica colaborativa. • Redes neuronales. • Visión artificial. • Aprendizaje por refuerzo. • Control adaptativo. • Algoritmos genéticos.
Laboratorio de Computación Científica	Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología (FACET) de la Universidad Nacional de Tucumán (UNT)	San Miguel de Tucumán (Tucumán)	<ul style="list-style-type: none"> • Algoritmos de aplicación numéricos y científicos. • Informática de alto rendimiento. • Ciencia de datos. • IA. • Aprendizaje automatizado. • Big data y minería de datos. • Robótica. • Computación científica. • Bioinformática, aplicaciones de salud, aplicaciones de meteorología espacial.

Anexo 2 • Cuestionario de la encuesta de madurez de la IA

A continuación, se presenta la encuesta en su formato e idioma originales.

Este documento contiene una encuesta dirigida a las empresas del sector de la maquinaria agrícola en Argentina, con el objetivo de obtener información que permita conocer su nivel de madurez para desarrollar o adoptar soluciones de IA.

Sobre la encuesta: se espera que respondan esta encuesta las personas que toman decisiones en la empresa, que tienen conocimiento del negocio, los recursos y las capacidades de la empresa y conocen su estrategia para los próximos años. Se solicita su colaboración para completar la presente encuesta. No hay límite al número de veces que se puede responder la encuesta, por lo que esta puede completarla más de una persona de la misma empresa.

Confidencialidad: los datos recabados en la presente encuesta tienen carácter estrictamente confidencial y reservado. Las instituciones responsables del estudio (BID, CIDETER y Element AI) se comprometen a: 1) utilizar la información recopilada exclusivamente con fines estadísticos y 2) publicar la información agregada, sin violar el secreto estadístico.

Plazo: el plazo para completar y enviar el formulario es de dos semanas, con fecha límite del 20 de noviembre a las 8 p. m. de Argentina.

Consultas: para consultas, dudas o sugerencias, por favor escribir a ia_argentina@elementai.com.

Datos del encuestado

1 • Nombre (*campo de texto*)

.....

2 • Apellido (*campo de texto*)

.....

3 • Correo electrónico (*campo de texto*)

.....

4 • Posición (*campo de texto*)

.....

9 • Provincia (*opción única*)

- a • Santa Fe ☐
- b • Córdoba ☐
- c • Buenos Aires ☐
- d • Otro ☐

10 • Ventas internacionales (2019) (*opción única*)

- a • 0% ☐
- b • <10% ☐
- c • 11%-30% ☐
- d • 31%-50% ☐
- e • >50% ☐

Estrategia

11 • ¿Cuánto interés existe para la IA en toda su organización? (*opciones múltiples*)

- a • Interés general ☐
- b • Interés del área comercial ☐
- c • Interés de la gerencia ☐
- d • Interés del área técnica ☐
- e • Ninguna ☐

12 • ¿Qué tan formal es su planificación y compromiso con los proyectos de IA hoy? (*opción única*)

- a • Todavía no estamos lo suficientemente familiarizados con la IA como para comprender su valor para nuestra organización ☐
- b • Tenemos un interés inicial en IA, pero aún no tenemos una estrategia de IA ☐
- c • Tenemos un proyecto de IA para una primera experimentación o decisión de compra, pero este no está vinculado a una estrategia de toda la empresa ☐
- d • Tenemos una estrategia de IA inicial que abarca a toda la empresa, pero solo para algunos proyectos más pequeños, como agregar una nueva característica a un producto o proceso existente ☐
- e • Tenemos una estrategia de IA que abarca a toda la empresa e incluye una visión para futuros productos, modelos comerciales u otros cambios de envergadura ☐
- f • La IA es parte integral de nuestra estrategia organizacional ☐

22 • Equipamiento y servicios relacionados que se han adquirido para sistemas en los últimos dos años (*opciones múltiples*)

- a • Computadoras personales ☐
- b • Servidores / computación en la nube ☐
- c • Internet de las cosas / equipos de sensores ☐
- d • Robótica ☐
- e • Ninguno de los anteriores ☐

23 • ¿Tiene un presupuesto para invertir en sistemas informáticos el próximo año? (*opción única*)

- a • Sí ☐
- b • No ☐

24 • Equipamiento que se planea adquirir en los próximos dos años (*campo de texto*)

.....

.....

25 • ¿Hay algo más que le gustaría destacar sobre su tecnología para IA? (*campo de texto*)

.....

.....

.....

Recursos humanos

26 • ¿Cuántos especialistas de áreas relacionadas con IA en total emplea su empresa actualmente? (*campo de texto*)

.....

.....

27 • ¿Cómo entienden la IA los equipos técnicos de la empresa? (*opción única*)

- a • No utilizan IA o no saben mucho sobre IA ☐
- b • Están aprendiendo sobre IA pero no están seguros de cómo funcionaría en nuestra organización ☐
- c • Son capaces de identificar casos de uso de IA pero no están seguros de cómo implementar IA en nuestra organización ☐

Anexo 3 · Entrevistas en profundidad

Las entrevistas en profundidad se llevaron a cabo del 26 de noviembre al 10 de diciembre de 2020. Cada una de ellas se programó para una hora por videoconferencia. El estilo fue conversacional por diseño, aunque el equipo del proyecto desarrolló y siguió una guía de entrevistas que dividió la conversación en tres partes: primero, historia de la empresa y actividades primarias; luego, revisión de los resultados de la encuesta (por dimensión) y finalmente, preguntas más cualitativas sobre ecosistema, intercambio y calidad de datos, futuras inversiones y dificultades o desafíos.

Criterios para la selección de las empresas

Se seleccionaron las empresas en función de las respuestas a la encuesta y los consejos de CIDETER y sus socios. Se usaron respuestas interesantes de la encuesta como la principal motivación para la selección, aunque también se hizo un esfuerzo por seleccionar un grupo diverso, basado en la información demográfica con la que se contaba. El siguiente cuadro presenta una descripción general de la demografía de las firmas entrevistadas, comparada con la demografía de las firmas encuestadas (la población de la cual se seleccionó la muestra).

Cuadro A3 · Análisis de diversidad que compara a las empresas entrevistadas con las encuestadas

Categoría		Encuesta (%)	Entrevista (%)
ACTIVIDAD	Maquinaria agrícola	44	70
	Agropartes	37	30
	Servicios	11	30
	Otra	8	0
TAMAÑO	Menos de 5 empleados	4	20
	Entre 5 y 20 empleados	10	10
	Entre 21 y 50 empleados	32	10
	Entre 51 y 100 empleados	26	20
	Más de 100 empleados	28	40
REGIÓN	Santa Fe	58	40
	Córdoba	29	40
	Buenos Aires	12	20
	Otra	1	0
EXPORTACIONES	0%	24	10
	<10%	49	60
	11%-30%	18	0
	31%-50%	6	20
	>50%	3	10
MADUREZ	Exploración	45	10
	Experimentación	38	30
	Formalización	15	40
	Optimización	2	20
	Transformación	0	0

Fuente: Elaboración propia a partir de las entrevistas realizadas.

