



AGTECH.
**EL NUEVO PAQUETE
TECNOLÓGICO
DEL SECTOR
AGROPECUARIO**



AGTECH.
**EL NUEVO PAQUETE TECNOLÓGICO
DEL SECTOR AGROPECUARIO**

Este informe ha sido elaborado por Ignacio Albornoz con apoyo del equipo del Observatorio Iberoamericano de la Ciencia, la Tecnología y la Sociedad (OCTS-OEI). Se agradecen los comentarios realizados por Mario Lattuada a la versión preliminar de este documento.

Papeles del Observatorio N° 13
Febrero de 2020

ISSN: 2415-1785

Observatorio Iberoamericano de la Ciencia, la Tecnología y la Sociedad de la
Organización de Estados Iberoamericanos (OCTS-OEI)

Con el apoyo de la Consejería de Economía, Conocimiento, Empresa y Universidad
de la Junta de Andalucía

Dirección: Paraguay 1510 (C1061 ADB), Ciudad Autónoma de Buenos Aires,
República Argentina.

Teléfonos (54-11) 4813-0033 / 4813-0034

Correo electrónico: observatoriocts@oei.org.ar

Facebook: Observatorio Iberoamericano CTS

Twitter: @ObservatorioCTS

Índice

| | |
|--|----|
| Introducción | 5 |
| 1. El mundo agropecuario y los principales desafíos por resolver | 8 |
| 2. <i>AgTech</i> . El mapa del nuevo paquete tecnológico | 20 |
| 3. La oportunidad para los países agropecuarios | 32 |
| 4. Análisis de publicaciones y patentes relacionadas con <i>AgTech</i> | 33 |
| Conclusiones y recomendaciones finales | 46 |
| Anexo | 51 |
| Bibliografía | 53 |

Introducción

En los últimos años asistimos a una nueva ola de innovaciones provenientes de las tecnologías de información y comunicación (TIC) que prometen revolucionar la productividad de la economía real, desbordando los límites iniciales de la propia industria de electrónica de consumo y del *software* para el mundo del trabajo y el entretenimiento. Uno de estos sectores, tal vez de los más tardíos en recibir estas innovaciones, es el mundo de la producción agropecuaria.

El ‘mundo agro’ en sentido amplio, incluyendo a la agricultura extensiva e intensiva, y a la producción ganadera, es un universo heterogéneo. De manera general, se acepta que históricamente existe una amplia adopción de las tecnologías de *input*, que son aquellas que vienen embebidas en los insumos, productos o maquinarias que el agro utiliza para desarrollar su actividad —desde semillas genéticamente modificadas (OGM), hasta agroquímicos de acción selectiva, maquinarias más regulables, más precisas y mejor equipadas tecnológicamente; vacunas y raciones animales mejoradas—, y el nudo principal a desatar reside en mejorar las tecnologías de manejo, es decir, las prácticas agropecuarias que utilizan aquellos recursos o *inputs*. Asimismo, entre las tecnologías de *input*, una nueva ola de absorción de tecnología derivada de la aparición de algunos avances rupturistas (como CRISPR en biotecnología, o la inteligencia artificial en informática) permitirá ir hacia una mayor precisión de los productos que generan.¹

El paradigma existente hasta la actualidad, con variaciones por países y sectores, está basado en la aplicación genérica de determinados insumos o productos con una granularidad equivalente al nivel de un lote. Y por lote podemos referirnos tanto a un pedazo de terreno reconocible como la unidad mínima de gestión de la agricultura moderna-convencional, o bien a un tamaño de lote o tropa de animales que resulta habitual como unidad mínima de manejo en la ganadería.

Este paradigma moderno-convencional ha funcionado muy bien para aumentar la productividad agrícola y ganadera en los últimos treinta años, durante los cuales explotó la “revolución verde” en la agricultura extensiva y se conquistaron nuevos horizontes en la agricultura intensiva, así como en la ganadería. Dicho paradigma se ha basado, en el caso de la agricultura extensiva del “nuevo mundo” (las Américas y Europa del Este), en la puesta en funcionamiento de un “paquete tecnológico” basado en la combinación de cuatro innovaciones principales e interdependientes:

- a) semillas OGM
- b) uso intensivo de agroquímicos
- c) siembra directa
- d) maquinaria de mayor porte y adaptada a la siembra directa

En el caso de la agricultura intensiva, se pasó de esquemas tradicionales de plantación a sistemas más industrializados, con mayor densidad de plantas o de árboles por hectárea, mecanización creciente de la cosecha y de ciertas labores, con mejor adaptación de variedades y mejoras en los sistemas de riego que permitieron abrir zonas de producción hasta entonces vírgenes. Todo ello aumentó la producción total, la productividad y la diversidad de productos, desde la vitivinicultura hasta los frutales, pasando por las hortalizas. Todo ello también fue traccionado por una creciente integración vertical de varias de estas

¹ Técnica CRISPR-cas9 de edición genética, que simplifica este proceso y evita la introducción de genes de especies ajenas al organismo (transgénesis).

cadena productiva, en un movimiento principalmente desde la industria hacia la producción primaria.

Por su parte, en la ganadería, tal vez la más rezagada de las actividades agropecuarias en términos de adopción de innovaciones, los avances tecnológicos más aplicados han sido también de input, y hemos asistido al crecimiento de razas más adaptables a entornos menos templados por vía del mejoramiento genético; al uso —particularmente en el caso de Estados Unidos— de promotores de crecimiento que permitieron aumentar los niveles de productividad por cabeza, y al mejoramiento de vacunas de impacto general por medio de innovaciones del mundo farmacéutico.

Pero detrás de esta ola de innovaciones aparecieron nuevos problemas: resistencias de malezas a los herbicidas de efecto general; problemas ambientales a nivel de suelos derivado del uso intensivo de éstos y otros agroquímicos; empobrecimiento de suelos allí donde no se fertiliza lo suficiente para reponer nutrientes; resistencias de enfermedades en animales a vacunas de uso genérico; reducción dramática de polinizadores por efecto de la deforestación en determinadas áreas; mayor demanda y competencia por el agua subterránea y superficial como resultado del crecimiento del área de cultivos intensivos; mayores emisiones de metano (CH₄) y dióxido de carbono (CO₂) correlacionadas con la expansión geográfica de la ganadería.

Estos problemas se traducen en mayores costos, los que en los últimos diez años se hicieron más nítidos y poco a poco fueron asumidos por la demanda —de manera heterogénea— como un problema estructural que requiere de nuevas soluciones: tanto el costo de la mano de obra (y la carencia de ella en el campo) como el costo de insumos, de agroquímicos, incluso el costo del retorno al capital invertido (inmobiliario) y el costo de algunos recursos escasos como el agua y los nutrientes.

Adicionalmente, varios factores comenzaron a hacer efecto en la demanda de tecnología en los últimos diez a quince años:

- a) presión creciente sobre los productores de una sociedad (productores incluidos) más consciente de los efectos medioambientales y productivos de malas prácticas: costos directos (insumos, agroquímicos) e indirectos (resistencias, contaminación);
- b) consecuencias directas sobre las producciones agropecuarias del cambio en los regímenes climáticos a causa del calentamiento global: riesgos financieros y operativos;
- c) presión sobre las cadenas agroalimentarias de una demanda que tomó nota del crecimiento poblacional y el ascenso de nuevas clases medias, así de como la maduración del mercado preexistente, con mayores pretensiones de calidad, trazabilidad y cuidado del medio ambiente;
- d) estancamiento de precios de los principales *commodities* desde 2011, al tiempo que subieron los costos ya mencionados anteriormente.

En el origen de estos nuevos problemas a resolver tecnológicamente se encuentra, como dijimos antes, el paradigma de manejo de lote indiferenciado. Y de allí surgieron como respuesta los conceptos de “agricultura de precisión” y “ganadería de precisión”, y la necesidad —al menos teórica— de comenzar a utilizar tecnologías que comenzaron a estar disponibles para responder a esas demandas: desde el GPS en la maquinarias para localizar con mayor granularidad la aplicación de insumos o el rendimiento de la cosecha, hasta el uso de estaciones meteorológicas de bajo costo, sensores para medir la humedad del suelo y regular la aplicación de riego cuadro por cuadro, imágenes satelitales de mejor resolución para estudiar la heterogeneidad de los ambientes agrícolas y prescribir dosis variables y labores ajustadas con mayor precisión. También pasar hacia la aplicación selectiva de

tratamientos veterinarios en animales de acuerdo a la información individualizada que podrían proveer sensores automáticos.

No obstante, para la primera ola de aplicaciones de tecnología digital para el agro —situada aproximadamente entre la década del 90 y 2010— existieron muchas dificultades por parte de la oferta tecnológica para obtener niveles de adopción razonables por parte del mundo productivo, siendo las empresas de maquinaria agrícola las que mejores resultados obtuvieron, al incorporar equipos con tecnología embebida en sus maquinarias. Aun así, está documentado que los niveles de subutilización de tecnología fueron muy relevantes durante todo este período e incluso hasta hoy.

No fue sino hasta mediados de la presente década que los fuertes avances en robótica, la disminución de costos de sensores, de herramientas de automatización, de tecnologías como la impresión 3D, de costos de investigación en ciencias biológicas, así como avances muy sustanciales en tecnología de imágenes, capacidad de cómputo y herramientas de Inteligencia artificial han hecho viables herramientas que anteriormente eran prohibitivas para su aplicación en desafíos del ámbito agropecuario. Y es allí cuando el mundo inversor y el corporativo comenzaron a interesarse por apostar financiamiento de riesgo al mundo agropecuario.

A continuación, vamos a delimitar el universo de aplicación de las *AgTech* o tecnologías agropecuarias digitales, repasando algunas de las oportunidades existentes, y posteriormente nos referiremos a las *AgTech* como tal, que no es otra cosa que un conjunto de emprendimientos que, usando diferentes combinaciones tecnológicas disponibles, se aprestan a transformar la forma en que funcionan hoy las actividades agropecuarias.

1. El mundo agropecuario y los principales desafíos a resolver

El sector agropecuario está compuesto por una serie de actividades de producción de materias primas, derivados alimenticios (leche, carne, hortalizas) e insumos agroindustriales que ocurren por lo general en extensiones rurales de diversas escalas, y cuyo escenario de producción fundamental y sustrato principal son la tierra con sus nutrientes, y el agua.

El mercado mundial agropecuario y sus industrias asociadas es un sector de entre 3 y 5 trillones de dólares de valor agregado, según la fuente que se tome de referencia (labores, maquinaria, insumos o agroalimentos) . Se trata de un conjunto de actividades que, con todas sus virtudes, en el modelo de producción moderno-convencional actual genera una serie de ineficiencias de proceso, costos ocultos y lucros cesantes que abren muchas brechas de mejora productiva, ambiental y de aumento del valor agregado total.

Como se observa en la **Figura 1**, descomponiendo el sector en sus partes de una forma organizada, llegamos a identificar algunos de los principales desafíos y actividades comunes de cada cadena productiva, que involucra distintos cultivos o subsectores, y que son las que generan mercados de soluciones tecnológicas.

Figura 1. La demanda de soluciones para el sector agropecuario. Principales temas y desafíos del sector

| Subsector | Subgrupos | Cadenas productivas | Principales temas | Transversales |
|-----------------------|-----------------------------|--|--|---|
| Agricultura Extensiva | Cultivos | Cereales y oleaginosas Soja, girasol, maíz, arroz, trigo, sorgo, etc. | Protección de cultivos Dosis variables de insumos Eficiencia de cosecha Fenotipado de cultivos Predicción y análisis rendimiento Administración Cultivos Genética & Ciencia de Plantas | Comercialización Gestión de Recursos Finanzas Trazabilidad |
| | | Caña de azúcar, palma, algodón, legumbres | Riego, fertilización, Idem Cereales y Oleaginosas | |
| | Forestal | Madereras, Pulpa-Celulosa | Control de stock de biomasa, Genética, Protección d desastres, Manejo y cuidado de bosques | |
| Ganadería | A campo | Ovinos | Eficiencia de crecimiento Manejo de pasturas y ración Eficiencia de Conversión Control de Stocks/inventario Monitoreo de salud animal | |
| | | Bovinos | | |
| | | Porcinos | | |
| | Estabulado o Semiestabulado | Aviar | Salud reproductiva Condición corporal Eficiencia de Preñez/destete Desarrollo Genético Productividad lechera | |
| | | Tambo | | |
| Agricultura Intensiva | A campo | Frutas (árboles/arbustos), nueces, café/té/yerba/otros | Riego Polinización Control climático Cosecha y recolección Control madurez/calidad/rend. Selección PostCosecha | |
| | Invernadero | Berries, Hortalizas y plantines (viveros) | | |

Fuente: elaboración propia

Estos “principales temas” de la cuarta columna son los que a juicio de especialistas y de la comunidad de productores y empresas agropecuarias representan los “grandes desafíos”: las áreas operativas principales a mejorar con tecnologías de información, automatización de procesos y biotecnologías, así como algunas áreas no operativas, también fundamentales. De la misma forma, son aquellos temas a partir de los cuales se organiza tanto la oferta de tecnologías de información como la oferta biotecnológica. No está aquí ponderada la

importancia relativa de cada tema, ni tampoco la enumeración de temas es exhaustiva, pero creemos que quedan planteados los principales desafíos que hoy generan el mayor impacto en las distintas dimensiones de la agricultura y la ganadería.

Por ejemplo, la detección y el control de malezas es un tema recurrente, ya que se trata de un desafío con enorme impacto en la cuenta económica y productiva del productor, así como un impacto ambiental muy relevante, en todas las latitudes. Asimismo, se trata de un desafío de recolección de información cuyo dato de resultado (presencia o no de maleza) tiene asociada una decisión inmediata (aplicar o no aplicar producto); decisión que además es clara y de efectos medibles (en litros de producto por hectárea), y por lo tanto no es de extrañar que existan muchas apuestas a nivel mundial orientadas a resolver este desafío con soluciones tecnológicas de pulverización selectiva.

A continuación, repasamos algunos de los desafíos destacados más arriba para cada área de aplicación, a partir de los grandes módulos de la **Figura 1**, poniendo en consideración que existen dos tipos principales de desafíos:

- los de índole operativa, específicos a cada tipo de cadena productiva, más cercanos a decisiones inmediatas, en tiempo real, o de un corto período de tiempo, que luego tienen impactos productivos, económicos o comerciales de diverso tipo;
- los de índole no operativa (financiera, administrativa, comercial, de coordinación de la cadena), que son desafíos transversales a una cadena o incluso en el sentido de que atacan problemas más sistémicos (como la trazabilidad o los mercados, que involucran una cierta coordinación) o más genéricos (como la gestión comercial o administrativa), aun cuando su implementación tenga rasgos específicos a cada rubro, pero donde los tipos de desafíos son transversales a los aspectos operativos, y recaen más sobre temas de coordinación de mercados, gerenciamiento empresarial, aspectos comerciales, seguridad de la información y temas financieros.

A fin de poder caracterizar de manera simple la complejidad de actividades agropecuarias, hemos esquematizado el sector en tres grandes módulos bastante habituales y cada uno con su peso específico: agricultura extensiva, agricultura intensiva y ganadería.

1.1. Agricultura extensiva

Aquí nos referimos a todo lo referido a la agricultura de cultivos de gran escala, generalmente *commodities*, como cereales y oleaginosas (soja, maíz, girasol, trigo, sorgo y arroz), pero también algunas especialidades que también son de gran escala e involucran una dinámica y equipamiento similar, como caña de azúcar, algodón, palma, y diferentes legumbres: porotos, lentejas, arvejas y garbanzo. Todos estos comparten, más allá del volumen —que puede ser un poco menor en el caso de las especialidades— una escala y una forma de trabajo y anchos de labor parecidos.

En estos casos hablamos de cultivos de campaña, de verano o invierno, que suelen demorar alrededor de seis meses entre la siembra y la cosecha, y que a veces permiten o no permiten realizar dos cultivos anuales —dependiendo también de la demanda nutricional del propio cultivo, o del calendario en sí de la campaña.

En general suelen ser tradicionalmente conocidos como cultivos de secano, pero con el crecimiento de la demanda agrícola se dan muchos casos, ya desde hace décadas, en los cuales se utiliza el riego, ya sea por inundación (típicamente, el arroz), o bien mecanizado, para cualquiera de los otros cultivos.

Por ejemplo, el noroeste argentino, o algunas zonas del medio oeste norteamericano utilizan los *pivots* de riego para trabajar con cultivos extensivos allí donde el régimen de lluvias de la zona es insuficiente para completar la demanda de agua del cultivo, pero la tierra es de buena calidad nutricional y el agua está disponible por medio de ríos o canales cercanos, o de forma subterránea.

A nivel operativo, este espacio de agricultura donde operan distintas cadenas de valor comparte a nivel primario una serie de problemáticas y desafíos que se pueden abordar, con algunas variaciones, desde una perspectiva tecnológica común. Es decir, desde la evaluación previa de un lote para prescribir el uso y tratamiento que recibirá, hasta la forma de sembrar las semillas —donde recalca fuerte la siembra directa, con todo lo que implica en términos del paquete tecnológico mencionado en la introducción de este documento—, pasando por el uso de fertilizantes y de agroquímicos para el control de malezas, insectos y hongos, hasta la forma de cosecha —mecanizada—, con un cierto tipo de anchos de labor, ritmo de cosecha, cabezales. Y también la postcosecha, donde nos referimos por un lado al almacenamiento del grano, el transporte, el control de calidad y la segmentación de los tipos de producto resultantes, y por el otro lado, al uso del barbecho para la campaña siguiente, la evaluación del rendimiento y la prescripción de tratamiento para la campaña siguiente en función de los resultados de la cosecha y de las características estáticas o históricas del lote.

1.1.1. Desafíos tecnológicos

En ese sentido, aparecen con facilidad los principales temas a mejorar en su forma de implementación, es decir:

- a) El mejoramiento genético de variedades de semillas, que tradicionalmente significaba la hibridación de variedades para obtener determinadas características, y en las últimas décadas involucra la mejora por medio de la técnica de transgénesis de la ingeniería genética, para obtener determinadas características en una variedad específica de cultivo. A partir de la aparición reciente de la técnica CRISPR-cas9 de edición genética, se abre un enorme espacio de aplicaciones para variedades de cultivos para hacerlos más rápida y eficazmente adaptables a diferentes condiciones, y más customizable de acuerdo a las características del destino de esa producción; por otro lado se encuentra la inoculación de semillas, que permite fijar nitrógeno al suelo, reduciendo la dosis necesaria de nitrógeno químico, y mejorando la relación semilla-suelo.
- b) La siembra, que involucra por un lado tecnologías mecatrónicas para la mejor apertura del suelo y colocación de la semilla, la regulación de la maquinaria y del espacio lineal entre semillas, los anchos de labor y, por otro lado, la regulación de la intensidad de siembra, dosis variable de insumos, como semillas y fertilizantes sólidos, de acuerdo con características previamente conocidas del tramo del lote sobre el que se opera. Este es uno de los vectores relevantes para la automatización, en la medida en que se consolide, por un lado, la aplicación de la tecnología de piloto automático en los tractores que tiran de las sembradoras, o en las propias sembradoras, incluyendo todos los accionamientos de la aplicación. Y, por otro lado, el desarrollo de sistemas computarizados que puedan decidir en tiempo real sobre aquellas variables, en base, ya sea a características históricas de un tramo del terreno, o bien a la observación directa de características del terreno en ese mismo momento.
- c) La protección de cultivos: cómo fertilizar para optimizar al máximo cada litro o kilo de fertilizante y de qué manera llega mejor a cada tramo de suelo o cada planta que más necesita en determinado momento; cómo pulverizar agroquímicos selectivamente para matar sólo aquellas malezas, insectos u hongos allí donde se encuentran presentes, evitando derramar uniformemente sobre el terreno, lo que tiene distinto tipo de

consecuencias, como la generación de resistencias por parte de las malezas o la contaminación de napas freáticas o zonas aledañas, así como también un mayor gasto en agroquímicos por un uso menos discriminado por unidad de superficie. Aquí también se involucra la automatización como modelo de escalamiento y perfeccionamiento de la operación.

- d) El monitoreo de los cultivos durante las distintas etapas, para poder evaluar sobre la marcha la eficiencia de los distintos tratamientos o bien el nivel de estrés hídrico, o bien la proyección del rendimiento, y reaccionar si es posible en determinada sección de un lote; o bien para recolectar información que sea útil para la cosecha o para la siguiente campaña: allí recalcan distintos tipos de monitoreo relativos a la presencia de agua en lote, la medición de la clorofila, la detección de enfermedades en hojas y diversos métodos de detección que hasta cierto punto han sido habitualmente llevados a cabo por asesores agrónomos con cierto nivel de curación artesanal, y hoy requieren métodos más precisos de detección y geolocalización. Las herramientas para abordar estos problemas son múltiples, desde análisis del suelo con imágenes satelitales o de drones, usando distintos tipos de cámaras, hasta sensores inmediatamente fijados en el suelo, incluyendo estaciones meteorológicas, o el tradicional muestreo de suelo, cortes de plantas, observación directa y análisis de laboratorio.
- e) El manejo del riego y del riesgo hídrico son dos temas diferentes que se intersectan en la medida en que gran parte de la agricultura extensiva se realiza sobre secano, y allí el desafío principal es cómo se mitiga y se maneja la probabilidad de sequías, aun cuando el clima no puede ser controlado por el productor. Como contracara, una parte no despreciable de la superficie de cultivos extensivos y forrajes en algunos países como Estados Unidos, Australia, Medio Oriente, China, Tailandia y algunos países de América Latina se realiza bajo riego, sea por inundación —típicamente, los arrozales— como por métodos más sofisticados como el *pivot*, muy usados en cultivos como el maíz y los cultivos forrajeros. La optimización del recurso agua y la mitigación —o pura estimación— del riesgo climático son temas clave para la generación de tecnologías que permitan aplicar eficientemente, monitorear la eficiencia de riego, o detectar la necesidad de riego, o bien anticipar la sequía. Tecnologías que van desde estaciones meteorológicas hasta los sensores de diverso tipo —sondas de humedad en suelo, cámaras térmicas, sensores de hoja, imágenes satelitales— genera innumerables aplicaciones hoy existentes.
- f) La cosecha supone una serie de tecnologías mecatrónicas embebidas en la cosechadora, entre las cuales la automatización también será un hito de avance necesario, y a las que se suman todos los sistemas de sensado del proceso, ya sea para tomar algún tipo de decisión relativa al propio proceso (como regular la velocidad de acuerdo al rendimiento en tiempo real), o bien para poder relevar resultados geolocalizados que permitan mapearlos y derivar análisis de rendimientos con distintos fines, como evaluar el éxito de ciertos tratamientos o prescribir nuevos procedimientos para la siembra siguiente.
- g) La postcosecha involucra por un lado la evaluación de la calidad y humedad de los granos, lo que puede derivar en decisiones de destino de la mercadería para determinado tipo de cliente a fin de maximizar el precio o el timing de venta, el tipo de almacenamiento elegido, y el momento o la forma de transporte. Por otro lado, en el lote la postcosecha se vincula con la campaña siguiente en función de qué tipo de intervención requiera el terreno, en caso de que requiera, en función de los resultados de la campaña.

Mención aparte merece una consideración sobre la agricultura forestal, que, si bien comparte la condición extensiva de los *commodities* de llanura, plantea una dinámica y una estructura de tecnologías bien diferente al resto de esta agricultura.

La agricultura forestal es la rama comercial del sector forestal, aquella que no está dedicada intrínsecamente a la conservación de bosques por motivos de protección del ecosistema y la biodiversidad, sino a la explotación controlada del recurso forestal como insumo para diversas industrias. Esta rama específica de la actividad involucra la plantación de nuevos árboles, el monitoreo de su crecimiento, las podas, el tratamiento de enfermedades y luego la cosecha y aprovechamiento de la madera, principalmente para la industria maderera y de pasta celulósica, pero también para la extracción de ciertos componentes por medio de biorefinación, como la lignina, los taninos, los flavonoides, fibras y otros, que tienen uso en distintas industrias como la plástica, química o textil.

Aun cuando sea diferente de la actividad forestal de conservación, la agricultura forestal tiene consecuencias sobre el medio ambiente. Todas las explotaciones forestales comerciales deben cumplir una serie de requisitos regulatorios vinculados a la protección del ecosistema. En muchos de los países desarrollados además la propiedad de la tierra donde se encuentran las explotaciones forestales suelen ser gobiernos; por lo tanto, la actividad se desarrolla a partir de la tercerización de la explotación en manos de empresas forestales gerencadoras que cumplen con una serie de requisitos de especialización para poder operar. La industria adquiere en varios casos también la forma de una actividad inmobiliaria, lo que genera submercados de derechos de activos forestales.

Por otra parte, la estructura y dinámica de las plantaciones forestales involucran ciclos más largos de desarrollo respecto de otras agriculturas, lo cual supone, por una parte, asegurar esas plantaciones con sistemas de contratos complejos, mecanismos de seguros y planificaciones que permitan con gran anticipación suplir la demanda de manera estable. Es entonces, una industria de largo aliento con muchos requerimientos de coordinación.

Desde el punto de vista operativo, las dimensiones físicas que involucra este tipo de producto, así como la necesidad de atender a ciertos calibres en los troncos, ciertas distancias entre árboles y a ciertos objetivos de materia prima por hectárea, abren diferentes aspectos en los requerimientos tecnológicos:

- a) la necesidad de mejoramiento de variedades arbóreas para atender a requerimientos específicos de acuerdo con el destino del producto, lo cual abre el universo de mejoramientos genéticos en la medida en que CRISPR-cas9 abre nuevas oportunidades;
- b) la necesidad del manejo de la plantación con equipamientos de porte y al mismo tiempo adaptados a esas densidades;
- c) la necesidad de monitoreo constante sobre el inventario de árboles y la cantidad de biomasa existente, que convoca al uso de imágenes satelitales, de drones, de aviones y de cámaras o láseres locales;
- d) la necesidad de monitoreo sobre eventuales impactos ambientales o efectos en el ecosistema circundante e interno a las explotaciones;
- e) la necesidad de seleccionar correctamente los árboles que se encuentran prontos para cosecha, y el propio trabajo de cosecha de manera que sea eficiente y no bloquee el suelo;
- f) la necesidad de trazabilidad y coordinación logística de la recolección y el transporte de la materia prima cosechada.

No entraremos aquí en los aspectos de gestión de recursos, en el área legal, financiera o comercial porque les dedicamos un apartado general en un módulo transversal. Pero valga resaltar que en el caso de la agricultura forestal todas estas áreas cumplen un rol fundamental al ser necesarias ciertas coberturas y ciertos tipos de contratos tanto de operación como comerciales y de transporte, así como de trazabilidad, coordinación de la cadena y rendición

de cuentas, que resulta administrativamente complejo, y existe toda una demanda tecnológica especializada, asociada a los aspectos específicos de este tipo de actividad.

1.2. Ganadería

Dentro de este otro macroespacio encontramos a la fase primaria de la producción de proteínas animales (de mamíferos) y sus derivados, de un lado divididos por el tipo de producto final (carnes o leche), y de otro por el tipo de animales, sea rumiantes (bovinos, ovinos) o monogástricos (cerdos, pollos, pavos), ya que eso implica distintos sistemas de producción. Una división más práctica tal vez sea, como se ilustra en la **Figura 1**, dividirlos por el sitio de producción: a campo o en sistemas estabulados o semiestabulados.

1.2.1. Producción de rumiantes de carne

En el mundo de la producción a campo encontramos principalmente a la ganadería de rumiantes de carne, principalmente la de bovinos (pero también ovinos y caprinos), que es la que mayor superficie ocupa entre todas las ganaderías, que a su vez es la actividad que más superficie agrícola ocupa en el mundo.

No todas las fases de producción de la ganadería de carne de bovinos ocurren a campo, sino que en una proporción muy relevante de algunos países, la fase final de engorde se realiza en instalaciones de encierre conocidas como *feedlots* (o encierres a corral) que, si bien no son estabuladas —requerirían de techo y cierta infraestructura— igualmente funcionan a campo en corrales al aire libre, y comparten con los sistemas de estabulación el hecho de que su alimentación se basa en dietas secas basadas en gramíneas, fibras y concentrados proteicos.

En todas las ganaderías de carne, con independencia de la especie, se atraviesan tres etapas principales:

- a) la cría, que consiste en el ciclo y negocio de reproducción y crianza de recién nacidos;
- b) la recría, que está basada en el desarrollo de la carcasa del animal por medio del crecimiento de huesos y músculos;
- c) la terminación, que es la etapa en la cual se “llena” la caja del animal con menos carne y más grasa. En general el concepto de “engorde” abarca la recría y la terminación, aunque hay algunos que se refieren con ese término únicamente a la etapa de terminación.

Tomamos el caso de la ganadería bovina como ejemplo de los rumiantes, por ser el que más territorio agrícola ocupa entre todas las ganaderías. Cada una de esas tres etapas mencionadas anteriormente tiene un modelo de negocio diferente, y en general involucra a productores o empresas diferentes, con especial énfasis en la separación entre la cría y las otras dos etapas. Adicionalmente, y como paso previo a la cría, existe el segmento de las cabañas de genética bovina, que desarrollan y seleccionan reproductores, y cuyo negocio consiste en vender toros, vacas, semen y embriones a los criadores. Estos trabajan junto con laboratorios y asociaciones de razas para evaluar la progenie, certificar animales de *pedigree* y reproducir toros y vacas de alta calidad. Cumplen el papel equivalente al de los semilleros en agricultura, pero para la ganadería.

Por su parte, la cría está basada en la producción de terneros, y su métrica de éxito principal es llegar lo más cerca posible del 100% de terneros vivos producidos y destetados sobre el total de madres. Por lo tanto, el foco del criador está en mantener a las vacas madres en su mejor condición corporal posible para quedar preñada, y para luego tener una gestación y un parto saludable. Seguidamente, el foco se coloca en mantener y cuidar a los terneros de enfermedades en las primeras semanas críticas, haciéndolos crecer hasta el peso y la

condición física que le permita al productor venderlos al mejor precio posible, combinando pasturas de calidad y suplementos dietarios. En esta fase inicial la salud animal, que es crítica y aporta la diferencia entre tasa de preñez y tasa de destete, ya que el ternero se encuentra en una situación vulnerable, en especial al ser separado de la madre. Al final de este proceso se produce el destete.

Por su parte, el recriador debe “construir la caja” del animal, haciendo crecer su estructura de carcasa (huesos y músculos) hasta un punto que está definido por el mercado al que atiende y los precios relativos, pues tanto la edad a la que se inicia (destete) y se termina la recría como el tipo de nutrición que recibe impactan en el peso final de faena, es decir, cuál es el peso proyectado al que se quiere que llegue al ser terminado. Estamos hablando de los factores variables, ya que existen otros factores que impactan en el peso final pero ya inmodificables en la recría, como el biotipo y la calidad genética del animal. En la recría, de lo que se trata es de generar estructura y peso con el menor costo posible de pasturas, basado en un buen manejo del pastoreo con suplementación y en el control sanitario, o bien en sistemas de recría a corral, con raciones preparadas para este fin, y estrategias como la restricción alimentaria.

En tercer lugar, el invernador o el *feedlot* (o ambos) es el que “termina” el animal, llevándolo a su peso y condición de engrasamiento listo para faena, es decir, “llenando” la carcasa generada en la recría principalmente con grasa, y secundariamente con un poco más de músculo. Aquí el cambio de ciclo está dado por el tipo de alimentación, que pasa a ser más calórica y fuerte en proteína, donde en el caso de terminación a pasto, se pasa a pasturas de mayor contenido calórico, y en el caso del *feedlot*, a raciones con alta proporción de energía y menos fibra.

1.2.2. Desafíos tecnológicos

En términos generales, tanto la cría como la recría de la ganadería de carne bovina ocurren en su mayoría a campo, en zonas que con la evolución de las últimas décadas se han movido a regiones más marginales a nivel de condiciones climáticas y de calidad de suelos. Por eso al tratarse de negocios de márgenes finos, especialmente en el caso de la cría, y fuertemente basados en la necesidad de aprovechamiento del pasto como recurso barato, se plantea la necesidad de un monitoreo constante de la cantidad de alimento de base pastura, y un manejo relativamente sofisticado de las rotaciones, circuitos de pastoreo, y apotreramientos.

Ahí existe un potencial importante, no sólo para la automatización del manejo de hacienda que permita tomar y ejecutar decisiones de cambios de potreros o parcelas con relativa eficiencia y con cada vez menor dependencia de la mano de obra, sino también para tecnologías de monitoreo tanto de la hacienda como de la pastura, así como de instalaciones, bebederos y toda la infraestructura presente.

En relación a la hacienda en sí, la condición extensiva de la ganadería a pasto en grandes espacios, así como la posibilidad de robos, mezclas de hacienda, fiscalización y necesidad de un mejor gerenciamiento empresarial, plantea la necesidad de tener un efectivo sistema de identificación, fácilmente digitalizable, seguro en términos de inviolabilidad y unívoco, cuyo chequeo sea automático para evitar la necesidad de operaciones manuales, y cuya información sea compatible con otros estándares para que pueda interactuar con otros tipos de datos. Actualmente existen tecnologías de radiofrecuencia disponibles que cumplen con estas características, como RFID UHF o RFID LF, pero aún allí hay espacio para mejorar la implementación, y por otra parte, la identificación animal está afectada, según el mercado, por normas y estándares que no son homogéneos entre países.

De la mano de esto, se hace necesario, tanto más cuanto más marginal es la zona de producción, un control básico de la localización de la hacienda, del estado físico de los animales, de su peso; de su performance evolutiva y eficiencia de engorde, y la detección de

enfermedades en estado subclínico u otras anomalías, para poder actuar a tiempo y evitar muertes. Esto abre un gran sendero de innovación que ya muchas empresas consolidadas y otras nuevas están transitando con distintas propuestas de valor, y diferentes enfoques tecnológicos: desde collares hasta caravanas inteligentes, el uso de imágenes para estimar, por medios no invasivos, acerca de la condición corporal, el peso, biotipo, el estado de salud y otras características en base a las cuales se toman decisiones operativas y comerciales con frecuencia.

En relación a la pastura, es clave conocer en cortos períodos de tiempo, a veces menor a la semana, el stock de biomasa disponible, así como la tasa de crecimiento y el estado de calidad de los pastos, para optimizar su uso y poder tomar decisiones prácticas de manejo pastoril con información más granular. Asimismo, la propia respuesta posterior a la obtención de información sobre qué conviene hacer en determinado momento (por ejemplo, reservar un potrero en el que se estaba pastoreando, y trasladar a los animales al potrero de al lado) es algo que se puede automatizar de diferentes formas. Existen compañías que están trabajando en la línea del *virtual fencing* o alambrado virtual, que consiste en colocar dispositivos en cada animal para circunscribirse a pastorear dentro de determinado perímetro. Otras trabajan en la línea de barreras físicas que se mueven automáticamente, o láseres disuasivos.

En lo referido al sistema de *feedlot* como sistema de terminación alternativo a la terminación a pasto —predominante en Estados Unidos, Australia y Canadá, y en franco crecimiento en Sudamérica y algunos países de Europa—, el relativamente alto nivel de mecanización e infraestructura necesaria para llevar adelante esta actividad, cuyo ciclo de producto es bastante más corto al de la terminación a pasto, va de la mano con la necesidad de soluciones que, por un lado permitan mayor granularidad en la información sobre la performance de engorde y el estado de los animales, sobre la eficiencia de conversión de ración en carne, sobre el estado de la infraestructura de comederos, bebederos o silos y, por otra parte, que faciliten la operatoria interna, ya que ésta requiere de mucho personal, maquinaria y equipamiento, genera estrés animal y es cara a nivel logístico.

Adicionalmente, toda la logística de movimiento de granos involucrada en los *feedlots* también requiere de seguimiento para detectar pérdidas o ineficiencias, garantizar el control del inventario y optimizar *stocks*. Existen tecnologías en desarrollo para distintos tipos de monitoreo y diferentes tipos de accionamiento, pero hoy en día hay espacio para mejorar muchos de estos procesos.

Adicionalmente, la tecnología “embebida” en la genética bovina, que reproducen las cabañas (y algunos criadores), así como la tecnología para el desarrollo de vacunas y medicamentos veterinarios también abren oportunidades para mejorar su precisión y eficiencia, en la medida en que las tecnologías de manejo generen respuestas para poder implementarlas, y a partir del nuevo horizonte abierto por la tecnología CRISPR.

En cuanto a la salud animal, tan pronto como la ganadería se mueve a zonas menos templadas y más heterogéneas, nuevas enfermedades aparecen, y esas enfermedades también evolucionan. Al igual que ocurre con el tema de las malezas en agricultura extensiva, la aplicación genérica de vacunas o antibióticos a los miembros de una tropa de animales genera cada vez más cepas resistentes, por lo que existen oportunidades —y de hecho se trabaja intensamente— en el desarrollo de vacunas más eficaces y de aplicación selectiva, utilizando esta nueva herramienta biotecnológica.

Asimismo, esto tendrá un impacto grande en la selección de reproductores, el “diseño” más acelerado de animales que cumplan características que permitan una mejor adaptación a distintos ambientes, y cumplan con un conjunto de expectativas de sabor, terneza, palatabilidad, y otras variables productivas asociadas al rendimiento, al manejo y la conducta del animal, así como a su capacidad de conversión.

1.2.3. Producción porcina y aviar

Por su parte, otras ganaderías de carne de animales no rumiantes (monogástricos), como cerdo y pollo, ocurren en granjas compuestas físicamente por recintos cerrados: galpones o naves, con diversidad de tecnologías de acondicionamiento, y allí se mantienen los animales a lo largo de todo su ciclo de vida. En términos generales, la producción porcina y aviar están muy integradas verticalmente en toda la fase primaria (anterior a la faena). Por ejemplo, en el caso porcino, tanto la fase de cría, conocida como “maternidad” o “sitio 1”, como la recría y el engorde, conocidos como sitios 2 y 3, ocurren dentro del mismo establecimiento productivo (aunque en distintos recintos) dado que se trata de ciclos de producción considerablemente más cortos que en el caso bovino; ciclos que se intercalan para generar un flujo continuo de producción, y que terminan en animales —capones— de entre 110 y 130 kilos, de acuerdo al tipo de mercado del que estamos hablando.

Por su parte, la producción de madres y padrillos reproductores es realizada por “cabañas” que adoptan un tipo de genética y a veces incluso trabajan en conjunto con empresas multinacionales de genética porcina. Estas cabañas pueden tener o no integración con las granjas. Aquí el mercado de la cabaña, si bien es más de nicho, genera una alta necesidad de medición del ganado, ya que cuando la cabaña implementa programas de evaluación genética con monitoreo de DEP (diferencias esperadas de progenie) para evaluar el potencial genético de una madre o un padrillo y así poder hacer selección de padrillos o de vientres, necesita medir rasgos fenotípicos, y esto contribuye a la construcción de bases de datos de perfiles que sirven para mejorar la genética o establecer calidades y precios.

Por último, el negocio central del cerdo sí está fuertemente integrado a la producción de alimento balanceado, por lo cual cualquier granja porcina suele tener sus propias instalaciones de molienda y “pelletizado” de ración animal, lo que involucra instalaciones industriales, tránsito de camiones con ingreso de granos e insumos, equipamiento para preparación y manufactura de raciones, desarrollos de recetas para los distintos tipos de fases de producción, equipamiento para dosificar las raciones y cierto nivel de automatización.

De la misma forma que en la industria porcina, el alimento balanceado es clave y por eso también está integrado al negocio aviar. La cadena productiva del pollo es un poco más compleja que la del cerdo en el sentido de que se agrega el segmento de incubación de huevos y de pollitos BB, y con frecuencia el negocio está fuertemente controlado desde la faena, bajo un modelo de integración donde no ocurren transacciones del bien producido, sino que la relación entre el frigorífico y las granjas es un esquema contractual de prestación de servicios, donde el frigorífico aporta los principales insumos y financiamiento, y la granja se dedica a producir los pollos a cambio de un *fee*, fuertemente afectado por los indicadores de eficiencia que consiga.

Este modelo en algunos casos está presente en la industria porcina, pero es menos claro que en la industria aviar, que está en casi todo el mundo organizada de esa manera. La industria aviar y en parte la porcina se parece menos a una ganadería y más a un proceso industrial distribuido entre un frigorífico y granjas de cieloraso, donde existe una fuerte conexión con toda la agricultura de soja y maíz como insumo principal del negocio.

En ambas industrias la cuestión sanitaria es clave, en la medida en que son producciones en condiciones de encierro y concentración de una enorme cantidad de animales en poco espacio. Este es un caldo de cultivo muy fuerte para la aparición y el contagio, razón por la cual estas actividades se localizan en zonas aisladas con buenas condiciones sanitarias. Baste mencionar el último episodio de fiebre porcina en China en 2019, que acabó con un tercio del stock porcino de ese país para comprender que se trata de un área de enormes niveles de inversión, no sólo para resguardar el stock sino también para evitar impactos sanitarios en la alimentación de los consumidores.

1.2.4. Desafíos tecnológicos

Estos dos subsectores presentan buenas oportunidades de absorber tecnología. Por un lado, desde la genética animal, a partir de la posibilidad de desarrollar animales que cumplan con determinadas condiciones —de biotipo, de sexo, cárnicas, productivas—, con la disponibilidad de la tecnología CRISPR, que permite “editar” el genoma sin necesidad de transgénesis. Esto abre un horizonte de posibilidades que pueden revolucionar la genética animal porcina y aviar, y permitir la aparición de soluciones escalables para la producción.

Por otra parte, la biotecnología tiene un papel relevante a cumplir también en el desarrollo de características para huevos fértiles —para la producción de pollitos bebé— e infértiles —para la producción de huevos comestibles—, en el desarrollo de aditivos e insumos para mejoramiento de raciones animales, que permitan mayor digestibilidad del alimento, aumenten la resistencia a enfermedades, aumenten la eficiencia de conversión, modifiquen su palatabilidad de acuerdo al mercado.

En tercer lugar, recordemos que existe la posibilidad de agregar mayores niveles de automatización de procesos —recordemos que esta producción ocurre en su mayoría en espacios cerrados— y una mayor sensorización y acondicionamiento de manera que permita garantizar buenas prácticas, garantizar el bienestar animal y una mayor eficiencia en el proceso de recría y engorde. Por último, todo lo referido a manejo de efluentes en naves de producción aún tiene bastante por mejorar en términos de tecnología que permita una mayor degradación de la carga orgánica y reuso del agua para el ciclo productivo.

1.2.5. Emisión de gases de efecto invernadero y tratamientos de efluentes

Como tema transversal a todos los tipos de ganadería —pero que ha sido problematizado principalmente en relación a la ganadería bovina—, una preocupación creciente es el impacto de la producción animal a través de emisiones de gases de efecto invernadero, en particular de gas metano, así como a través de los efluentes. Al margen de que se trata de un problema cuyas dimensiones están sujetas a un debate muy amplio, es innegable que, así como otras actividades, la ganadería genera su aporte a la emisión de GEI y a la deposición de efluentes, y sea de la dimensión que fuere, esta preocupación está generando la necesidad de *accountability* por parte de la producción, y también la necesidad de encontrar métodos tanto para medirla como para mitigar ese impacto. Existen ciertas universidades en Estados Unidos y Europa donde se está investigando el impacto de estas emisiones, así como soluciones para disminuir la emisión, que van principalmente en la línea de modificaciones a las raciones, con sustancias orientadas a inhibir o disminuir la producción de metano o amoníaco por parte de los animales. Por su parte, en cuanto a tratamiento de efluentes, la aplicación de tecnologías para ganaderías en general es relativamente baja en todas partes del mundo excepto en Europa y en algunos núcleos específicos de países de América, Europa del Este, Asia y Oceanía, donde los espacios son amplios y el tratamiento de este problema se resuelve con tecnologías convencionales poco eficientes y que ocupan mucho espacio físico.

1.2.6. Lechería

Por último, tenemos la actividad lechera, los tambos, que es una suerte de cría pero con enfoque en la producción de leche, en lugar de enfocarse en el ternero. En la lechería conviven, de acuerdo al modelo imperante en cada país, los sistemas pastoriles, como ocurre mayoritariamente en Nueva Zelanda; los sistemas semiestabulados, como ocurre en algunos casos en Argentina y otros países de Sudamérica, y los sistemas estabulados, como ocurre principalmente en Estados Unidos y Europa. En los sistemas pastoriles las vacas sólo entran a la sala de ordeño una vez al día para esa operación, y transcurren el día en potreros de pasturas, donde eventualmente son suplementadas con silaje y ración seca en ciertos momentos de alta necesidad nutricional. En los sistemas semiestabulados, las vacas pasan parte de su día a pasto, y parte de su día en corrales bajo techo comiendo un suplemento de ración a la pastura para compensar o ayudar en la producción de leche con los aditivos necesarios para equilibrar su dieta. En los sistemas estabulados, el alimento del animal

proviene completamente de ración, y las vacas están de forma casi permanente bajo techo, entre la nave de alimentación y la sala de ordeño. Este último sistema es el que predomina, por ejemplo, en California, principal productor lechero de Estados Unidos.

En los sistemas de pastura, las tecnologías existentes están más concentradas alrededor del manejo del pasto, las rotaciones, y el monitoreo del animal. En los sistemas más intensivos la tecnología está muy concentrada en el desarrollo de raciones, insumos para facilitar la mejor y mayor producción de leche, para disminuir la producción de metano. Las tecnologías de ordeño de alguna forma son transversales a estos tres subsectores, y se han impuesto allí donde la lechería como sector ha tenido un mejor desarrollo económico, especialmente en países desarrollados.

La lechería es quizás el segmento de la ganadería que más tecnología ha adoptado a lo largo de los años (comparado con la ganadería de carne bovina), coincidentemente con la mayor presencia de tecnología “dura” en los tambos a nivel de instalaciones, y correlativo también a un producto de gran sensibilidad alimentaria, con plazos muy estrictos de entrega dada su perecibilidad.

En los últimos veinte años esto ha hecho en todo el mundo crecer la productividad y por lo tanto la producción lechera, lo que ha impactado en los precios, y fruto de su propia mejora de eficiencia, el negocio de la lechería enfrenta en todas las latitudes procesos de concentración de mercado a nivel de tambos, haciendo que paulatinamente se reduzca la cantidad de tambos familiares chicos y medianos, y crezcan la cantidad de tambos grandes y más profesionalizados. En paralelo, la demanda de nuevos países en desarrollo crece, especialmente en Asia, pero al mismo tiempo, nuevos productos lácteos “alternativos”, que no usan la leche cruda como insumo, están desarrollándose y tomando parte del mercado.

En ese contexto, aparecen oportunidades en el área de lechería de precisión que permiten optimizar costos y mejorar la productividad por unidad de producto, tomando decisiones más adecuadas a nivel del individuo basado en diagnósticos más granulares y automáticos sobre las necesidades de cada animal a nivel de nutrición y de salud animal. También existen oportunidades para desarrollar mejores insumos alimenticios de la mano de la biotecnología aplicada, buscando mejores interacciones biológicas con el metabolismo de los vientres en producción.

Por su parte, las tecnologías de monitoreo de la leche cruda también encuentran, en la biotecnología y en sistemas rápidos y más precisos de muestreo y clasificación de propiedades bioquímicas de la materia prima. Jóvenes compañías como Somadetect están haciendo punta en ese segmento.

1.3. Agricultura intensiva

Al igual que lo que denominamos agricultura extensiva, este campo es un espacio heterogéneo donde conviven principalmente cultivos de frutales de variada especie, hortalizas, semillas y plantines, con sistemas de producción que van desde el invernadero hasta esquemas semiextensivos, y con sistemas de plantación de árboles, arbustos o en camas de plantación.

La agricultura intensiva suele pertenecer a cadenas productivas agroalimentarias muy integradas verticalmente, donde hay una conexión directa entre la materia prima y el producto final, orientado habitualmente a productos frescos o jugos, extractos, aceites o derivados agroalimentarios: estamos hablando de la producción de uva principalmente para fruta fresca o vino, cítricos para fruta fresca o jugo y aceites esenciales, *berries* (frutillas, arándanos, moras, frambuesas), tomates para fresco o extracto; hortalizas en general (de hoja, de raíz,

rastreras), aceitunas para aceite o aceituna de mesa, frutas secas (almendras, nueces, pistachos, cajú, castañas), duraznos.

La agricultura intensiva es una actividad generadora de productos alimenticios que tradicionalmente ha requerido de una gran presencia de mano de obra, ya que la estructura de muchos de estos cultivos es de árboles o arbustos, lo cual es en sí complejo de mecanizar, y también debido a que al tratarse de alimentos más delicados que van en cierta parte a productos en fresco, requieren de cierto cuidado en la cosecha.

En las últimas décadas se desarrollaron formas de mecanización, y si bien su nivel de penetración es relativo y varía por tipo de cultivo y según el uso de la producción, es cada vez más generalizado. En el contexto productivo, existe una gran variedad de combinaciones de estructuras productivas, pero en términos generales estamos hablando de lotes mucho más pequeños que en la agricultura extensiva, que genera principalmente *commodities*, y los principales desafíos operativos están fuertemente asociados al cuidado y al tratamiento de los cultivos planta por planta, o a nivel de pequeños cuadros o hileras. También hay mayor presencia de polinización entomófila en este tipo de cultivos, lo que abre un capítulo relevante sobre las tecnologías de polinización.

De acuerdo al tipo de cultivo y al tipo de sistema productivo, son predominantes los desafíos vinculados al riego y el control de humedad, a la automatización de labores como tratamientos, siembra, cosecha y poda, cada vez más cerca de la robótica, y dentro del mundo del invernadero, al control de condiciones ambientales del invernadero, y al control del crecimiento de las plantas.

El mundo de los semilleros multiplicadores y viveros productores de plantines está, por su parte, muy asociado a la genética y a los desarrollos para poder mejorar y reproducir características deseables en variedades de plantas y frutos. Existe una gran oportunidad en continuo desarrollo de desarrollar especies más adaptables a diferentes suelos y climas, buscando además minimizar el uso de agroquímicos, y dentro de estos, poniendo el acento en herbicidas selectivos y menos de aplicación general.

Este es uno de los entornos donde la robótica tiene más potencial a partir del desarrollo de robots que cosechen y hagan aplicaciones con igual versatilidad que un ser humano, o que vayan recorriendo las hileras monitoreando aspectos como humedad en fruto o en hoja y condiciones de maduración, entre otros aspectos.

Lo que se conoce como *indoor farms*, que vienen a sustituir en buena medida el uso del suelo como sustrato, también traccionan combinaciones de tecnologías más antiguas como la hidroponía, junto con instalaciones mejor acondicionadas y variables, ultrasensorización posibilitada por una electrónica de monitoreo cada vez más asequible, y las crecientes capacidades de análisis de imágenes que existe a nivel de potencia de cálculo y de herramientas de *software* (como *machine learning* o *deep learning*), que se difunden de manera creciente en el mundo de la visión industrial.

2. *AgTech*. El mapa del nuevo paquete tecnológico

2.1. Por qué *AgTech* y no *AgroTIC*, *E-Agriculture* o Tecnología Agropecuaria

Si bien periodizar significa siempre asumir un criterio arbitrario, es razonable afirmar que el área de innovación tecnológica asociada a las tecnologías de información y comunicación para el sector agropecuario tiene alrededor de treinta años: inicialmente apareció bajo la forma de paquetes cerrados que buscaban resolver problemas a través de dos tipos principales de dispositivos: por un lado, *hardware* adosado a la maquinaria agrícola —el primer monitor de rendimiento para cosechadoras data de 1992—, o bien paquetes de *software* de gestión para operaciones agropecuarias.

También coexistían de manera dispersa desarrollos ad hoc en materia de simulaciones o predicciones, generalmente provenientes del sector científico, que tenían como objetivo contribuir a la toma de decisiones, utilizando datos recolectados manualmente u obtenidos de fuentes no automatizadas de información, como, por ejemplo, variables climáticas, muestreos de suelos o imágenes satelitales. Esta fue una fase del desarrollo de TIC para el agro en la cual tuvo un rol relevante la labor de investigadores del ámbito académico de todas las latitudes, así como empresas de electrónica o equipamientos —en muchos casos, luego adquiridas por multinacionales de maquinaria agrícola—, o empresas puras de *software* que buscaban penetrar en el mercado agropecuario.

Entre el 2000 y el 2010 se desarrolló inclusive una cierta institucionalidad, en especial en Europa y Asia, con fuerte presencia académica, buscando construir no solamente una comunidad de interés sino también algunos estándares para la organización de los datos. Durante estos años, y hasta hace poco tiempo, hubo además una cierta dispersión terminológica en cuanto al nombre de esta especialidad o subsector, y dependiendo de la región, se la denominaba de diferentes formas, como *AgroTIC*, *AgroICT*, *AgIT* o *AgroTech*. Recién en los últimos cinco años, con la aparición de algunas empresas de capital de riesgo norteamericano e israelí en este mercado se fueron unificando conceptos y se fue perfilando un sector a medida que proliferaron emprendimientos que emulan la estrategia de crecimiento y la lógica de los *start-ups* que domina en otros sectores *high-tech*.

Si bien se trata de una cuestión meramente anecdótica, la consolidación finalmente del término *AgTech* como nombre principal y “palabra clave” de este “vertical” tecnológico en la actualidad pone de relieve el predominio del modelo norteamericano de desarrollo y financiación de la innovación aplicada también en este segmento. Si bien existen varios polos relevantes de originación de *start-ups* para el agro —principalmente en Israel, Australia, Francia e Irlanda, además de Estados Unidos—, dentro del país la concentración de empresas y de fondos de capital especializados en este sector está polarizada en la actualidad entre el Silicon Valley, en California, y algunas ciudades del Medio Oeste, entre las cuales destaca Saint Louis, en el estado de Missouri.

Es importante destacar que si bien las multinacionales de maquinaria agrícola, y más recientemente, las de insumos y agroquímicos, entraron finalmente en la dinámica de invertir bajo este esquema, como una forma de tercerizar su investigación y el desarrollo de nuevos productos —lo que se conoce como *corporate innovation*—, lo hicieron relativamente tarde. Los principales avances a nivel de desarrollos de *AgTech* en la década del 90 fueron llevados adelante por grupos científicos o pequeñas empresas, varias de las cuales fueron compradas o sus productos imitados por multinacionales.

2.2. De dónde vienen las *AgTech*

Como se comentó en la introducción, el mundo de los agronegocios enfrenta presiones debido a una combinación de factores: paulatino aumento de los costos de insumos como semillas, fertilizantes, agroquímicos y mano de obra, en contraposición a un estancamiento de precios de *commodities* que lleva alrededor de ocho años, desde el 2011, y por su parte, aumento de la demanda global de alimentos por parte de los mercados de mayor crecimiento poblacional y de poder adquisitivo, principalmente China.

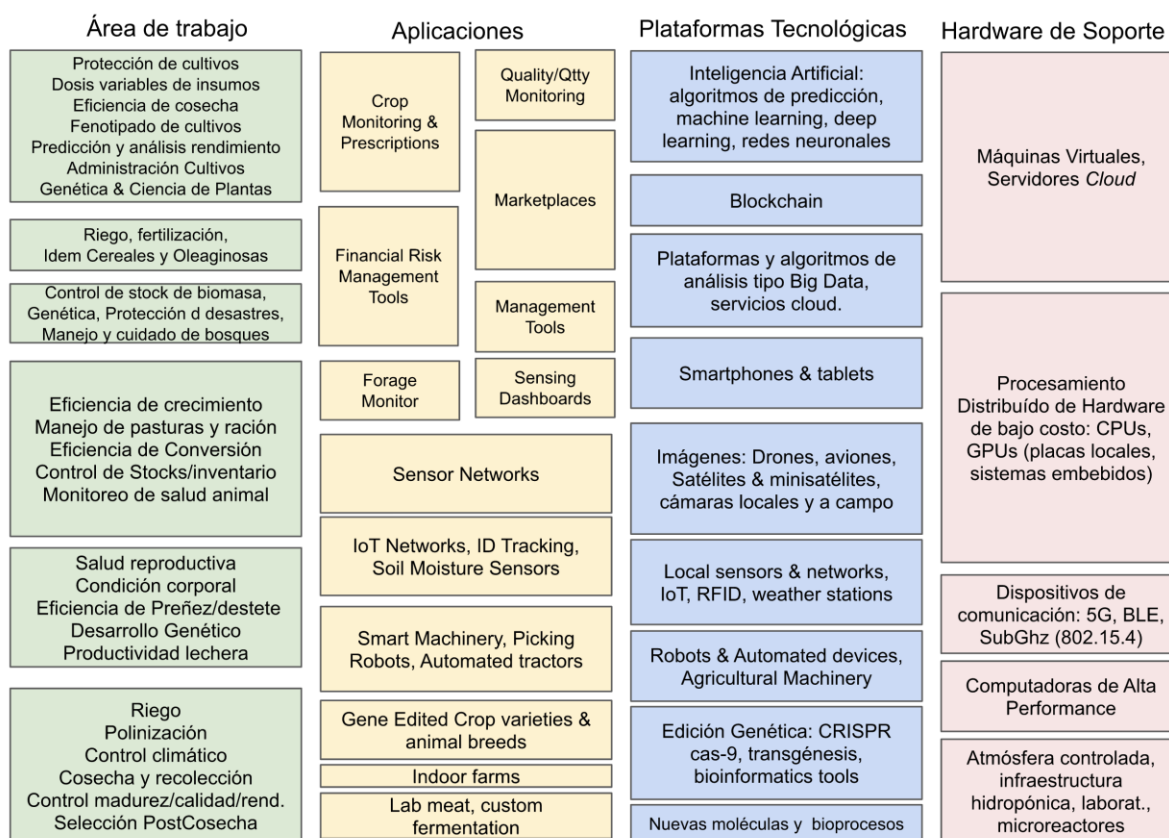
En paralelo aparecen demandas de la sociedad de consumo por mayor transparencia y sustentabilidad en cada cadena productiva; aparecen presiones cada vez más claras para reducir el impacto ambiental directo o indirecto de las actividades agropecuarias (por parte de clientes, de organismos regulatorios, de organizaciones de la sociedad civil). Y todo ello en un ambiente de mucha efervescencia por una nueva explosión de tecnologías de información y biotecnologías que han tenido diferentes saltos cualitativos recientes ya comentados, como los asociados a tecnologías de sensores, dispositivos de alto poder de cómputo a bajo costo, herramientas de inteligencia artificial y disponibilidad de mayores volúmenes de datos. En el caso de las biotecnologías, el caso de CRISPR y los avances en herramientas bioinformáticas generan una gran expectativa y un mundo de nuevas posibilidades.

A medida que los precios de los *commodities* se estancaron y que estas nuevas tecnologías se esparcieron, fuertemente traccionadas por la adopción de dispositivos móviles inteligentes (*smartphones*, *tablets*, electrónica embebida en electrodomésticos y dispositivos varios), apareció una nueva cohorte de pioneros del mundo agropecuario con la demanda de nuevas soluciones, para bajar costos y mejorar los rindes, y con interés por invertir en estas tecnologías. La *start-up* es, en ese contexto, el vehículo a través del cual empezó a ser canalizada esa inversión en tecnología.

El tamaño de la oportunidad es grande en una actividad de 5 trillones de dólares de valor de producción, tanto por el potencial de revolucionar las industrias de soporte y la propia agricultura y ganadería con métodos más eficientes y sustentables, que tienen fuertes efectos aguas abajo y aguas arriba en la cadena, como por la amenaza que significa para las industrias actuales del ecosistema agropecuario la continuación de las actividades en el actual paradigma a los precios de *commodities* actuales. Al tratarse de un conjunto de sectores diferentes conviviendo en esta macrodefinición, las métricas hay que tomarlas subsector a subsector. Para tomar un ejemplo, se estima que la ingeniería genética podría aumentar los rendimientos de cultivos globalmente en un 22%, así como ayudar a reducir pérdidas de precosecha.

Si bien ya existen desde hace unos años una variedad de *start-ups* que se enfocan en desafíos agropecuarios, a juicio de algunas consultoras y empresas de capital de riesgo la oferta de empresas *AgTech* está recién comenzando a desarrollarse y apenas “rascando la superficie” del potencial de generación de valor posible para esta industria, en especial si la comparamos contra la oferta de *start-ups* que atacan otros sectores de la economía real.

Figura 3. Relaciones entre áreas de trabajo agropecuarias y tecnologías disponibles



Fuente: elaboración propia

Como se observa en el esquema, en la actualidad coexiste toda una serie de plataformas tecnológicas *hard* y *soft* que han sido desarrolladas con múltiples propósitos (drones, smartphones, sensores, *blockchain*, inteligencia artificial), anteriores a las *AgTech*, y que comienzan a dar soporte, combinadas entre sí, a la generación de aplicaciones específicas del mundo agropecuario.

Uno de los desafíos principales que enfrentan las empresas *AgTech* es, primero, comprender y focalizar bien en alguno de problemas que se resumen en las áreas de trabajo; segundo, poder generar respuestas tecnológicas a esos problemas, encontrando la mejor combinación de tecnologías para resolverlos, y tercero, poder identificar los *drivers* o factores que traccionan la adopción efectiva de tecnología. Este último punto es de gran importancia pues es donde fallan muchas de las *start-ups*, y está vinculado a conocer cabalmente cómo funciona el segmento de mercado sobre el cual se busca operar específicamente, como es el tipo de usuario de la tecnología, y también a cuál es la forma de uso de cada tecnología y las eventuales restricciones que pueden presentarse, sea de forma exógena o intrínseca a la tecnología.

A modo de abstracción, y retomando la distinción entre desafíos de índole operativa y no operativa, mencionaremos a continuación con mayor detalle algunos de los principales tipos de desafíos que están presentes en esas aplicaciones.

A nivel operativo:

- Automatización de tareas clave (cosecha, riego, aplicaciones)
- Automatización de flujos de información de datos primarios
- Automatización de monitoreo de variables (exógenas o inherentes a la actividad), como variables climáticas, técnicas, eficiencias, consumos, costos, inventarios, para la toma de decisiones durante el proceso productivo y la generación de alarmas
- Diseño, modificación y customización de insumos o materias primas
- Aumento de precisión o granularidad en la recolección de datos, para acciones más focalizadas y prescripciones variables de tratamientos posteriores
- Mejora en la performance de ciertas operaciones clave, por mayor precisión de la acción y mayor eficiencia (ejemplo: pulverización variable, siembra variable, polinización variable)
- Mejora de los controles de calidad y segmentación de producto postcosecha
- Disminución o reutilización de residuos

Claramente, las tendencias más fuertes a nivel operativo entre las soluciones existentes están orientadas hacia la automatización y mejora en la eficiencia de labores, hacia la automatización y mayor precisión en la recolección de información sobre labores y recursos, y hacia el desarrollo de mejores insumos y materias primas, así como la búsqueda de eficiencias de proceso y disminución de descartes. Estas prestaciones atienden a un puñado de objetivos que cubren casi todos los aspectos fundamentales de la actividad agropecuaria en tanto empresas:

- Mejora de rindes (mayor producción y plusvalor por unidad de recursos)
- Reducción de costos directos e indirectos
- Optimización de decisiones de venta
- Reducción del riesgo laboral o productivo
- Mayor *accountability* de la operación
- Mayor flexibilidad financiera de la operación
- Disminuir el impacto ambiental y su riesgo legal

Por otro lado, también en la **Figura 3**, en la columna de aplicaciones aparecen también algunos de los principales desafíos de índole no operativa. Si realizamos una síntesis, veremos que los problemas principales que están presentes son:

- Gestión y financiamiento de riesgos agrícolas
- Apalancamiento financiero de las operaciones
- Gestión de recursos empresariales —específico para cada segmento
- Automatización de procedimientos administrativos
- Optimización en la comercialización de productos. Mejor coordinación de mercado
- Monitoreo de trazabilidad

Estas prestaciones o mejoras atienden a los siguientes objetivos:

- Diversificación o disminución del riesgo empresarial o financiero
- Eficiencia y control en el funcionamiento de la empresa y sus recursos
- Eliminación de costos y procedimientos administrativos
- Maximización de los procesos de venta
- Garantías de origen, generación de marca, seguridad sanitaria, rendición de cuentas
- Flexibilidad financiera y capacidad de inversión

La selección de qué problemas y qué tecnologías está también afectada por las áreas geográficas de donde provienen las *AgTech*. Un caso típico es el manejo del riego. La gran mayoría de empresas que ofrece tecnologías y servicios asociados a la medición de humedad en suelo y al manejo del riego proviene de Israel (GreenIQ, CropX, I-Dripper, Tevatronic), de Australia (Sentek, AcquaSpy, Observant) y de Estados Unidos, principalmente de California (Hortau, Waterbit, Tule, Acuity), pues es en esos lugares donde este desafío resulta clave. En menor medida aparecen algunas empresas sudamericanas (Livn y Kilimo), pero cuantitativamente son mucho más escasas en todas las categorías.

A nivel de monitoreo automático de forrajes, Nueva Zelanda, Australia e Irlanda son los países líderes, donde la ganadería es fuerte y predominan sistemas de producción bajo pastoreo. Aquí existen dos tipos de modelos: sensores locales o drones que buscan relevar información de primera mano sobre pasturas (C-Dax, Pasturemeter, Farmote), y modelos basados en imágenes satelitales (Maia, PastureMap, Space), incluyendo o no, según el caso, modelos de gerenciamiento de pasturas, que son fundamentalmente sistemas de gestión de la información con las variables específicas del monitoreo de pasturas que utiliza un productor lechero, o de ganado bovino, ovino o caprino.

En todo lo que se refiere a problemas asociados a la protección de cultivos en agricultura extensiva, como por ejemplo la detección de malezas, Estados Unidos es el principal país generador de aplicaciones (WeedSeeker, Blue River Technologies) que atienden a este mercado, aunque también hay algunas iniciativas en Europa con el mismo objetivo, como Weedit (Países Bajos), EcoRobotix (Suiza), Nãio Technologies (Francia) e Ibex Automation (Reino Unido). Estos emprendimientos combinan una tecnología mecatrónica o de robótica para los accionamientos junto con tecnologías de interpretación de imágenes (*computer vision*) y herramientas de inteligencia artificial para las predicciones.

Estos ejemplos contribuyen a entender cómo se entrelazan la disponibilidad de tecnologías, el entorno de negocios apropiado y la disponibilidad de capital con las problemáticas específicas a cada contexto para entender cómo surgen las *AgTech*, lo cual en este sector es especialmente importante, ya que son problemáticas muy vinculadas a las condiciones agroecológicas y económicas de cada área geográfica. En la mayoría de los casos estamos hablando, como fue esquematizado más arriba, de tecnologías que automatizan procesos a campo, que los hacen más eficientes y precisos, o que mejoran el negocio a partir de un uso más intensivo de la información que generan.

Un caso diferente es el de las tecnologías *indoor farming* y el de la proteína animal *in vitro*. Se trata de dos segmentos muy distintos entre sí, pero comparten el rasgo de que, en lugar de mejorar eficiencias o automatizar procesos en el contexto físico y productivo del mundo agropecuario convencional, lo que hacen es trasladar la producción de los mismos bienes a un espacio y un proceso diferente.

En el caso de *indoor farming*, se usan tecnologías ya conocidas y difundidas —como los invernaderos, la hidroponía o aeroponía, los jardines verticales—, pero se les agrega un alto nivel de sensorización, robótica y nuevos materiales de acondicionamiento para convertirlos en un módulo industrial altamente tecnificado, que sustituye procesos que ocurrirían a campo abierto, allí donde la situación justifica económicamente este tipo de emprendimientos: produciendo cerca o en las ciudades, produciendo en áreas con poco espacio físico para producir. Tal vez por ello Holanda, España y Japón son países que ya tienen una tradición consolidada, entre los cuales Holanda destaca como el líder absoluto en productividad por metro cuadrado, y por ello aún con su pequeñísima superficie territorial ocupa el tercer lugar a nivel mundial como exportador de productos agrícolas, especialmente vegetales, sólo detrás de Estados Unidos y Francia.

Por su parte, la tecnología de carne in vitro, o carne cultivada, o carne sintética, carne alternativa, como se les llama según el caso, tiene como objetivo la reproducción de tejidos cárnicos —hasta el momento, a partir de células madre animales—, con el objetivo de generar el mismo producto alimenticio resultado de la ganadería, pero sin involucrar animales. Esta tecnología es una derivación biotecnológica de técnicas de reproducción de tejidos de la medicina regenerativa, y está sostenida a partir de una postura moral muy fuerte contra los métodos convencionales de producción animal, en cuanto al impacto en el bienestar animal y en la emisión de gases de efecto invernadero que genera la ganadería, en especial la de animales bovinos. Este tipo de preocupación tiene mucho eco en ciertas franjas de poblaciones urbanas y se trata de un mercado global creciente y con poder adquisitivo.

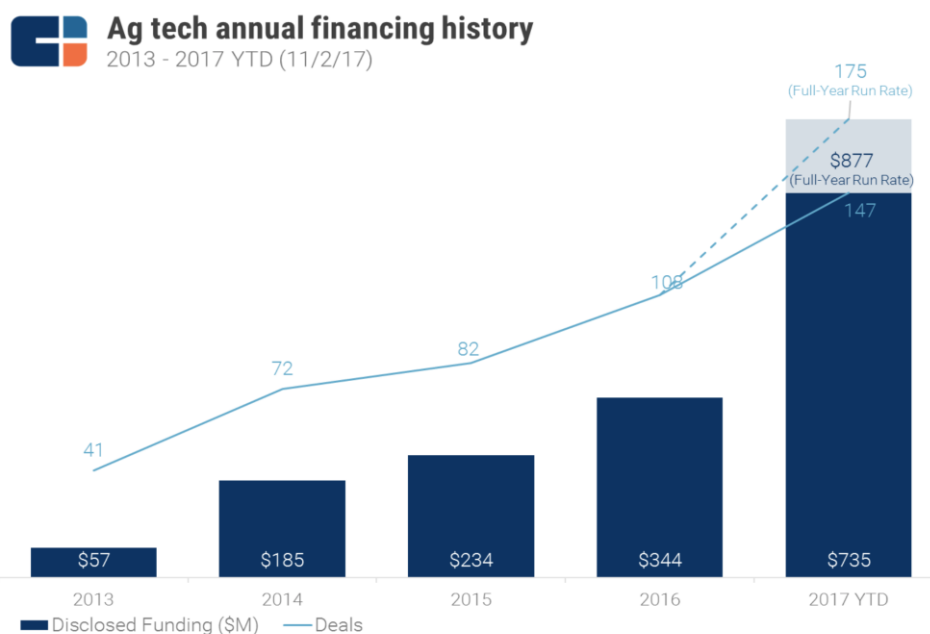
Pensando en este tipo de preocupaciones por parte de consumidores, así como también en los segmentos de consumidores vegetarianos, han aparecido una serie de *start-ups* que están buscando generar productos cárnicos “sin animales”, es decir, producidos en tanques a partir de reproducción celular. No solamente en carne bovina, sino también en pollo, pescado, huevo e incluso mayonesa, hay empresas que se han lanzado a este mercado con propuestas disruptivas, y algunas de ellas han “pivotado” hacia producir hamburguesas vegetarianas con sabor parecido al de la carne. Este último giro ha tenido un éxito bastante importante recientemente, en la medida en que algunas de estas compañías han conseguido penetrar en redes de *fast food* de primera línea y están creciendo en ventas de manera significativa.

Como resumen, lo que se puede observar es que las tecnologías *AgTech*, o bien: a) reemplazan con automatización partes del proceso agropecuario; b) los hacen más eficientes operativamente, comercialmente, o más escalables; o c) generan procesos creados por tecnologías hasta entonces no existentes.

2.3. La dinámica Silicon Valley. Financiamiento y expectativas

Los últimos 10 años han visto un crecimiento notable en la inversión en empresas de *AgTech*, con US\$ 6.7 mil millones invertidos en los últimos cinco años y US\$ 1.9 mil millones sólo en 2018, de acuerdo a las fuentes especializadas de este sector de inversiones.

Figura 4. Evolución reciente de la inversión en *AgTech*

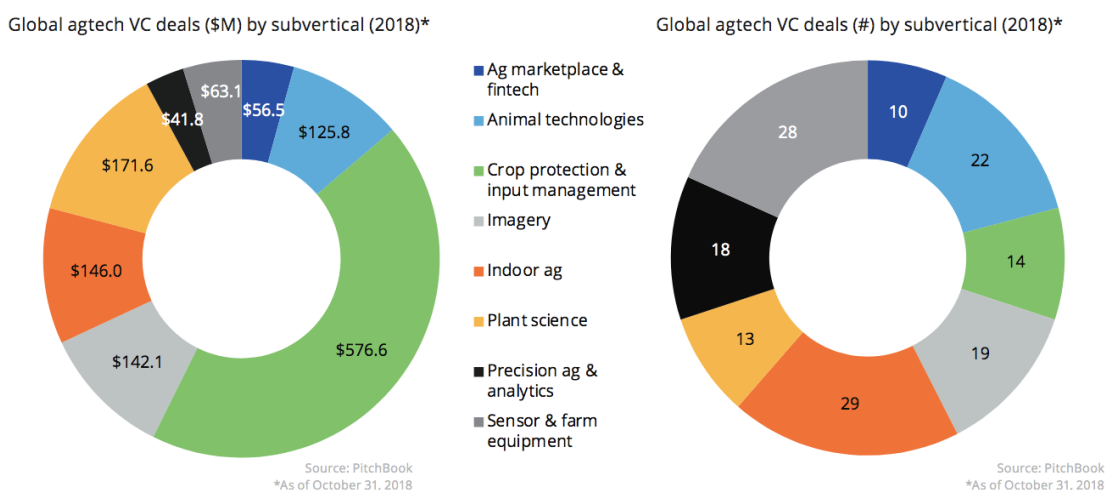


Fuente: CB Insights, 2018

Algunos subsectores dentro de *AgTech* están más altamente invertidos que otros: la protección de cultivos, las finanzas del agro, la gestión del riego, variables climáticas, o de insumos agrícolas, y el análisis de precisión en base a imágenes geolocalizadas constituyen la mayor parte de la inversión. Otros segmentos, como la ganadería o los proyectos vinculados a coordinación de mercados, han recibido menos inversión. Al mismo tiempo, ha crecido muy fuerte la oferta de empresas basadas en un rango amplio de biotecnologías, desde soluciones basadas en la edición genética para el desarrollo de características en plantas o animales, hasta soluciones de productos biológicos modificados para generar determinadas interacciones en organismos vivos, o soluciones de manejo de determinados tratamientos como polinización en agricultura o vacunaciones en ganadería, donde se mejora algún tipo de aspecto de la eficiencia de estos tratamientos.

En la **Figura 5** se observan algunos de los subsectores que han recibido inversiones, en función de una caracterización de segmentos que, si bien tiene superposiciones entre sí, es útil para tener un panorama sobre los destinos principales de inversión.

Figura 5. Participación de segmentos en las inversiones en *AgTech*



Fuente: Finistere Ventures, 2019

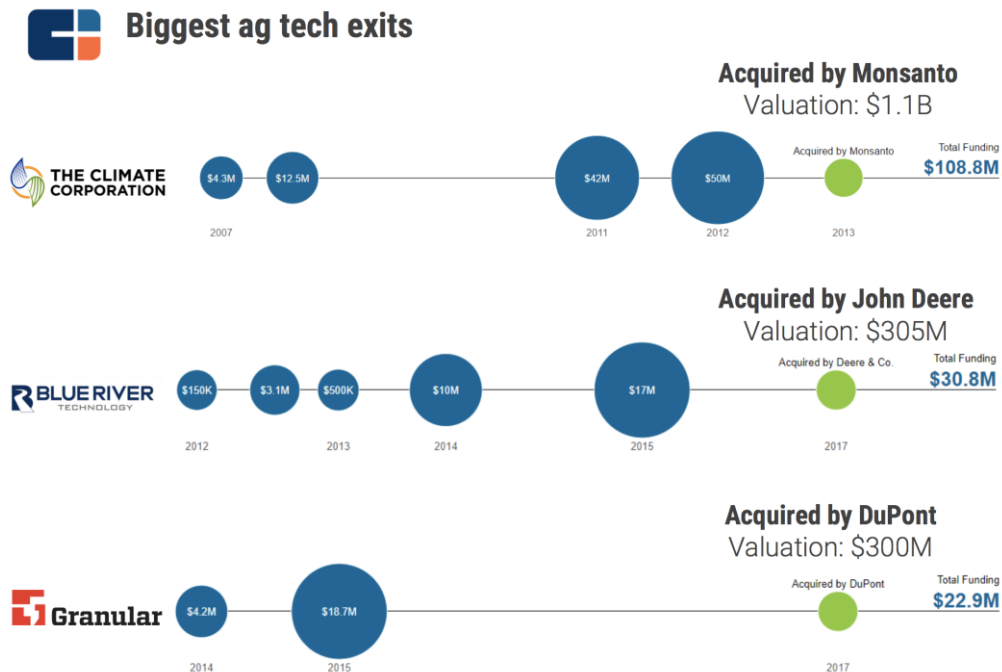
Es importante que notar que la mayor parte de este boom de atención sobre el sector *AgTech* está más marcado por el aumento de inversiones que por el desempeño comercial de las empresas, en tanto que se desconoce hoy en día cuál es la rentabilidad efectiva y el crecimiento de ventas de una buena parte de estas *start-ups*. En la medida en que muchas de ellas transitan el camino a través de rondas de inversión, y que éstas pueden ocurrir sin que la empresa sea rentable, no está claro cuál es la situación real de buena parte del sector *AgTech* en términos de sustentabilidad económica, más allá de la financiera.

De hecho, la construcción del “relato” sobre la historia de las *AgTech* está fuertemente sesgada hacia la historia de *exits* o salidas de algunas de las primeras *start-ups* que empezaron a trabajar en el sector. Tal fue el caso de The Climate Corporation, una plataforma de datos agropecuarios basada en imágenes satelitales que fue adquirida por el brazo de inversiones de Monsanto, a una cifra comparable a cualquier adquisición del resto del sector tecnológico: 1.2 mil millones de dólares.

Otro caso que ha generado un ruido importante es la empresa Blue River Technologies, que desarrolló una solución para la pulverización selectiva de cultivos intensivos en hortalizas

utilizando visión industrial —o *computer visión*—, y que le permitió vender la compañía a John Deere en 2017 en 300 millones de dólares, en lo que constituyó la primera gran adquisición de una empresa de *AgTech* por parte de una empresa de maquinaria agrícola, y la segunda gran adquisición en general en el mapa de las *AgTech*, por detrás de la compra de The Climate Corporation.

Figura 6. Mapa de evolución de las compañías con mayores éxitos



Fuente: CB Insights, 2017

Como se observa en la **Figura 6**, hasta ahora no existen IPO de empresas *AgTech*. Esto puede deberse a distintos factores combinados:

- una demora evolutiva de la industria, en el sentido de que se trata de un segmento relativamente nuevo como sector *high-tech* aplicado;
- debido a que la adopción de tecnología en los mercados agropecuarios es intrínsecamente más lenta dadas sus peculiaridades culturales y geográficas, y eso haría que el crecimiento de las empresas fuera más paulatino;
- porque se trata de actividades con fuertes componentes estacionales que requieren de mayor inversión y donde el ciclo de desarrollo de producto es más largo.

Pero hay un factor adicional, que comentamos en el punto siguiente, que está relacionado con la dinámica de interacción entre grandes empresas y la innovación, que impacta sobre las expectativas de *exit* de las empresas *AgTech*, en términos de cuál es el objetivo con el que se construyen estas compañías desde el primer día cuando siguen la lógica de crecimiento vía inversión de capital de riesgo, y que podría tener un peso muy relevante en el mundo de las *start-ups* de *AgTech* en particular.

2.4. Corporate innovation

Uno de los rasgos que permite dar cuenta del desarrollo de un mercado de innovación es la aparición de aceleradoras, programas de incubación y fondos de capital de riesgo dedicados específicamente a ese segmento. En los últimos cinco años han aparecido al menos diez aceleradoras y no menos de treinta fondos de capital de riesgo totalmente dedicados o con un pie fuerte en el sector agropecuario.

Con base no solamente en Estados Unidos, sino en varios países donde la tecnología y el agro tienen fuerte presencia —Israel, Australia, Nueva Zelanda, Francia, Alemania, Inglaterra, Irlanda, España, Brasil, Chile, Argentina—, las aceleradoras han pasado a cumplir —cuando lo hacen bien— varias funciones:

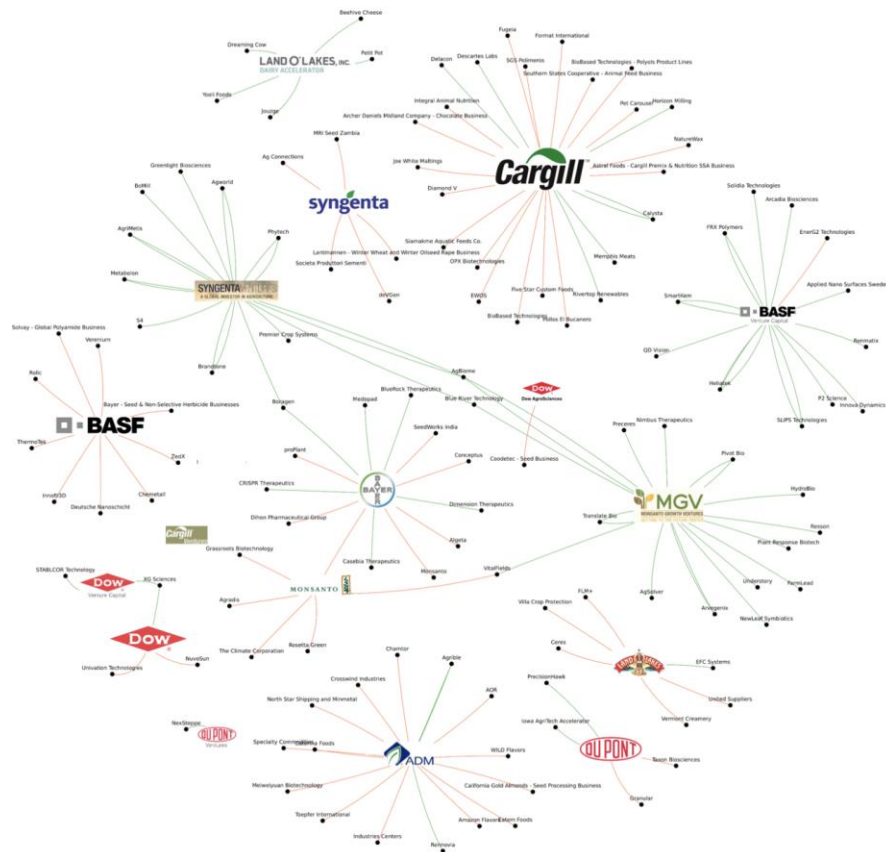
- a) dotar a las *start-ups* de un espacio de contención físico, emocional y de relaciones (consejeros) para el desarrollo del negocio;
- b) dotarlas de cierta visibilidad y prestigio por ser miembros, así como de un enfoque y clientes para potenciar el negocio;
- c) acercar inversores o invertir ellas mismas en las *start-ups* elegidas; y
- d) acercar usuarios de gran porte, es decir, compañías del mundo agropecuario que requieren de innovaciones, y que podrían ser clientes o bien inversores en el futuro.

Este último punto, no obstante, ha tomado una dimensión muy importante bajo el concepto de *corporate innovation*, en la medida en que algunas aceleradoras son en buena medida financiadas por algún tipo de compañía que busca financiar su investigación o desarrollo de nuevos productos buscando proyectos de compañías *start-up* dentro de su área de interés. Esto ha hecho que se establezcan relaciones entre algunas compañías y algunas aceleradoras o fondos, que abren una línea de trabajo específica con el objetivo de conectar a algunas *start-ups* con compañías que trabajan en el mismo campo de problemas. Por ejemplo, la aceleradora Agtech Accelerator, de la costa este de Estados Unidos, tiene como *partners* a Bayer y a Syngenta. Otra aceleradora, Cultivation Corridor, localizada en Iowa, cuenta con el apoyo de John Deere y Dupont. Radicle, de la costa oeste norteamericana, cuenta con el apoyo de Bayer y Corteva (Dow-Dupont). Thrive Agri-food, una aceleradora de California, recibe el apoyo de Land'O Lakes, Driscoll's y otros grupos corporativos agroalimentarios de relevancia. En Brasil, el Fondo BR Startups recibe apoyo de Bayer (ex Monsanto), Microsoft y corporaciones brasileñas; en Argentina, la aceleradora GridX tiene el apoyo de corporaciones nacionales como Grupo Insud, Bagó, Bioceres y Vicentín.

La dinámica resultante es, por un lado, que muchas *start-ups* acceden así a poder realizar pruebas de concepto o de validación de tecnología con algunos de estos grupos, lo que tiene ventajas significativas para la *start-up* en términos de ajuste de producto, de validación de la tecnología y de potencial de escala. Por otro lado, cuando las *start-ups* resultan ser prometedoras o pasan a cumplir alguna función estratégica para la compañía con la cual está colaborando, esta compañía pasa a ser un inversor estratégico y, eventualmente, luego un comprador de la *start-up*.

En la **Figura 7** se ve con claridad un diagrama de las inversiones en startups de *AgTech* que algunos grupos corporativos del ecosistema agropecuario vienen realizando en los últimos años, y eso condiciona la dinámica y las expectativas de las *start-ups* a la hora de vincularse con aceleradoras, fondos o directamente compañías.

Figura 7. Diagrama de relaciones de inversión entre grupos corporativos del agro y compañías *start-up* de *AgTech*



Fuente: CB Insights, 2017

Este condicionamiento es un factor de tensión en la medida en que, si bien genera señales que alientan la generación de *start-ups* y el interés de inversores por el mercado *AgTech*, al mismo tiempo, lo que se esperaría de la maduración de una industria de *AgTech*, para ser sustentable como sector, no es que las compañías *start-ups* sean adquiridas al quinto año de nacidas por una corporación del ecosistema, sino que puedan generar ingresos de ventas crecientes y en proporción a las inversiones que reciben, mantengan cierto nivel de control y transiten hacia un IPO. En ese sentido, las aceleradoras y fondos de capital de riesgo (*ventures*) juegan un rol fundamental como dinamizadores de capital y al mismo tiempo como educadores de las *AgTech* en el camino del crecimiento.

2.5. El rol del sector académico

Es siempre difícil y riesgoso caracterizar la importancia del sector académico para el desarrollo de un sector económico de innovación. Se corre el riesgo de subestimar o sobreestimar su importancia, ya que la ciencia básica y la ciencia aplicada percolan muchas organizaciones, interactúan de maneras variables con el sector privado, y forman parte de la base de muchos emprendimientos, sin que por ello esto sea el resultado buscado y explícito de una política científica. Al mismo tiempo, existen muchos científicos y grupos de investigación que desarrollan innovaciones sin generar un negocio, pero que al mismo tiempo abren la puerta para la aparición de nuevas empresas en un cierto tipo de área, casi como una externalidad.

Al referirnos específicamente al *AgTech*, el sector académico que está más cerca de las ciencias agropecuarias, es decir, más cerca de los problemas y las aplicaciones concretas es el que ha generado más avances desde la perspectiva del planteo de soluciones, utilizando tecnologías variadas que han ido apareciendo en disponibilidad. La mayor cantidad de *papers* que aparecen publicados en las diversas ramas de temas que cubre el *AgTech* provienen de grupos e investigadores vinculados a la “demanda”. Así fue como en los albores del desarrollo de TIC para el agro, algunas tecnologías se desarrollaron como subproductos de investigaciones sobre otros temas.

Otro sesgo que tiene el sistema científico está asociado a tecnologías que requieren de mayor inversión en capital fijo, como, por ejemplo, la biotecnología, donde cualquier tipo de desarrollo requiere de laboratorios que habitualmente se encuentran en instituciones de investigación, así como de equipamientos de alto valor económico. Asimismo, la biotecnología, a pesar de tener su propio sistema de difusión de conocimiento instituido y bien estructurado, funciona con menos fluidez que la difusión del conocimiento en el rubro informático, que tiene un fuerte componente experimental, de desarrollo de redes, y menos pruritos a la hora de generar herramientas o conocimiento que se puede compartir “por pedazos”. El mundo tecnológico de la computación genera de forma permanente herramientas y conocimiento, genera foros de consultas y copia invenciones con una flexibilidad donde el límite de lo apropiable es menos estructurado que en la biotecnología. Por esa razón, los avances en aplicaciones biotecnológicas en segmentos del agro cuentan con fuerte presencia de investigadores del sistema científico-universitario, del sistema científico en sí —más allá de que sea público o privado—, pero también de empresas privadas que cuentan con científicos o con métodos científicos para el desarrollo. Un ejemplo claro es la tecnología CRISPR, originada en distintos núcleos académicos de universidades como UC Berkeley, Humboldt en Alemania, y el MIT en Boston.

Muchos de los primeros *papers* generados inclusive en TIC para el agro, así como esfuerzos por generar un campo de desarrollo y debate, fueron realizados por grupos de investigación, que de manera más o menos orgánica —de acuerdo al contexto de cada país— fueron generando publicaciones y descubrimientos de acuerdo a combinaciones híbridas entre la curiosidad de estos investigadores, la agenda de temas relevantes marcada por las preocupaciones del sector privado, y la aparición de nuevas herramientas para encarar esos temas.

El debate sobre la importancia del sector científico en las *AgTech* no escapa a un debate más amplio sobre su importancia y en muchos campos de acción, que excede a las posibilidades de este artículo. Sin duda que, con disparidades de acuerdo a los temas, el sistema científico, principalmente de países desarrollados, ha tenido un gran impacto en la posibilidad de que existan las *AgTech*, tanto más cuanto más es apoyada la investigación aplicada y la interacción entre sector público y privado en estos países.

3. La oportunidad para los países agropecuarios

Existe un conjunto de oportunidades significativas dentro del mundo *AgTech* para capitalizar tecnologías escalables y de creación de valor en los distintos segmentos del mercado agropecuario, en los sistemas de comercialización, en sus industrias de soporte, y en las cadenas de valor a las que pertenecen.

Cada región o cada país tiene sus propias ventajas y desventajas para formar parte del tablero relevante de generación (y capitalización) de innovaciones, pero esto depende primariamente de una definición acerca de qué es lo deseable en términos de la forma de generar innovaciones, y cuáles son las ventajas que reporta para una región o país determinado. En principio, se entiende de manera general que la existencia previa de un perfil de especialización agropecuario debería reportar una ventaja para el desarrollo de una base de empresas y de otros tipos de capacidades innovativas que además se capitalicen localmente, en el sentido más estricto del término. A lo que habitualmente se apunta, en la búsqueda por generar competitividad y desarrollo económico de un área determinada, es a aprovechar ventajas de conocimientos y sectores preexistentes, y combinarlas con nuevas tecnologías para poder generar nuevos tipos de capacidades adaptadas a las necesidades de competitividad internacional.

Es el camino que desarrollaron los países asiáticos en la década del 60, y que más cerca de estos temas, iniciaron países como Israel y Australia, por citar dos casos, cada uno a partir de modelos diferentes. Israel es líder en tecnologías asociadas al riego, porque debió enfrentar tales desafíos, porque poseía capacidades tecnológicas propias derramadas por su desarrollo militar, pero también porque existió una determinación y una apuesta por ese camino específico. Australia es un equivalente para la ganadería, donde es un referente tecnológico global, y desarrolla tecnología a partir de la unión entre universidades, proveedores tecnológicos y empresas agropecuarias.

Pero aprovechar la cercanía con sectores ya desarrollados para generar nuevas empresas es apenas el comienzo del camino. Hacen falta más elementos en la mesa para que —considerando el modelo de *start-ups*— la innovación se pueda financiar, tomar escala, encontrar terreno fértil comercialmente y crecer. Algunas de esas condiciones escapan a una política de promoción de la innovación en *AgTech* y se derivan de un mero contexto de relativa estabilidad macroeconómica y continuidad de políticas de Estado. Otras son más especializadas, pero igualmente tan heterogéneas como facilitar el acceso a tecnologías de prototipado, facilitar la reducción de costos fijos para *start-ups*, o poseer un sector de capital de riesgo que entienda la lógica de crecimiento y apalancamiento de una *start-up*. También requiere que existan espacios de intercambio y mecanismos fluidos de circulación entre sector académico y sector privado, tema tan caro para países como Argentina, donde persisten rigideces que limitan el potencial de aparición y crecimiento de *start-ups*.

Una de las características de sistemas de innovación inmaduros es que financian la aparición de empresas, pero no el crecimiento, por rigideces en sus mercados de capital, lo cual termina generando que muchas empresas se apalancen en sistemas de capital de riesgo de otros países como Estados Unidos. La oportunidad para los países agropecuarios comienza con la utilización de sus conocimientos y mercados ya desarrollados, pero es apenas el principio de un esfuerzo más largo y consistente, y no la oportunidad en sí misma.

4. Análisis de publicaciones y patentes relacionadas con *AgTech*

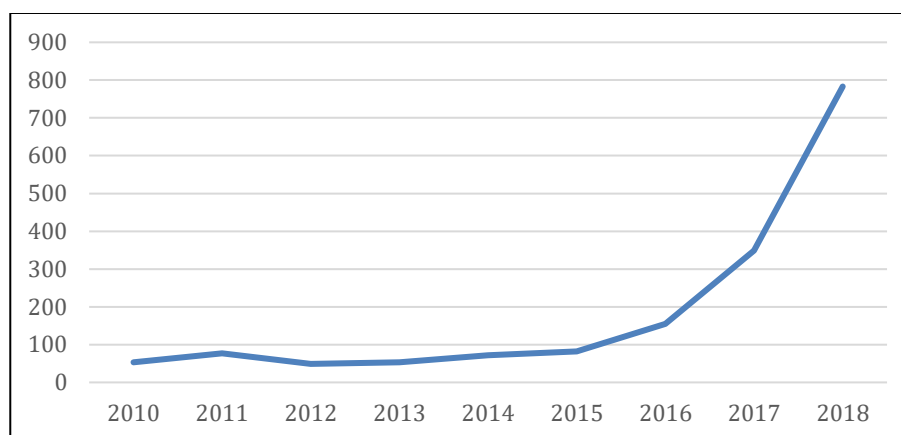
Este apartado contiene un análisis estadístico de publicaciones y patentes relacionadas con las *AgTech*. Su objetivo es complementar el estudio con un panorama de las principales tendencias de la investigación científica y el desarrollo tecnológico. Está integrado por dos apartados principales, uno sobre publicaciones obtenidas de la base de datos SCOPUS y otro sobre patentes de invención, obtenidas de la base de datos PCT de la OMPI. Los detalles de las fuentes y las estrategias de búsqueda aplicadas se incluyen en el **Anexo**.

4.1. Publicaciones científicas

Las publicaciones relacionadas con las *AgTech* se han expandido entre 2010 y 2018, aunque con mayor énfasis en los últimos años del periodo. A continuación, se analizan en detalle el panorama mundial y argentino en agricultura extensiva, intensiva, ganadería y CRISPR.

La investigación sobre las *AgTech* en la agricultura extensiva tuvo una marcada expansión entre 2010 y 2018, principalmente a partir de 2015. La cantidad de artículos en SCOPUS sobre estos temas se multiplicaron por diez en el periodo, pasando de 77 a 783.

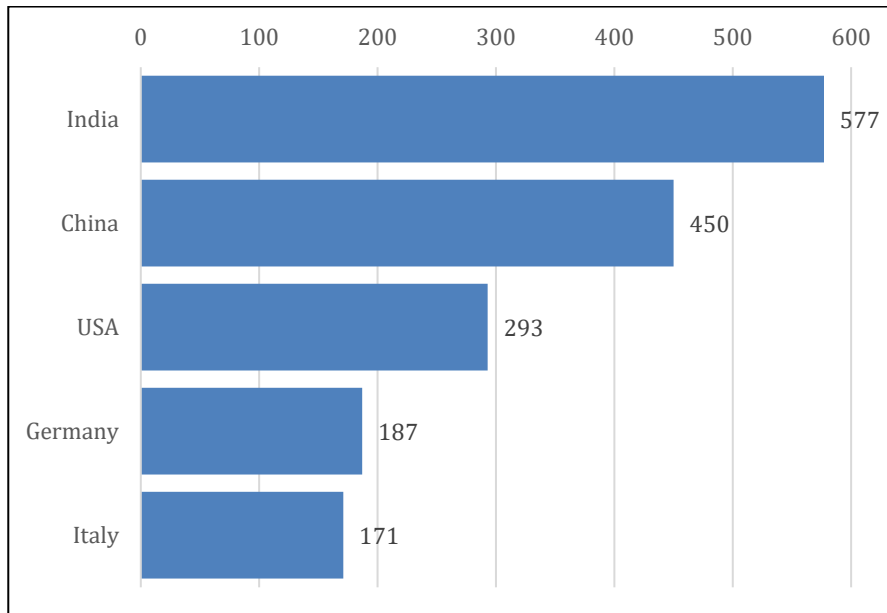
Gráfico 1. Total de publicaciones sobre *AgTech* en agricultura extensiva ²



Los principales países del mundo según su producción científica en este campo están liderados por la India. Se trata de una particularidad de este tema, ya que, en el total de la producción mundial registrada en SCOPUS, la India es el noveno país. La especialización de ese país en esta temática puede tener aspectos interesantes para la investigación sobre este tema en otros países en desarrollo. La lista de los primeros cinco países se completa con China, Estados Unidos, Alemania e Italia.

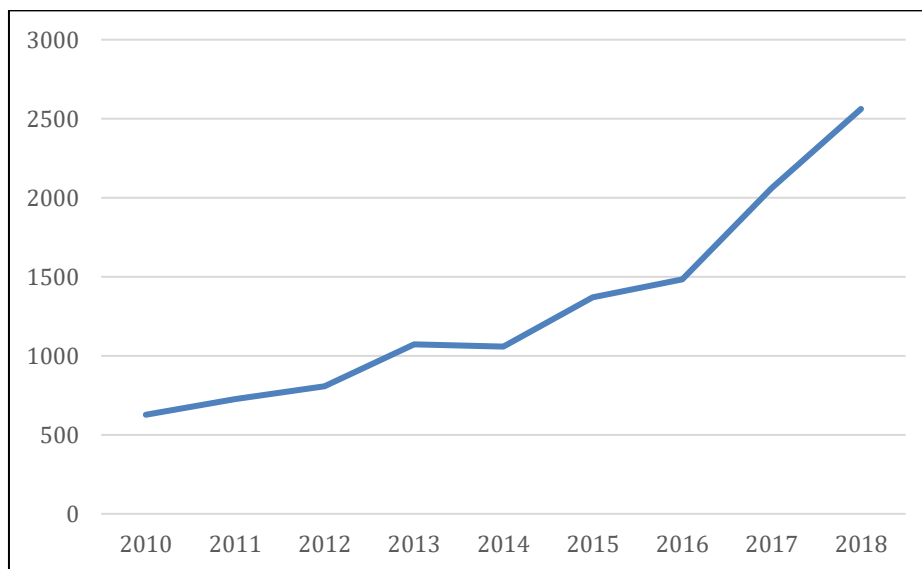
² Tanto este gráfico como todos los que integran este capítulo fueron elaborados por el equipo de trabajo del Observatorio Iberoamericano de la Ciencia, la Tecnología y la Sociedad (OCTS-OEI).

Gráfico 2. Artículos por país del autor en *AgTech* en la agricultura extensiva



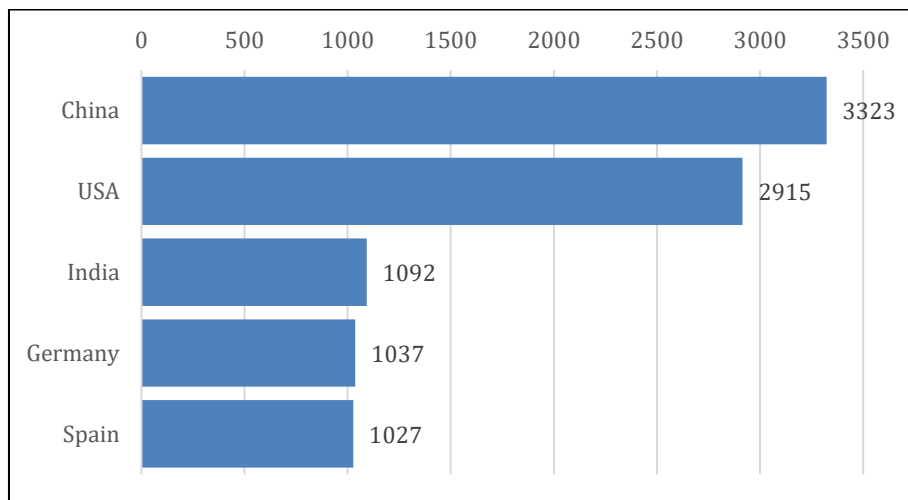
La investigación en tecnologías relacionadas con la agricultura intensiva muestra un volumen de publicación mayor y, aunque presenta un crecimiento significativo entre 2010 y 2018, su expansión es porcentualmente menor. En 2010 se identificaron 627 documentos en este tema y en 2018 2562, cuadruplicando así su volumen.

Gráfico 3. Total de publicaciones sobre *AgTech* en agricultura intensiva



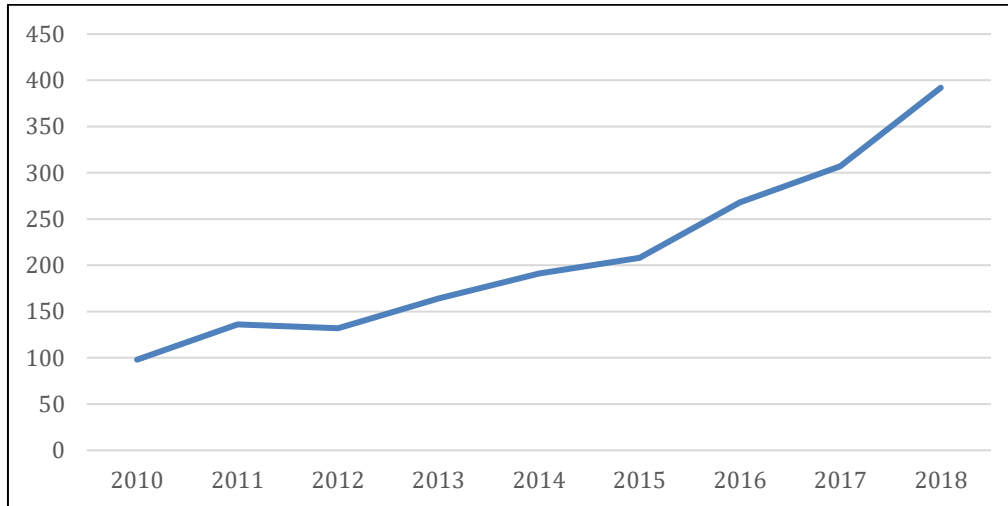
En este caso, el país líder en la investigación es China, con 3323 artículos acumulados entre 2010 y 2018. En segundo lugar, aparece Estados Unidos con 2915. India, Alemania y España completan la lista de los cinco países más productivos. Sorprende aquí la presencia de España, que en el total de la producción registrada en SCOPUS ocupa el décimo lugar.

Gráfico 4. Artículos por país del autor en *AgTech* en la agricultura intensiva



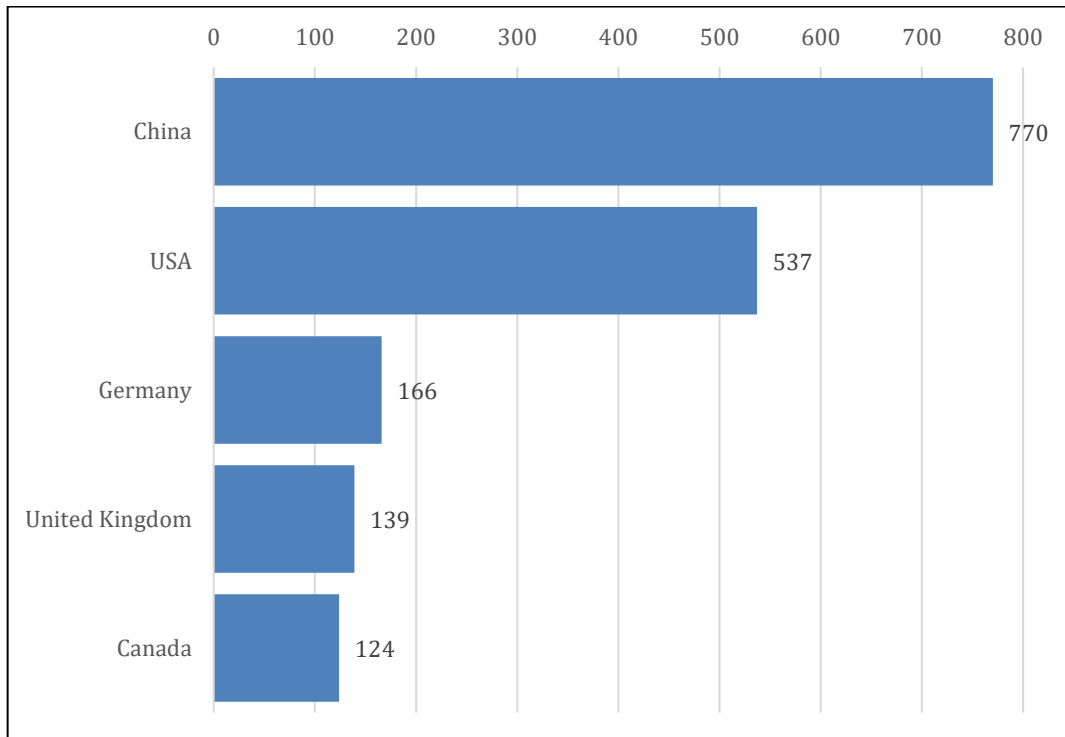
En el caso de la ganadería, la investigación sobre tecnologías tuvo un crecimiento más moderado. En 2010 se registraron 98 artículos en SCOPUS sobre este tema, que se incrementaron anualmente hasta alcanzar los 392 en 2018. Aunque con un volumen algo menor, su tasa de crecimiento fue similar a la de la investigación sobre las *AgTech* en la agricultura intensiva.

Gráfico 5. Total de publicaciones sobre *AgTech* en ganadería



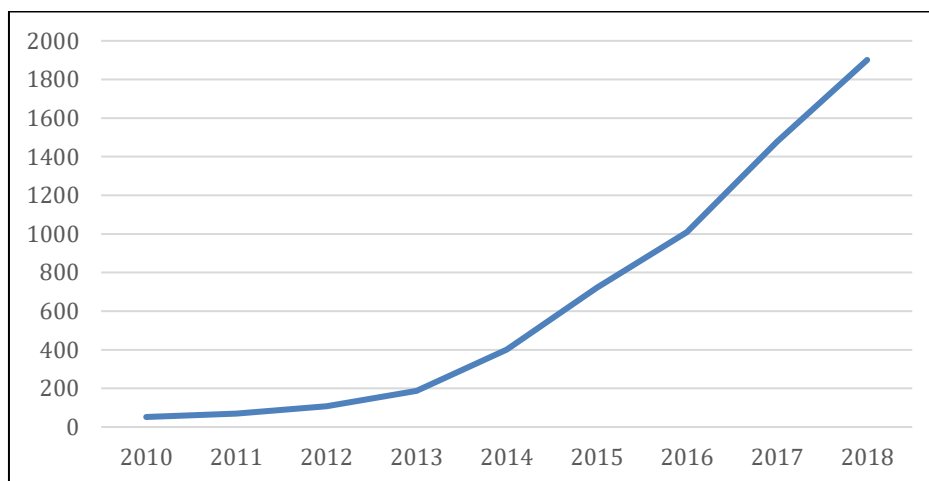
En este caso, China es nuevamente el país con mayor producción de artículos científicos relacionados con las tecnologías aplicadas a la ganadería. El segundo lugar lo ocupan los Estados Unidos. La lista de los cinco principales países según su producción en SCOPUS se completa con Alemania, el Reino Unido y Canadá.

Gráfico 6. Artículos por país del autor en *AgTech* en ganadería



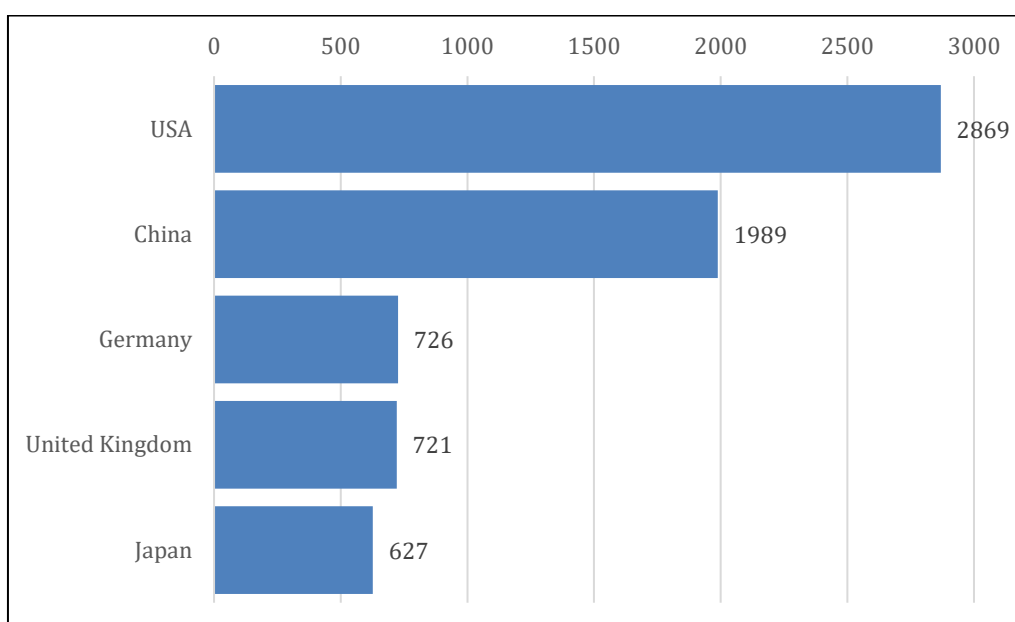
Por último, las tecnologías de edición genética CRISPR, aplicadas tanto a la agricultura como a la ganadería, han tenido un pronunciado desarrollo en los últimos años. En 2010, cuando esta tecnología era aún incipiente, se contabilizaron sólo 52 artículos en SCOPUS. En 2018, luego de una expansión muy importante a partir de 2013, casi 2000 documentos estaban relacionados con esta temática.

Gráfico 7. Total de publicaciones sobre *AgTech* en CRISPR



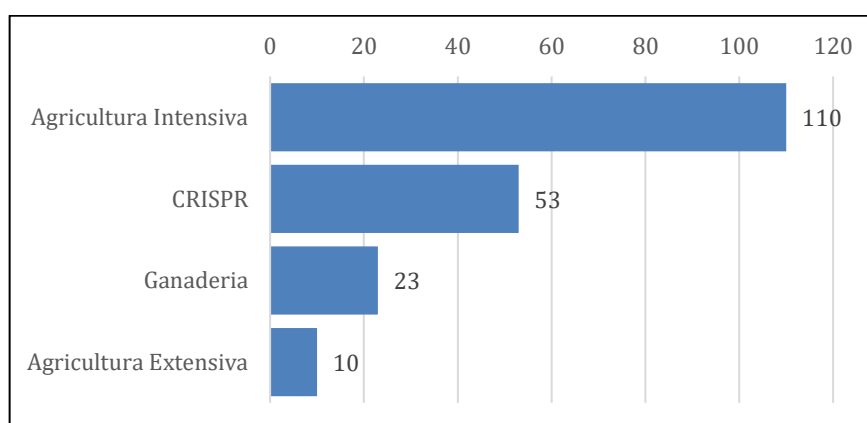
En este tema, la mayor parte de los autores provienen de instituciones de los Estados Unidos. Un total de 2869 artículos fueron firmados por investigadores de ese país entre 2010 y 2018. En segundo lugar, aparece China, con 1989. Con valores que van desde los 726 a los 627, completan la lista de los cinco países más productivos Alemania, el Reino Unido y Japón.

Gráfico 8. Artículos por país del autor en *AgTech* en CRISPR



En Argentina, la cantidad de artículos relacionado con las *AgTech* es relativamente menor. El principal campo de aplicación de estas tecnologías es el de la agricultura intensiva, con un total de 110 artículos publicados entre 2010 y 2018. En segundo lugar, aparecen las técnicas CRISPR con 53, seguidas de la ganadería con 23 y la agricultura extensiva con 10.

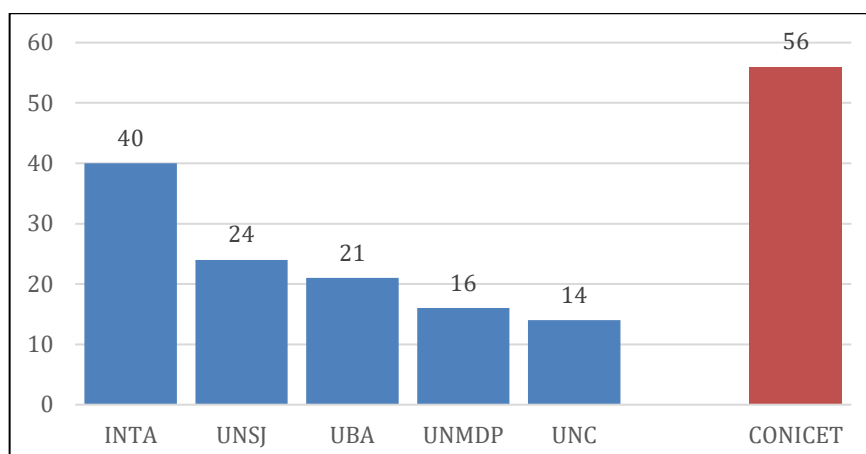
Gráfico 9. Producción científica argentina según aplicación de las *AgTech*



En comparación con los volúmenes de producción científica de cada tema a nivel mundial, la investigación sobre la aplicación de técnicas CRISPR al sector agropecuario tiene un nivel menor. Mientras que en el mundo este tema tiene casi el mismo volumen de la investigación en *AgTech* para la agricultura intensiva, en Argentina su tamaño es mucho menor.

Al mismo tiempo, la investigación sobre tecnologías aplicadas a la ganadería en Argentina tiene un volumen mayor que el de la agricultura extensiva, cuando a nivel mundial el orden es inverso.

Gráfico 10. Principales instituciones argentinas en *AgTech* y agricultura intensiva

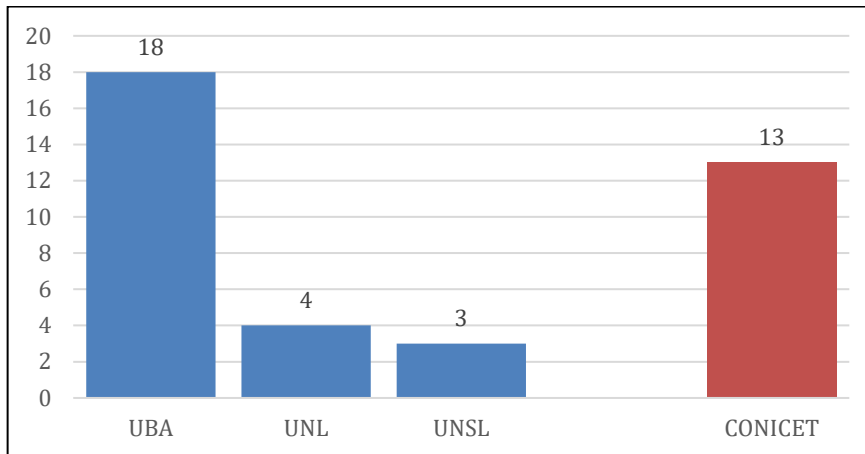


En la temática de las *AgTech* en agricultura intensiva, la principal institución a nivel nacional en términos de cantidad de publicaciones es el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), con 40 artículos entre 2010 y 2018. Dentro del INTA se destaca la Estación Experimental de Balcarce. En segundo lugar, aparece la Universidad Nacional de San Juan (UNSJ), con 24 publicaciones, con una destacada labor del Instituto de Automática (INAUT). En la Universidad de Buenos Aires (UBA), que acumuló 21 artículos, el principal grupo está nucleado en el Instituto de Investigaciones Fisiológicas y Ecológicas vinculadas a la Agricultura (IFEVA), un organismo de doble dependencia con CONICET. En el caso de la Universidad Nacional de Córdoba (UNC), se destaca el grupo de Agrotecnia y Física de la Facultad de Ciencias Agropecuarias.

Muchas de estas publicaciones cuentan también con la participación de investigadores de CONICET, ya sea en institutos de doble dependencia o por la participación de investigadores radicados en universidades. En total, entre 2010 y 2018, el CONICET participó en 56 de los 110 artículos registrados en SCOPUS.

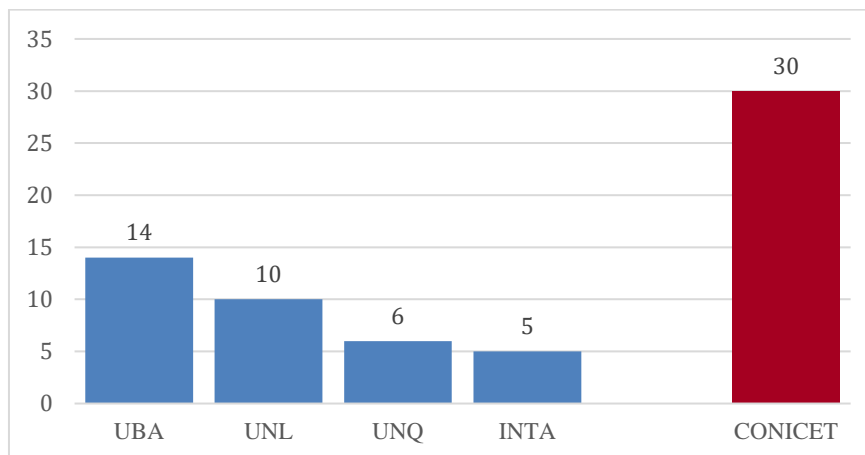
En las publicaciones relacionadas con las *AgTech* aplicadas a la ganadería, y aunque se trata de volúmenes de producción bajos, el principal actor —por gran diferencia— es la UBA. Dentro de la universidad se destacan dos institutos: el mencionado IFEVA y el Laboratorio de Análisis Regional y Teledetección (LART). Otros actores relevantes en este tema son la Universidad Nacional del Litoral (UNL), a través de su Instituto de Ciencias Veterinarias, y la Universidad Nacional de San Luis (UNSL). El CONICET, una vez más, participa en gran parte de estas publicaciones.

Gráfico 11. Principales instituciones argentinas en *AgTech* y ganadería



En la aplicación de técnicas CRISPR en el agro, se destacan los trabajos de la UBA, con 14 artículos registrados en SCOPUS entre 2010 y 2018. También tienen un papel relevante la UNL y la UNQ. El INTA aparece en el cuarto lugar con cinco artículos.

Gráfico 12. Principales instituciones argentinas en *AgTech* y CRISPR



En esta temática resulta muy importante la actividad de los centros de CONICET. En particular se destacan el Instituto de Investigaciones en Ingeniería Genética y Biología Molecular (INGEBI), el Centro de Referencia para Lactobacilos (CERELA) y el Instituto de Investigaciones Biotecnológicas (IIB).

Como se mencionó anteriormente, la investigación relacionada con la aplicación de *AgTech* a la agricultura extensiva es la de menor volumen de producción. A pesar de ello, los principales grupos de investigación están nucleados en la UNC y el INTA.

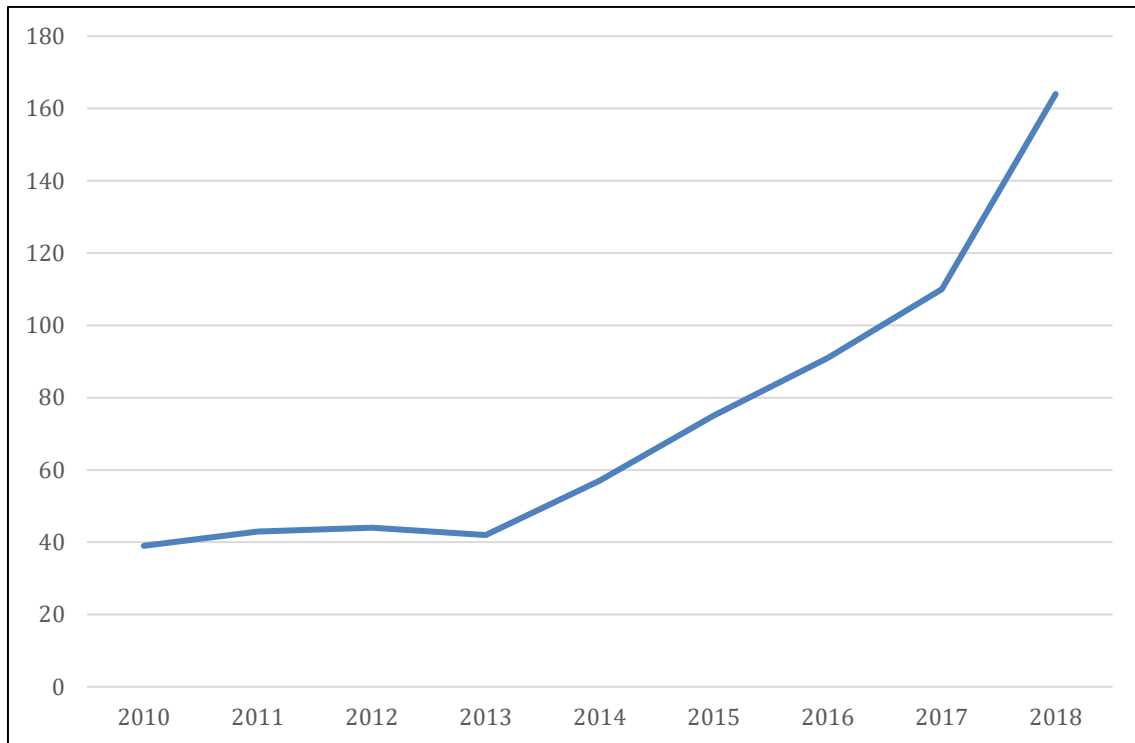
4.2. Patentes de invención

En el caso de las patentes de invención, dado que el registro de patentes busca obtener una protección amplia de la invención, no resulta sencillo distinguir las tecnologías destinadas a su utilización en la agricultura extensiva de la intensiva. Por ese motivo, en este apartado se han unido los dos temas. Se analizan también las invenciones relacionadas con las *AgTech*

en la ganadería y en la aplicación de técnicas CRISPR. En el periodo 2010-2018 no se han registrado patentes de titularidad argentina, por lo que este análisis se concentra en el patentamiento global y en los países con mayor producción de patentes.

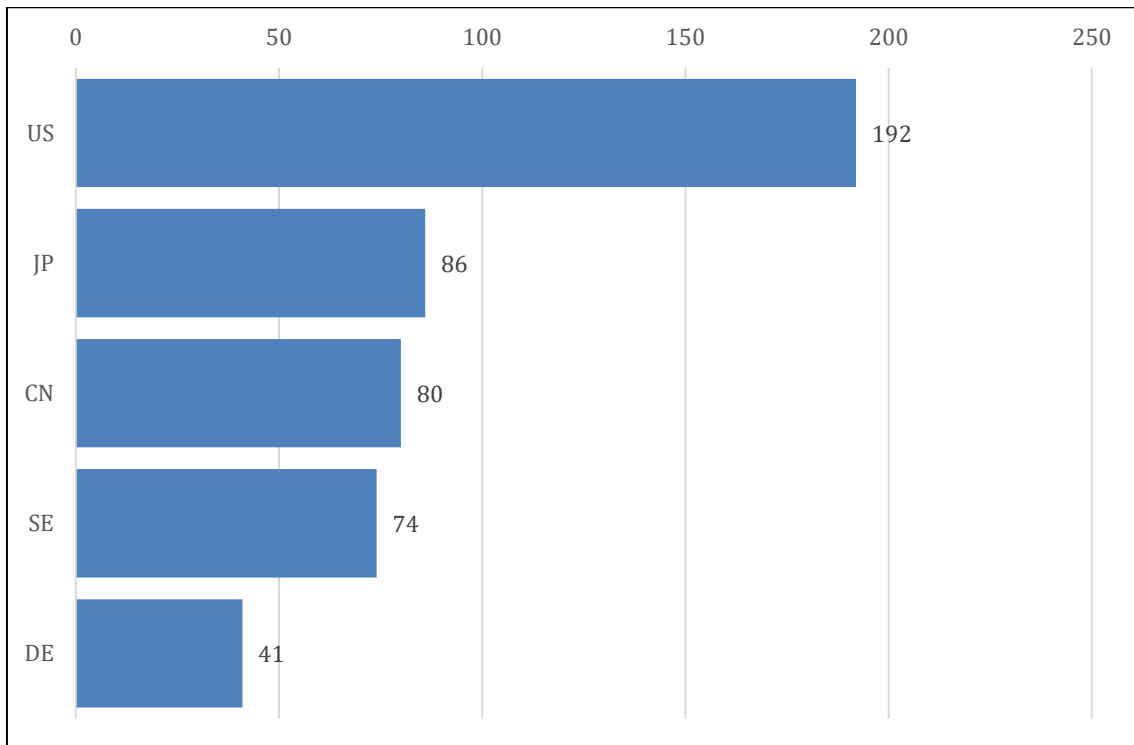
Al igual que en las publicaciones científicas, las patentes relacionadas con las *AgTech* tienen un fuerte crecimiento en los últimos años y parten de un volumen inicial muy bajo. En el caso de las tecnologías aplicadas a la agricultura, las patentes pasan de 39 en 2010 a 164 en 2018, con un marcado incremento desde 2013.

Gráfico 13. Total de patentes sobre AgTech en agricultura



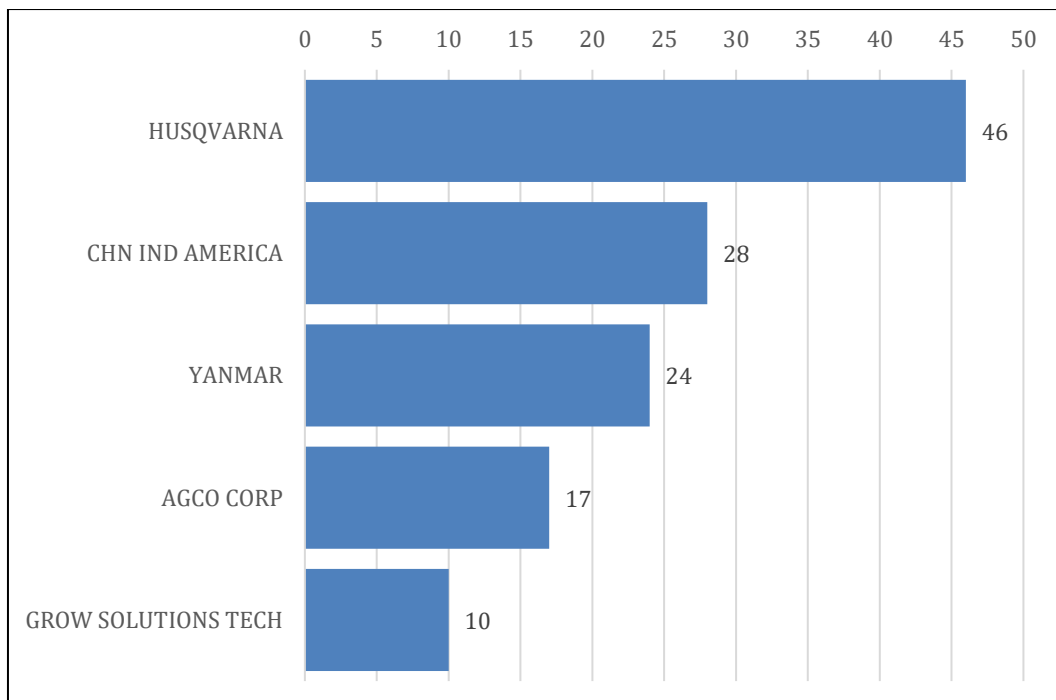
La titularidad de estas patentes se concentra en los Estados Unidos, que acumulan 192 registros en este periodo. El segundo lugar lo ocupa Japón, con 86, y el tercero China, con 80. El ranking de los cinco primeros países lo completan Suecia y Alemania.

Gráfico 14. Principales países según la titularidad de patentes sobre *AgTech* en agricultura



Las principales empresas responsables de estas patentes a nivel mundial están encabezadas por Husqvarna, empresa de origen sueco que se concentra en la producción de maquinaria agrícola y forestal, entre otros rubros industriales.

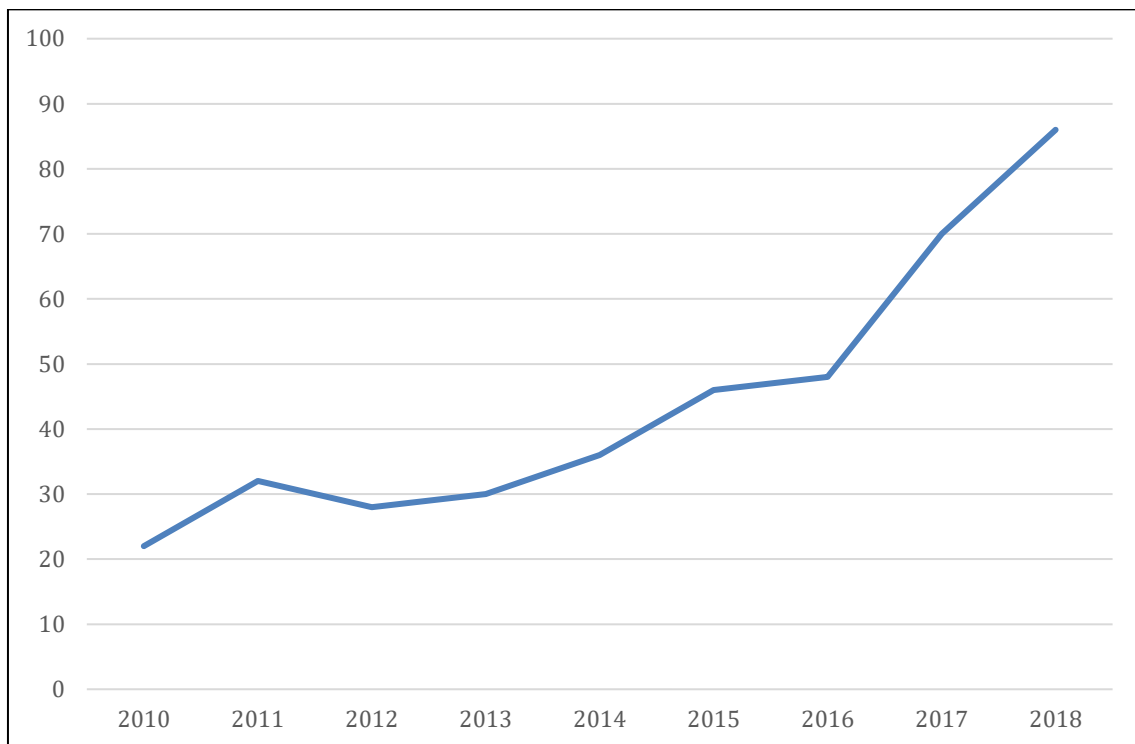
Gráfico 15. Principales titulares de patentes sobre *AgTech* en agricultura



El segundo lugar lo ocupa la empresa CHN, dueña de marcas muy representativas en el sector agrícola como Case, Steyr e Iveco. En el tercer y cuarto lugar, también en el rubro de maquinaria agrícola, aparecen la japonesa Yanmar y la estadounidense AGCO, dueña de marcas como Challenger y Massey Ferguson. En el quinto lugar aparece Grow Solutions, una empresa centrada en soluciones principalmente orientadas a la agricultura intensiva, con productos para cultivos de interiores e hidroponía.

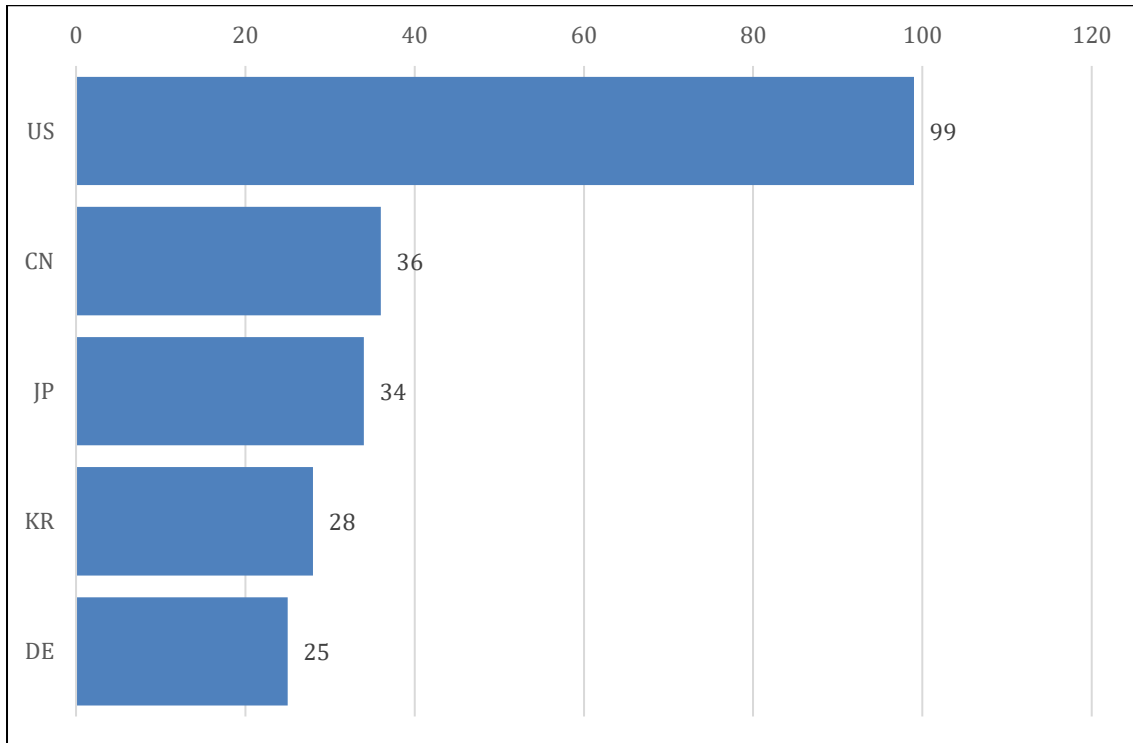
En el caso de las *AgTech* aplicadas a la ganadería, el volumen de patentamiento es menor, cercano a la mitad de las relacionadas con la agricultura, pero también con un crecimiento muy acelerado. En 2010 se registraron 22 patentes y en 2018 el número alcanzó a 86.

Gráfico 16. Total de patentes sobre *AgTech* en ganadería



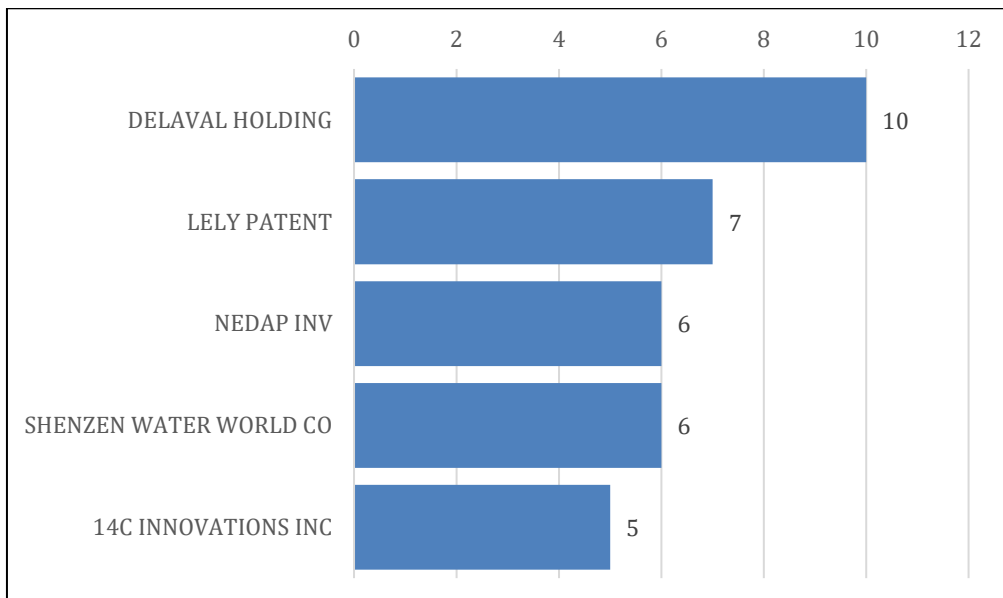
Una vez más el país con mayor cantidad de registros es Estados Unidos, que acumula 99 en ese periodo. En este caso, el segundo lugar lo ocupa China y el tercero Japón, con 36 y 34 patentes cada uno. Los cinco principales países en cuanto a cantidad de patentes se completan con Corea del Sur y Alemania.

Gráfico 17. Principales países según la titularidad de patentes sobre *AgTech* en ganadería



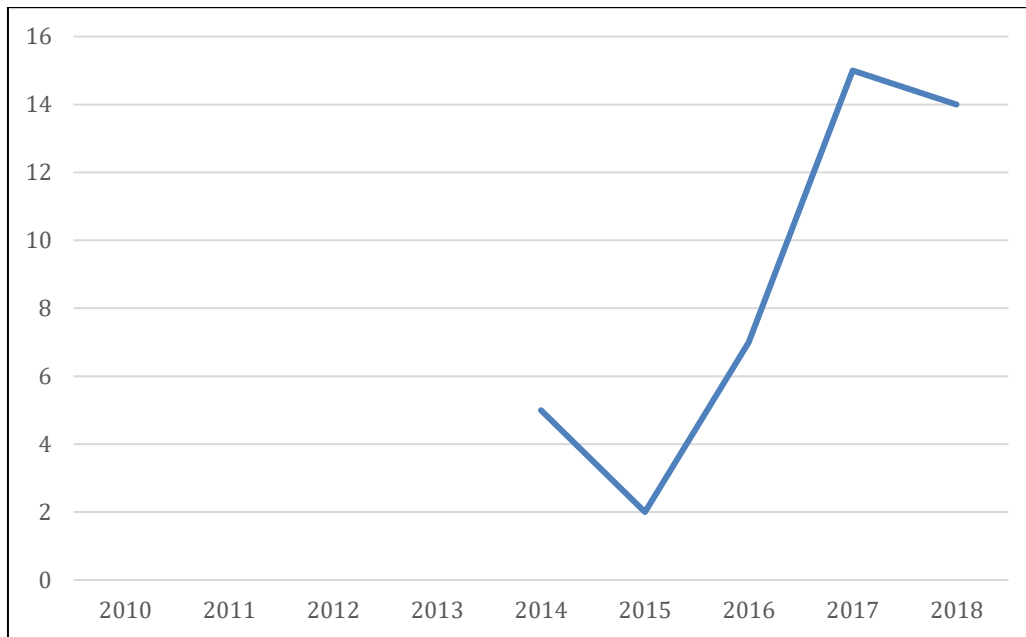
La empresa con más patentes relacionadas con las *AgTech* en la ganadería es DeLaval, una multinacional especializada en las tecnologías para la industria lechera. La segunda, Lely, también se especializa en las tecnologías aplicadas al manejo de ganado en establos, al igual que NEDAP, que ocupa el tercer lugar. La lista se completa con Shenzhen Water World y 14C, empresas relacionadas con soluciones tecnológicas portátiles y tecnologías IoT (*Internet of Things*, o “Internet de las cosas”).

Gráfico 18. Principales titulares de patentes sobre *AgTech* en ganadería



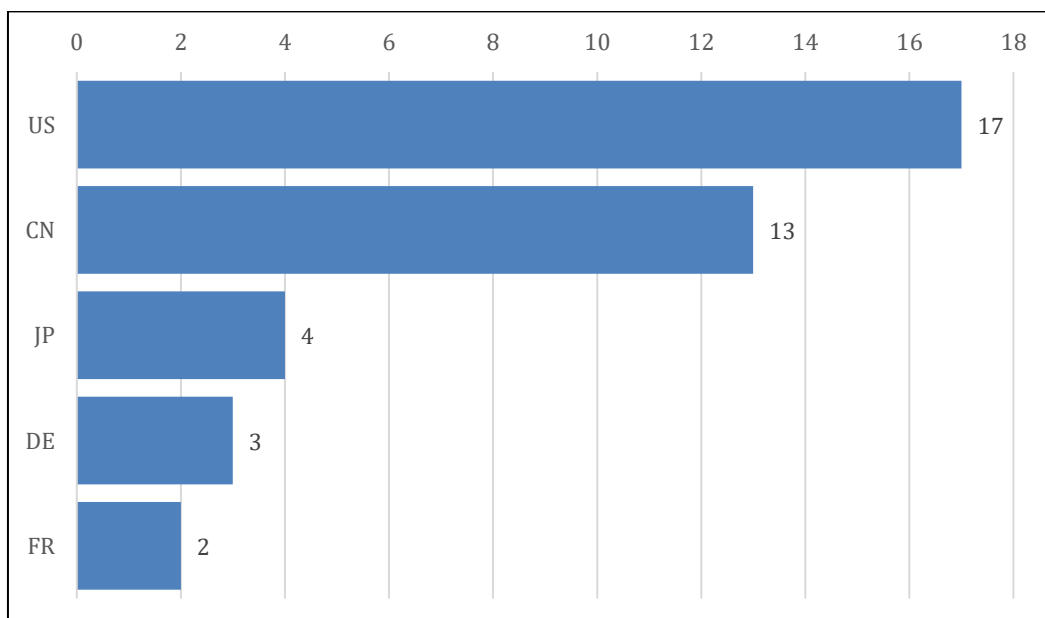
Por último, las patentes relacionadas con las tecnologías CRISPR aplicadas a la agricultura y la ganadería son aún muy pocas y comienzan a aparecer recién en 2014. El año con mayor número de registros fue 2017, con 15 patentes solicitadas.

Gráfico 19. Total de patentes sobre *AgTech* en CRISPR



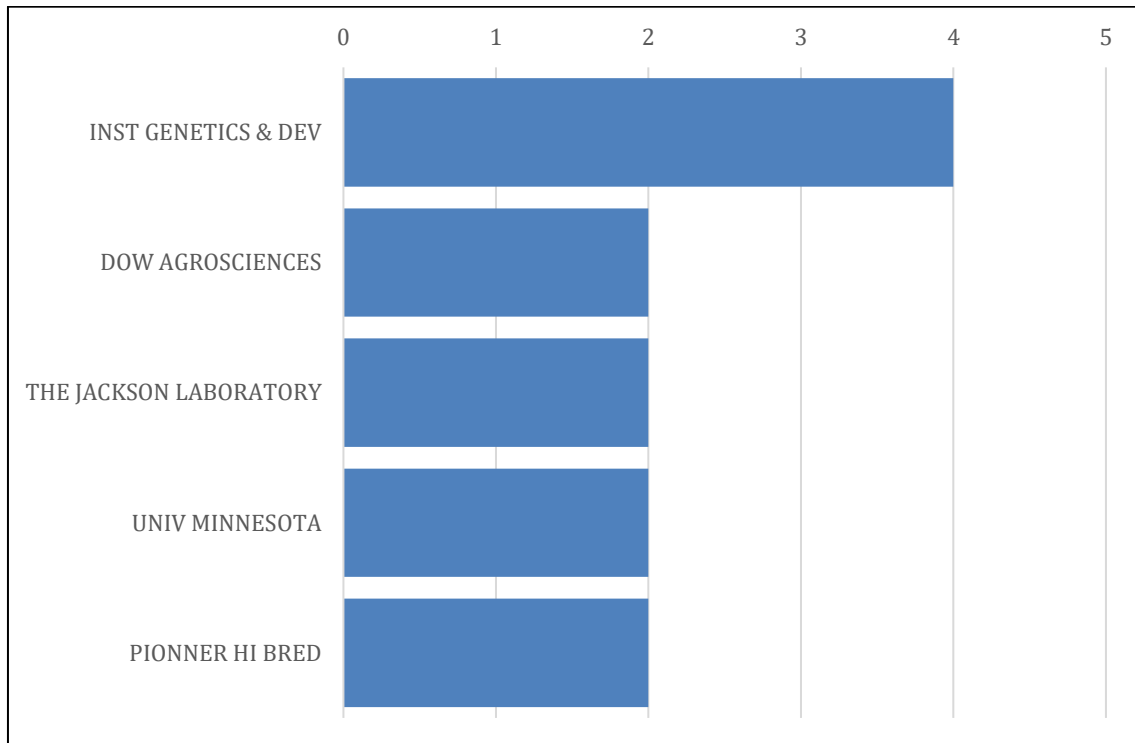
Nuevamente, el principal patentador es Estados Unidos, que acumuló desde 2014 a 2018 un total de 17 registros. En segundo lugar aparece China con 13. Con cantidades bastante menores, aparecen luego Japón, Alemania y Francia.

Gráfico 20. Principales países según la titularidad de patentes sobre *AgTech* en CRISPR



En este terreno, los centros de investigación tienen un papel mucho más relevante que en los demás temas. El principal titular de patentes en la aplicación de técnicas CRISPR al agro es el Instituto de Genética y Desarrollo Biológico de la Academia China de Ciencias. Aparecen también The Jackson Laboratory (JAX) y la Universidad de Minnesota, ambas instituciones de los Estados Unidos.

Gráfico 21. Principales titulares de patentes sobre *AgTech* en CRISPR



También cuentan con patentes en esta área la compañía Dow AgroSciences, que se especializa no sólo en productos químicos agrícolas como pesticidas, sino también en semillas y soluciones biotecnológicas, y Pioneer, el productor estadounidense de semillas, con fuerte especialización en cultivos genéticamente modificados para resistir insectos y herbicidas.

Conclusiones y recomendaciones finales

El avance de las *AgTech*, que incluyen la aplicación de las TIC en el agro, así como la masificación de las técnicas de manipulación genética de más larga data, están revolucionando la producción agropecuaria a nivel mundial. Esto se da en un contexto de intensificación de las presiones sobre las cadenas alimentarias asociadas al incremento de la población y de su capacidad adquisitiva (sobre todo en países como China), así como de demandas sociales por una producción más amigable con el medio ambiente (por ejemplo, menor utilización de agroquímicos) y de los desafíos que plantea el cambio climático.

Las tecnologías agrupadas bajo el concepto de *AgTech* buscan dar respuesta a estos desafíos, pero, como se pudo ver a lo largo de este documento, su control y adopción es aún muy desigual entre distintos países. Como ocurre con todos los cambios tecnológicos, se trata al mismo tiempo de una oportunidad para los países en desarrollo y agroexportadores, como Argentina, pero también de una amenaza en relación con los peligros de no adoptar las tecnologías a tiempo, quedar relegados en los mercados internacionales y ver acrecentada la brecha entre países desarrollados y en desarrollo.

Por esos motivos, más allá de las dinámicas propias de las empresas locales e internacionales, la adopción de las *AgTech* es también un problema de políticas públicas, tanto para el sector de producción agropecuaria como para el de ciencia y tecnología. Este tipo de políticas pueden pensarse como un tipo particular de políticas de innovación, donde la función del Estado es la de facilitar la adopción del cambio tecnológico por parte de las empresas, muchas veces con énfasis en la vinculación con el sistema de ciencia y tecnología. Esas políticas pueden organizarse en dos orientaciones generales. Por un lado, aquellas que fomentan la oferta de conocimiento y, por el otro, las que facilitan la incorporación de tecnologías por parte de las empresas que la demandan. No se trata de operar directamente sobre la oferta y la demanda, sino facilitar ciertas condiciones específicas de entorno para que estas dos, en última instancia, se dinamicen.

En primer lugar, aquellas políticas orientadas a la oferta de conocimiento apuntarían a facilitar el desarrollo de proyectos de investigación y formación de recursos humanos. Esto permitiría contar con una masa crítica de expertos a nivel local, necesaria para el desarrollo de proyectos propios y la adaptación de tecnologías originadas en el exterior al entorno local.

Una de las cuestiones observadas en este estudio es que el conocimiento sobre el desarrollo de tecnologías *AgTech* está concentrado en algunos países. En Argentina existen grupos que trabajan en estos temas, pero su nivel de desarrollo es incipiente y todavía debe consolidarse y expandirse. Sería valioso contar con mecanismos que fomenten y faciliten la suscripción de convenios y la realización de proyectos conjuntos entre instituciones de I+D locales y los principales grupos de investigación en Estados Unidos y Europa, como por ejemplo las universidades de Stanford, UC Davis, Berkeley, Iowa, Purdue, Wageningen, Bordeaux, Lyon y el Politécnico de Catalunya, entre otras.

Existen grupos de trabajo en aquellas universidades que están colaborando con el sector privado de empresas globales consagradas y *start-ups* del hemisferio norte donde se manipulan ciertas tecnologías y proyectos o circula la información y los recursos humanos más especializados en ciertas aplicaciones y que permiten, de mínima, conocer la agenda de las próximas innovaciones y acceder a cierta información clave sobre la orientación y las herramientas de esos desarrollos, y de máxima, desarrollar colaboraciones que permitan a los grupos locales dar saltos cualitativos y orientar sus esfuerzos hacia donde vean mayor potencial o mayor capacidad de complementación. Esto naturalmente ya ocurre en algunos casos con grupos de científicos argentinos, pero suele ser más obra de la capacidad y la

inquietud específica de ciertos grupos de trabajo que el resultado de una política explícita que busque expandir ese intercambio.

A nivel local, resulta importante facilitar la vinculación entre el sistema científico y tecnológico con los emprendedores. Esto puede incluir un amplio abanico de iniciativas que van desde la sensibilización hasta regímenes especiales de vinculación con centros de investigación universitarios en áreas agronómicas y de ciencias exactas. Una de las formas posibles de vincular el conocimiento con el mercado es mediante el impulso a la creación o a la participación científica en empresas *start-up* y de base tecnológica. Existen varios “casilleros vacíos” a ser llenados, pero es posible mencionar algunos aquí:

- Los mecanismos de recompensa de los investigadores para emprender no son suficientemente fuertes y muchas veces colisionan con otros aspectos de los mecanismos de evaluación, como la necesidad de publicar. Sería importante contar con mecanismos más potentes que faciliten y premien el emprendimiento como una forma de acumulación de reconocimiento científico.
- No hay suficientes vasos comunicantes para romper la brecha entre el mundo científico y el mundo empresarial. Se requiere la constitución de espacios que promuevan la relación de los científicos con el mundo emprendedor a través de proyectos sólidos, donde buenos proyectos, buenos científicos y buenos emprendedores puedan encontrarse y madurar.³ Este tipo de espacios en países del hemisferio norte funcionan bastante bien como canalizadores, validadores y financiadores de proyectos, así como para generar pruebas piloto con clientes relevantes. En el caso de Argentina, también es clave alinear las expectativas de ambos sectores —científico y emprendedor— para generar un lenguaje común donde convivan el mundo científico y la lógica capitalista, y de esta manera enfocar proyectos para generar *start-ups*, al mismo tiempo que financiándolas y conectándolas con los espacios consagrados de inversores y clientes internacionales. Existen también casos de aceleradoras que no tienen éxito por diversas razones, y esto también es clave para saber lo que no hay que hacer.
- Otra de las carencias a nivel nacional es la falta de consolidación de un mercado de capital de riesgo. Su ausencia hace muy complejo que las nuevas empresas alcancen a consolidarse, por más que cuenten con ideas innovadoras y buenos mercados potenciales. Esto termina muchas veces en financiamientos “enanos” —que no alcanzan a cubrir el ciclo completo de desarrollo de un producto— o actitudes predatorias por parte de algunos inversores locales —ya sea por desconocimiento de la lógica de crecimiento de las *start-ups* o por malas prácticas— que terminan conspirando contra la financiabilidad futura de tales compañías. Asimismo, para facilitar la proyección de estas empresas, sería importante contar con mecanismos de apoyo a modelos basados en exportación y transnacionalización de servicios, procesos cuya complejidad puede resultar en una barrera infranqueable para muchas *start-ups*.

En cuanto a las políticas orientadas a fomentar la demanda y la adopción de *AgTech*, se trata de liberar restricciones a la adopción de innovaciones por parte del sector agropecuario, con el objetivo de contribuir a la mejora de su competitividad y al mismo tiempo generar un impacto

³ Un caso de éxito, que podría tomarse como modelo en varios niveles, es el de la aceleradora Grid Exponential (o GridX), una organización que opera en Argentina como aceleradora de proyectos y como fondo de inversiones, que tiene financiamiento del sector privado —y más recientemente también del sector público— y que opera en el área de biotecnología generando proyectos de tipo *company building* al reunir a científicos y graduados de MBA alrededor de proyectos específicos que buscan resolver desafíos de alto impacto global, por medio de la creación de empresas biotecnológicas.

sobre la demanda de tecnologías aplicadas al agro. Algunos factores que restringen la adopción de *AgTech* son fruto de la relación privada entre oferta y demanda (madurez de la oferta para comprender los *drivers* de adopción de la demanda, sensibilidad intrínseca de la demanda debido a factores evolutivos o culturales). Otros son resultado de factores accionables desde una política pública que opere sobre las condiciones de entorno que facilitan o limitan la adopción.

Un aspecto ineludible y que excede la capacidad de una política pública focalizada es el esquema de incentivos (explícito o implícito) que tienen las empresas agropecuarias para invertir en tecnología, y allí recalcan desde aspectos tributarios y macroeconómicos que impactan en el “modelo de negocios” efectivo de cada productor o empresa agropecuaria, hasta cuestiones de infraestructura y acceso a servicios —que en el campo es crítico— que permiten o no el despliegue de cierta capa de tecnologías; también dificultades de acceso al financiamiento para este tipo de inversiones “blandas” y, por último, ciertas legislaciones locales o provinciales sobre diferentes aspectos puntuales que impactan en la producción y que son ejecutadas con un criterio normativo en lugar de un criterio de desempeño, lo que restringe también la búsqueda de nuevas soluciones para determinados problemas.

A nivel tributario el sector agropecuario argentino no suele ser “premiado” sino “castigado” con una estructura tributaria que genera transferencias directas de ingresos para resolver inconsistencias macroeconómicas, dada su relevancia como generador de divisas. Al mismo tiempo, la presencia de inconsistencias en la estructura de otros impuestos muchas veces condiciona más el éxito de su negocio, que cualquier tipo de innovación que se pueda adoptar. Todo este cóctel de medidas, usualmente no concertadas bajo una lógica específica, desalienta la adopción de innovaciones “digitales” y promueven una dedicación relevante de energía y tiempo a resolver cuestiones financieras y tributarias, que tienen muchas veces mayor impacto que, para poner un ejemplo, un aumento del 10% en el rendimiento por hectárea de un cultivo.

Paradójicamente, este mismo estado de “defensa permanente” por parte de la producción argentina genera que a nivel productivo los productores se concentren en estrategias defensivas, con mayor propensión a adoptar tecnologías operativas para reducir costos medibles de inmediato, ya que el resultado de la compra de insumos y la realización de labores tiene impactos (costos tributarios y riesgos) prolongados más allá del costo operativo directo. Existen incentivos orientados a depender menos de insumos, del uso de mano de obra y de la inversión en instalaciones fijas de alto costo y poco flexibles, factor que contribuyó, por ejemplo, a la difusión de la silo-bolsa como mecanismo de almacenamiento en detrimento de silos metálicos.

Otro aspecto que se insinuó al principio está relacionado con la infraestructura, y aquí un aspecto clave es la conectividad, en la medida en que se generan nuevas aplicaciones y su utilización depende de la existencia de infraestructura que permita la circulación de los datos en áreas rurales. Lo remoto de algunas zonas conspira en muchos casos contra la adopción de ciertas tecnologías que resuelven determinados problemas, pero no consiguen resolver la “capa” de conectividad, o se entorpece derivando en soluciones alternativas que no siempre son cómodas para el productor.

El acceso al financiamiento es una variable clave que en el cuadro argentino tiene muchas dificultades, ya que la oferta de crédito está sesgada siempre hacia inversiones más tangibles y tiene muchas precondiciones que, en una enorme cantidad de casos, los productores no cumplen. Las *AgTech* parecen no estar en la agenda de los agentes financiadores, lo que se vuelve una restricción que opera sobre la capacidad de los productores de invertir en estas tecnologías.

Por último, la regulación en distintos niveles también es un aspecto que favorece o limita la adopción de tecnologías en la medida que exista un marco legal consistente o regulaciones arbitrarias sobre ciertos aspectos de la producción. En particular, hay un tipo de regulaciones que operan a nivel local o provincial que, en función del enfoque “filosófico” de implementación, pueden contribuir o impedir que ciertas tecnologías se desarrollen. Este cuadro de situación abre varias oportunidades de tocar ciertos “puntos sensibles” que permitan, bajo el supuesto de que el esquema general de incentivos no cambie, traccionar la adopción de innovaciones digitales.

Por un lado, a nivel tributario, se puede trabajar en generar mecanismos de descuentos impositivos sobre aquellas inversiones que vayan a tecnologías “blandas”, como las de las tecnologías de información, proveyendo de alguna lógica funcional y de recupero a toda la complejidad tributaria, sin entrar en la discusión sobre los grandes temas de impuestos, o independientemente de cuál sea la tasa en cada caso.

En cuanto a la infraestructura, especialmente en lo concerniente a la conectividad rural, existe un problema de demanda para la inversión privada en antenas de 4G o para la inversión en fibra óptica que permita que más empresas productoras accedan a Wifi. Aquí, a menos que el sector público decida una fuerte inversión compartida con el sector privado en mayor conectividad, con el objetivo de “iluminar” zonas donde la inversión privada no encuentra un retorno a la inversión evidente, las soluciones deberán ser caso a caso, pero existen distintas herramientas que hoy en día pueden ser utilizadas en sistemas de “cascada” para llegar a lugares desde menos a más remotos: ya existen tecnologías de redes privadas de largo alcance y menor frecuencia (las conocidas como “SubGiga”, por ejemplo: LoRa o Zigbee) sobre las que podría facilitarse su difusión, así como también podrían facilitarse las conexiones satelitales para abaratar el acceso, subvencionando parte del costo, en el entendimiento de que generarán externalidades positivas e incluso una demanda genuina, una vez que se alcance determinada masa crítica de conexiones.

El acceso al financiamiento para este tipo de tecnologías es una deuda pendiente que también restringe la demanda. Se podrían generar instrumentos de crédito enfocados en este tipo de tecnologías con tasas subvencionadas, así como se podría tomar la inversión directa o la reducción de algunos factores productivos de eficiencia o rentabilidad como valores sobre los cuales agencias provinciales puedan salir como garantes de créditos para este tipo de inversiones.

Por otra parte, y también con el criterio de resolver aspectos “defensivos” sobre los cuales la producción tiene una fuerte sensibilidad, se puede concientizar y alinear esfuerzos orientados a eliminar o reducir factores de riesgo sanitario o costo fitosanitario en distintas áreas del sector agropecuario que son estratégicas, ya que tienen un impacto ambiental relevante o un impacto productivo de gran escala. Su solución, además de un beneficio para el productor individual, genera activos semipúblicos para el conjunto de la producción. Por ejemplo: el uso de agroquímicos en cultivos para combatir malezas, insectos u hongos; el uso de medicamentos veterinarios en animales cuya sobredosificación genera resistencias; enfermedades de gran escala —como el HLB en cítricos— que requieren de detección temprana; o incluso ciertos tipos de eventos climáticos que irrumpen en la producción: heladas, exceso de lluvias, sequías. Todos estos problemas tienen impactos directos en el costo operativo del productor y en su riesgo empresarial, así como en el riesgo ambiental de una cierta región. Para estos casos, se podrían diseñar e implementar campañas especiales de identificación de tecnologías, definir áreas preferenciales de financiamiento para empresas o centros de investigación que operen dentro de estas áreas estratégicas, así como generar grupos de prueba para una adopción rápida entre los productores a través de redes tipo CREA, o de otro tipo.

Facilitar estos procesos de adopción de tecnología implica también un trabajo sobre los marcos regulatorios. Sería valioso contar con una legislación de desempeño (por oposición a legislación indicativa) en áreas regulatorias clave para incentivar soluciones basadas en innovación, de acuerdo con ciertos parámetros técnicos específicos. En lo que se refiere al uso de agroquímicos, que genera problemas a nivel municipal por los límites de aplicación en ciudades o pueblos rurales, en lugar de distancias de no aplicación podrían definirse parámetros medibles de pureza de aire y de presencia de químicos del suelo para que se garanticen condiciones que no sean dañinas para la población. Esto puede promover no solamente una solución a la discusión permanente sobre los excesos de los actores privados o del Estado como regulador (o de los ciudadanos como denunciante), sino también habilitar un mercado de desarrollo de sensores o servicios de monitoreo y de muestreos que permitan controlar con parámetros más certeros cuestiones donde se cruzan lo privado y lo público en relación con las *AgTech*.

La incorporación de este tipo de medidas de desempeño, en lugar de medidas normativas, podría facilitar la incorporación de tecnología a la producción agropecuaria argentina y mejorar la productividad y competitividad de un sector clave para la economía local.

Anexo. Fuentes de datos y estrategias de búsqueda

Para el análisis de publicaciones científicas se recurrió a la base de datos SCOPUS, que recoge los documentos publicados en más de 20.000 revistas de la corriente principal de la ciencia internacional. Se ha seguido la división de las tecnologías con aplicación en el sector agropecuario propuesta en este documento: agricultura extensiva, agricultura intensiva y ganadería. Por el volumen que presenta en términos de investigación y por la dificultad de separar su aplicación en agricultura y ganadería, las publicaciones relacionadas con técnicas CRISPR se han abordado por separado.

Las estrategias de búsqueda, presentadas a continuación, estuvieron basadas en la combinación de palabras clave. En el caso de CRISPR se combinó con la disciplina "Ciencias agrícolas".

- *Agricultura extensiva*: ("smart farming" OR "smart agriculture" OR "agriculture 4.0" OR "digital agriculture" OR "extensive agriculture") AND ("artificial intelligence" OR "machine learning" OR "deep learning" OR "cloud computing" OR mechatronic OR "auto pilot" OR "variable rate" OR "VRT" OR "Variable rate seeding" OR "GPS" OR "satellite image" OR "GIS" OR "sensor" OR "big data" OR "internet of things" OR "IOT" OR "M2M" OR blockchain OR robotics OR "Cognitive computing")
- *Agricultura intensiva*: ("precision agriculture" OR "indoor farms") AND ("Environmental control" OR "Variable Rate Technology" OR "VRT" OR "Variable rate seeding" OR "Crop simulation" OR "hydroponics" OR "artificial intelligence" OR "machine learning" OR "deep learning" OR "cloud computing" OR "mechatronic" OR "sensor" OR "big data" OR "internet of things" OR "IOT" OR "M2M" OR "blockchain" OR "robotics" OR "cognitive computing")
- *Ganadería*: ("smart breeding" OR "feedlot" OR "animal husbandry") AND ("RFID" OR "UHF" OR "RFID" OR "LF" OR "virtual fence" OR "virtual fencing" OR "artificial intelligence" OR "machine learning" OR "deep learning" OR "cloud computing" OR GPS OR sensor OR "big data" OR "internet of things" OR "IOT" OR "M2M" OR "blockchain" OR "Cognitive computing")
- *CRISPR*: ("CRISPR") AND (LIMIT-TO (SUBJAREA , "AGRI"))

Para las patentes se utilizó la base de datos del Convenio PCT de la Organización Mundial de la Propiedad Intelectual (OMPI). Para la delimitación de los temas se recurrió a combinaciones de palabras clave y a códigos de clasificación IPC, que sitúan las patentes en distintos campos de aplicación industrial.

Por las características de los documentos de patentes y las múltiples aplicaciones de las invenciones, no fue posible desagregar la agricultura en extensiva e intensiva y, por lo tanto, se las trató como si fueran un mismo tema. La ganadería y las tecnologías CRISPR se han trabajado por separado, al igual que con las publicaciones científicas. Las estrategias de búsqueda se detallan a continuación.

- *Agricultura*: (ipc.keyword :A01K* or ipc.keyword :A01L* OR ipc.keyword :A01M* or ipc.keyword :A01N* OR ipc.keyword :A01P*) AND ("Environmental control" OR "Variable Rate Technology" OR "VRT" OR "Variable rate seeding" OR "Crop simulation" OR "hydroponics" OR "artificial intelligence" OR "machine learning" OR "deep learning" OR "cloud computing" OR "mechatronic" OR "sensor" OR "big data" OR "internet of things" OR "IOT" OR "M2M" OR "blockchain" OR "robotics" OR "cognitive computing" OR "auto pilot")

OR "GPS" OR "satellite image" OR "GIS" OR "sensor" OR "big data" OR "internet of things"
OR "IOT" OR "M2M" OR blockchain OR robotics OR "Cognitive computing")

- *Ganadería*: (ipc.keyword :A01A* or ipc.keyword :A01B* OR ipc.keyword :A01C* or ipc.keyword :A01D* OR ipc.keyword :A01F* or ipc.keyword :A01G* OR ipc.keyword :A01H* or ipc.keyword :A01J*) AND ("RFID" OR "UHF" OR "RFID" OR "LF" OR "virtual fence" OR "virtual fencing" OR "artificial intelligence" OR "machine learning" OR "deep learning" OR "cloud computing" OR GPS OR sensor OR "big data" OR "internet of things" OR "IOT" OR "M2M" OR "blockchain" OR "Cognitive computing")
- *CRISPR*: (ipc.keyword :A01* and crispr)

Bibliografía

BARBER, G. (2019): "A More Humane Livestock Industry, Brought to You by CRISPR", *Wired Review*, 19 de marzo.

CB INSIGHTS (2017): "Cultivating Agtech. Examining how the agriculture industry is being reshaped by technology", noviembre. Disponible en: <https://www.cbinsights.com/research/agtech-startup-investor-funding-trends/>.

CEPAL (1995): "Sistemas de Innovación Agrícola en América Latina y el Caribe", LC/R.1605, Unidad de Desarrollo Agrícola, División de Desarrollo Productivo y Empresarial, 29 de diciembre.

DABERKOW, S. G. y MCBRIDE, W. D. (1999): "Adoption of precision agriculture technologies by US corn producers", *Precision agriculture*, pp. 1821-1831.

DAY, S. (2019): "AgTech Landscape 2019: 1,600+ Startups Innovating on the Farm and in the 'Messy Middle', Better Food Ventures", *Ag Funder News*, 4 de junio. Disponible en: <https://agfundernews.com/2019-06-04-agtech-landscape-2019-1600-startups.html>.

FAO (1996): "Lessons from the Green Revolution: towards a new green revolution", documento técnico, World Food Summit, 13-17 de diciembre, Roma.

FINISTERE VENTURES (2018): *Agtech Investment Review*, enero.

GOEDDE, L., HORII, M. y SANGHVI, S. (2015): *Pursuing the global opportunity in food agribusiness, Chemicals and Agriculture*, McKinsey & Company.

KLÜMPER, W. y QAIM, M. (2014): "A Meta-Analysis of the Impacts of Genetically Modified Crops", *PLoS ONE*, vol. 9, nº 11, e111629.

RODRIGUEZ, E. (2018): "Agrifood — the \$8 trillion industry that's worth your salt", *Techcrunch*, noviembre. Disponible en: <https://techcrunch.com/2018/11/01/agrifood-the-8trn-industry-thats-worth-your-salt/>.

ROTZ, A., ASEM-HIABLIE, S., PLACE, S. y THOMA, G. (2019): "Environmental footprints of beef cattle production in the United States", *Agricultural Systems*, vol. 169, Elsevier, febrero, pp. 1-13.

SCHIMMELPFENNIG, D. (2016): "Farm Profits and Adoption of Precision Agriculture", *Economic Research Report*, nº 217, USDA.

TEMPLE, J. (2018): "Seaweed could make cows burp less methane and cut their carbon hoofprint", *MIT Technology Review*, 23 de noviembre. Disponible en: <https://www.technologyreview.com/s/612452/how-seaweed-could-shrink-livestocks-global-carbon-hoofprint/>.

