

Agricultura inteligente: innovación en el territorio¹

Analia S. Conte

Existe en la actualidad, un consenso generalizado respecto a la vigencia de una fase de aceleración histórica, fundada en la innovación tecnológica y en los cambios rápidos y profundos que ocasiona en casi todos los aspectos de la vida humana sobre la Tierra. Si bien se desconocen en cierta forma sus efectos precisos, hay acuerdos generales respecto de los cambios cualitativos que se introducen en las formas de producir, consumir o gestionar nuestras propias vidas y la del mundo en que vivimos.

El desarrollo de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (TICs) está cambiando las reglas sociales y económicas afectando el propio desarrollo de la humanidad. Hay francas evidencias respecto a que estamos entrando a una cuarta fase de la Revolución Industrial, iniciada a fines del siglo XVIII. La digitalización creciente de la economía y la sociedad constituye la fuerza impulsora del desarrollo de la esa denominada cuarta Revolución Industrial (4.0). Un planteo se hace evidente: asistimos a una cuarta etapa de la Revolución Industrial o a la Primera Revolución Digital y con ella, a lo que ha dado en llamarse agricultura 4.0 o agricultura inteligente. Hay quienes la denominan también, Segunda Revolución Verde.

Los líderes de la agricultura 4.0 o agricultura “inteligente” proponen un futuro en donde la tecnología solucione los problemas del hambre, optimizando y haciendo más eficiente la forma en que producimos alimentos.

En el entorno de esta incipiente Cuarta Revolución Industrial convergen tecnologías de la información y las comunicaciones que permiten enlaces digitales de la información que une fábricas, productos y usuarios. Así, tecnologías consolidadas como la manufactura integrada por computadora y la automatización junto con la robótica avanzada y colaborativa, robots autónomos, *Smart manufacturing*, inteligencia artificial, el análisis de datos *Big Data*, Web 2.0, Internet de las cosas, tecnologías 4G y 5G, comunicaciones móviles, computación en la nube, comunicación máquina a máquina, plataformas sociales, impresión 3D, realidad aumentada, simulación computacional y seguridad cibernética.

En este trabajo procuraremos analizar el impacto de la innovación tecnológica en la evolución reciente y la situación actual de la agricultura en el mundo y en la Argentina, en la que actúan diversas fuerzas que constituyen un entramado complejo. En este proceso están implicados la innovación, el sistema productivo y el territorio, por lo que la Geografía es fundamental para su interpretación.

Definiciones conceptuales

Resulta necesario situar con precisión el marco conceptual en que se encuadra la problemática, es decir, la innovación general de la agricultura en el mundo y en particular en la Argentina.

El punto de partida indispensable es definir acertadamente los términos que serán utilizados. Una primera definición necesaria, es la referente al concepto de tecnología que definiremos como todo conocimiento transmisible y aplicable, de forma sistemática, a la transformación del medio y a la producción de bienes y servicios.

En segundo lugar y en relación con la tecnología es preciso definir la innovación, que es la aplicación de nuevos conocimientos o invenciones para mejorar o modificar los procesos

¹ Conte, A. S. Agricultura inteligente: innovación en el territorio. *Contribuciones Científicas. GAEA 32, Buenos Aires, 2020*

productivos en la obtención de nuevos bienes. Afecta al funcionamiento del sistema productivo mejorando, en principio, su eficiencia y calidad.

En la evolución de las teorías relativas a la innovación y el desarrollo territorial en primer lugar encontramos las de orientación neoschumpeteriana que desde inicios de los años 70 centraron la atención en la empresa innovadora. En esta perspectiva, el territorio es un sujeto pasivo, apenas algunas de sus características aparecen en forma marginal (recursos naturales, humanos, infraestructura, etc.)

Más tarde aparece una tendencia que entiende que la innovación en las empresas es en gran medida resultado de un entorno territorial (social, económico, cultural) con características específicas, por lo que se repara en las condiciones internas de los lugares en que se emplazan las empresas de innovación.

En los últimos años la propuesta surgida de la llamada economía del conocimiento y trasladada al plano territorial con conceptos como región inteligente, *learning región* o territorios que aprenden, ligados al protagonismo del conocimiento y aprendizaje colectivo como recursos específicos, es la que parece haber alcanzado mayor difusión.

El grupo francés sobre *Dinámicas de proximidad* (Gilly y Torre, 2000) centra su atención en la importancia ejercida por la proximidad física, funcional y cultural en la creación de redes para la transmisión de saberes tácitos, no formalizados que son esenciales para la generación y difusión de innovaciones.

Finalmente, los estudios sobre *Sistemas Nacionales y Regionales de Innovación* (Lundvall y Jhonson 1994 y Cooke y Morgan, 1998) proponen una visión integrada de los procesos de innovación en los que participan actores diversos. Los que producen y transmiten conocimiento a quienes lo utilizan, así como también una serie de instituciones e infraestructuras que regulan ese flujo.

Según Méndez (2002), caracterizar un territorio innovador desde una perspectiva geográfica implica aspectos diversos:

- La creación de un cierto clima social donde se percibe la movilización a favor del desarrollo local.
- La existencia de redes inmateriales, entendidas como las relaciones que se establecen entre territorios, individuos, empresas o grupos sociales, que intercambian información, conocimientos o decisiones utilizando como soporte principal las telecomunicaciones, junto a otros medios convencionales.
- La presencia de unas instituciones públicas, locales y regionales que adoptan una actitud protagonista en apoyo de la innovación y el desarrollo territorial mediante la generación de iniciativas propias, la negociación de acuerdos con instancias públicas o privadas al mismo tiempo que la participación de la sociedad civil en los procesos de información.

El territorio no es solamente una plataforma física o natural, sino también una construcción social, donde a partir de más dotaciones iniciales variables, algunas sociedades son capaces de generar un contexto progresivamente favorable a la innovación y al desarrollo mediante la movilización de iniciativas.

Las alusiones a la existencia de territorios con proyecto, que piensan el futuro, territorios que aprenden, etc. son otras tantas metáforas que se sustentan en la capacidad de los actores para movilizar los recursos del área, mejorar su inserción en el exterior y ofrecer respuestas innovadoras.

En el caso particular de la agricultura en la Argentina es de capital importancia destacar la existencia de redes inmateriales, entendidas como las relaciones que se establecen entre territorios, individuos, empresas o grupos sociales, que intercambian información, conocimientos o decisiones, utilizando como soporte redes materiales o técnicas, constituidas por las infraestructuras del transporte y otros medios de comunicación más recientes.

Las posibilidades que hoy ofrecen las nuevas tecnologías de información y comunicación para organizar redes virtuales espacialmente dispersas, se pone de manifiesto en la importancia de esa proximidad geográfica para realizar transferencia personalizada de conocimientos tácitos, no formalizados. Al decir de Loyer y Tellier (2001), esos conocimientos van ligados al saber hacer de los individuos, se adquieren por experiencia de trabajo en común, son difícilmente codificables, exigen cierto grado de confianza y son de especial importancia en las fases iniciales del proceso innovador o para responder a cambios rápidos del entorno.

Sin lugar a dudas, en el marco de la expansión de la agricultura en la Argentina, existe una variada literatura y evidencia empírica suficiente que sugiere que el crecimiento de la productividad de esta actividad puede extenderse hacia los sectores procesadores de alimentos y la economía en su conjunto, a pesar de que durante mucho tiempo se supuso que la ventaja comparativa de la actividad agropecuaria solo podía generar procesos de bajo crecimiento y subdesarrollo. Buena parte de la explicación por la que pudo darse por equivocada esta afirmación es la implementación de una serie de innovaciones tecnológicas procedentes de descubrimientos en ingeniería, agroquímicos y biología que concluyen por aumentar la productividad agrícola.

La integración del sector primario con el agroindustrial y, la de ambos, con los mercados mundiales, es un buen ejemplo de la incorporación de tecnologías e insumos intensivos en conocimiento, aplicados al proceso productivo agrícola.

Los procesos que generan la innovación no surgen de la nada sino que tienen lugar en un contexto socioeconómico determinado, con condiciones propicias para su generación. Estos sistemas de innovación comprenden un espacio de entendimiento amplio que abarca distintos ámbitos de la investigación, la extensión y las demás funciones que promueven o implementen la innovación.

Las consecuencias económicas de la incorporación de innovaciones tecnológicas en la agricultura de la Argentina pueden observarse a través de muy distintos indicadores. Uno de ellos, quizás el más representativo, es el aumento de la producción. Los cinco cultivos extensivos más importantes de la agricultura argentina: trigo, maíz, soja, girasol y sorgo pasaron de 21.000.000 de toneladas de producción en 1970, a 132.000.000 toneladas en 2020.

Los principales componentes del paquete tecnológico que facilitaron el proceso de difusión de la agricultura fueron en primer lugar la siembra directa, la soja RR, herbicidas, ajustes de sembradoras y pulverizadoras, agricultura de precisión, etc.

Hasta la aparición de la siembra directa, el sistema de producción predominante en la región Pampeana se basaba en la rotación de siete años es decir dos años de maíz, uno de trigo y cuatro de pasturas, las que permitían recuperar la fertilidad y estructura natural de los suelos. La agricultura que se había intensificado con la mecanización en los años 60 y la introducción de la soja en los 70 fue evolucionando hacia el monocultivo de soja lo que terminó reemplazando las rotaciones, por el monocultivo de soja o de soja-trigo que trajo como consecuencia la compactación de los suelos e incluso problemas de erosión hídrica. En este ambiente, hacia mediados de la década de 1980, la *siembra directa* apareció como respuesta técnica al problema de degradación de los suelos laboreados y erosionados de la región Pampeana y su amplia difusión respondió fundamentalmente, a razones económicas como la reducción en el uso de combustibles fósiles y a su simplicidad operativa. Esta es una técnica basada en el cultivo de la tierra, sin arado previo. De esta forma no se remueven los rastrojos de los cultivos anteriores lo que permite asegurar una cobertura permanente del suelo y mejorar las condiciones físicas, químicas y biológicas del recurso.

La adopción de esta nueva tecnología no fue solo agronómica sino también sociocultural ya que venía a transformar radicalmente el sistema de cultivo previo en sus modalidades de siembra, manejo de malezas, fertilización, etc. Para intensificar los procesos de aprendizaje fue necesario que múltiples integrantes de instituciones públicas y privadas, establecieran relaciones de

cooperación para crear un clima de confianza e incluso una cultura solidaria, que fue de capital importancia para que personas e instituciones pudieran alcanzar la concertación necesaria.

El éxito de la siembra directa en la Argentina resulta de la convergencia de los intereses de los involucrados. Desde el punto de vista del productor, representaba una solución a determinadas demandas agronómicas; para las empresas de agroquímicos significaba la oportunidad de potenciar su mercado; los fabricantes de maquinaria también vieron la ocasión de expandir sus ventas desarrollando equipos que permitieran sembrar sobre rastrojos y sin remoción del suelo. Por otra parte, socialmente, la siembra directa representaba una solución al costo ambiental que producía la labranza convencional en forma de erosión.

Si bien la misma historia de la agricultura es ejemplo de un variado suceso de pequeñas y grandes innovaciones, la siembra directa en la Argentina resulta un muy buen modelo de innovación en el sentido de ser una idea que transforma la realidad, beneficia a muchas personas y además de incorporarse a la vida cotidiana, tiene éxito en el mercado. Es un hito, que, unido a otras innovaciones, permitió generar beneficios que se observan a partir del aumento de la competitividad de los distintos cultivos.

En conclusión, los aportes teóricos de los últimos años destacan la importancia del conocimiento y de los procesos de aprendizaje como recursos específicos de los territorios y de la innovación como estrategia en respuesta a los retos del mundo actual. El gran salto en la adopción que ocurre en los 90, responde a la acumulación de conocimiento basado en la investigación y experimentación por una parte, a la baja del precio de los agroquímicos de acción total (glifosato), por la otra; a la articulación comunicacional que se produce entre las organizaciones tecnológicas de productores y el INTA² y al desarrollo de sembradoras adaptadas tanto para la implantación de cultivos de verano (maíz, soja) como de invierno (trigo), lo que permitía mantener la continuidad del sistema sin necesidad de volver a roturar el suelo.

La Argentina es un país donde la agricultura constituye una de las bases de su economía y la producción de alimentos agropecuarios uno de los puntales de sus exportaciones, pero además, sabe introducir innovaciones “ambientalmente amigables”³ y hay prueba de ello.

La revolución tecnológica de la siembra directa no solo alcanzó al productor -aumentando su competitividad- y a la sociedad -por sus beneficios ambientales-, sino que generó externalidades como el desarrollo de una industria de maquinaria agrícola local, que aportó las sembradoras y las pulverizadoras necesarias para llevar adelante la práctica.

La creación del INTA se vio acompañada casi en simultáneo con el nacimiento de los Consorcios Regionales de Experimentación Agrícola (CREA), una iniciativa privada inspirada en el modelo de desarrollo y difusión tecnológico de los agricultores franceses.

Los CREA, nucleados en una organización de segundo grado (la Asociación Argentina de Consorcios Regionales de Experimentación Agrícola - AACREA), junto con la Asociación Argentina de Productores en Siembra Directa (AAPRESID), surgida a fines de los 80 para difundir

²Iniciado el Siglo XXI, el INTA, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, que había sido fundado en 1956 e impulsado una serie de avances tecnológicos en el campo argentino, se convirtió en embajador de la tecnología agrícola argentina, difundiéndola en todo el mundo. En colaboración con cámaras de maquinaria agrícola, las organizaciones técnicas de productores, gobiernos provinciales y otros organismos públicos, el Ministerio de Agricultura Ganadería y Pesca a través del INTA, difundió el paquete tecnológico de la agricultura extensiva en regiones tan disímiles como el Mar Negro, Sudáfrica o Venezuela.

³Al decir de Eduardo Trigo (2002) el impacto más importante de la difusión de la siembra directa y su interacción con la introducción de la soja transgénica, es el carácter de “intensificación virtuosa” (o ambientalmente amigable), que le ha conferido al proceso el cambio tecnológico que ocurrió en esos años.

la siembra sin labranzas convencionales, son dos instituciones referentes en lo que hace a la experimentación agronómica.

Por otro lado, las organizaciones locales se integran en otras regionales o continentales compartiendo conocimiento y visiones. AAPRESID integra la Confederación de Asociaciones Americanas para la Agricultura Sustentable (CAAPAS), junto con entidades similares del resto de los países del continente americano que promueven la siembra directa y otras prácticas sustentables.

Este tipo de innovaciones, y hemos elegido a la siembra directa por ser un ejemplo paradigmático de la agricultura en la Argentina, tuvo gran difusión no solo en el país sino también fuera de él, y junto a otras, durante los últimos años permitió no solo una mayor capitalización del agro sino también que las explotaciones agrícolas hayan evolucionado hacia una gestión cada vez más profesional, sobre todo en el caso de cultivos con mayor rentabilidad económica. A todo esto se sumó la disposición de información confiable sobre los aspectos que condicionan al cultivo: características de los suelos, disponibilidad hídrica, presencia de plagas, rendimientos, etc.

A nivel tecnológico, la agricultura actual tiene una característica muy importante, producir gran cantidad de datos. Produce información puntual sobre los parámetros del cultivo y ha permitido el desarrollo de la *agricultura de precisión* que consiste en poder manejar de forma diferenciada áreas de una parcela agrícola aplicando insumos (riego, fertilizantes, fitosanitarios, etc.) con dosis variables en función de las necesidades que determinan esos datos. Para ello es fundamental la utilización de tecnologías capaces de registrarlos. Sensores embarcados en máquinas que se desplazan sobre la parcela, ubicados en el cultivo, en el suelo, o en vehículos aéreos y satélites. Todo esto, con sistemas de geolocalización (GPS) para poder asociar los datos a una determinada área de la parcela. La implementación de dicha técnica se apoya en prescripciones georreferenciadas de dosis basadas en la información que aportan los sensores y a su vez en máquinas agrícolas capaces de aplicar dosis variables de insumos.

La agricultura de precisión comenzó a aplicarse en la Argentina en la última mitad de la década de 1990 por iniciativa conjunta del INTA y algunas empresas privadas.

Acompañando la expansión de las tecnologías de posicionamiento satelital o georreferenciación a escala mundial, el INTA presentó oficialmente en 1997 el *Programa de Agricultura de Precisión* (AP), instalándolo en la Estación Experimental de Manfredi (Córdoba).

Las técnicas de la agricultura de precisión más usadas en la Argentina son el monitor de rendimiento que calcula el rinde por unidad de espacio en cada momento en que funciona la máquina y el sistema de guía por GPS (banderillero satelital) que son marcadores virtuales que permiten optimizar el uso de sembradoras, cosechadoras y fumigadoras y al mismo tiempo reducir costos, al aumentar los rendimientos con el mismo nivel de insumos y aumentar y mejorar la calidad en las cosechas debido a una mejor combinación de los requerimientos y los insumos aplicados. También se señala un avance en los monitores de rendimiento, originalmente de origen extranjero y muy vinculado a la procedencia de las cosechadoras. Con el crecimiento de la participación de las máquinas de origen nacional, los fabricantes locales de monitores lograron una penetración del 20% en el mercado. Lo importante es que la industria nacional de agropartes, de alta complejidad, está creciendo en su participación, es competitiva en venta y prestación y también posiciona a la maquinaria agrícola nacional en un plano de competitividad tecnológica a nivel mundial. Resulta evidente que la demanda global está direccionada hacia máquinas cada vez más automatizadas e inteligentes.

En el desarrollo de esta tecnología mucho tuvo que ver la interacción entre el sector productivo, la industria de la maquinaria y los investigadores públicos del INTA y las universidades. Estos últimos difundieron y validaron las tecnologías, para que las adoptara el agricultor, que resultó a su vez una fuente de retroalimentación sobre mejoras y nuevas necesidades para los diseñadores de la maquinaria y los agrocomponentes.

En la actualidad, la *Red de Agricultura de Precisión* del INTA involucra a diez estaciones experimentales, tres agencias de extensión rural y dos institutos (de Ingeniería Rural y de Clima y Agua), además de la coordinación del INTA Central.

Otra innovación importante de esa misma época es el ensilado de granos en bolsas plásticas que inicialmente se utilizaba fundamentalmente para el almacenamiento de forrajes para la alimentación del ganado. Con el transcurso del tiempo se fueron implementando mediante la colaboración público-privada, algunas adaptaciones de esa tecnología para contener también grano seco y monitorear su estado o extraerlo mediante máquinas que fue desarrollando la industria local.

El territorio pampeano de la Argentina ha demostrado ser propicio para el desarrollo de procesos de innovación que incorporan valor agregado en origen y terminan favoreciendo el desarrollo rural. No resulta difícil entonces, pensar el impacto que puede tener lo que se denomina agricultura 4.0 o agricultura inteligente.

¿Qué es la agricultura 4.0 o agricultura inteligente?

Puede muy bien decirse que la agricultura inteligente es la digitalización del campo, o que es la aplicación del *Big Data* al sector agrícola con el apoyo de sistemas de captación y transmisión de datos en tiempo real.

La agricultura inteligente es básicamente disponer de toda la información suministrada por la gran cantidad de sensores que “coexisten” en una explotación agrícola, para centralizarla a través de internet y tomar decisiones inteligentes basadas en dicha información, ya sea en tiempo real, como en diferido. En pocas palabras es la posibilidad de usar las herramientas que ya ofrece la agricultura de precisión, para generar mapas de información precisa y que con el auxilio de internet puedan ser utilizados para mejorar los aspectos productivos, ambientales y sociales del agro.

Los fabricantes de maquinaria agrícola en la Argentina contribuyen a la innovación tecnológica implementado en sus equipos (sembradoras, abonadoras, pulverizadores, etc.) sistemas de aplicación variable de insumos, basados en la introducción de motores eléctricos, electroválvulas, sistemas de conteo de semillas, etc. y adaptados a las particulares condiciones del relieve de los terrenos agrícolas.

Actualmente, la Argentina dispone de la tecnología para realizar agricultura de precisión y aunque no de forma generalizada, algunas explotaciones la practican con éxito. Aún es necesario generar el conocimiento agronómico que permita capacitar, para transformar los datos que brinda la tecnología en información, y a su vez esa información en conocimiento que permita realizar prescripciones. La Argentina siempre se destacó en el mundo por poseer una agricultura muy innovadora, siendo por ejemplo el 3º país del mundo en adopción de tecnologías para agricultura de precisión, solo por detrás de dos grandes innovadores a nivel mundial como lo son Alemania y Estados Unidos.

En los próximos años habrá 30.000 robots en el mundo aplicando tecnología en el área de la agricultura y en la actualidad Corea, Alemania y Japón los aplican en diversas áreas tanto sea en el tambo como para determinar lugares óptimos para aplicar agroquímicos. En Estados Unidos el 74% de los agricultores de algunas regiones usan la tecnología de *drones* y teledetección para el cultivo de sus campos.

En Japón, donde los agricultores están envejeciendo y los campos de arroz son modestos, un tercio de la cosecha es monitoreada por *drones* teledirigidos y al menos dos fabricantes japoneses venden tractores sin conductor desde 2018.

A pesar del bajo nivel de patentamiento que registran las innovaciones agrícolas argentinas este país ocupa un lugar destacado entre todos los que desarrollan innovaciones para el agro.

En el mundo ya se diseñan *drones* aéreos que detectarán cultivos y malezas, distribuirán nutrientes o plaguicidas, ahorrarán combustible y reducirán despilfarros. Hay tractores sin personas que los conduzcan, hay máquinas que pastorean, vigilan plantaciones y monitorean plagas. Hay ciber-insectos que vigilan cultivos y se supone sustituirán los polinizadores naturales. *Drones* sumergibles pueden controlar cercas eléctricas y jaulas móviles y desplazarlas a mejores condiciones climáticas y alimentarias para maximizar los rendimientos de la cría y captura de peces.

La Argentina, por otra parte, por su gran potencial agroalimentario, su capacidad, demostrada en el mundo de la investigación en este ámbito, y la disponibilidad de muy diversos espacios geográficos, se convierte en una sociedad que puede aprovechar las ventajas que ofrece la bioeconomía ⁴con sus peculiares condiciones, para potenciarlas. Así, la bioeconomía, como una parte esencial de su actividad económica, se caracteriza por la innovación que proporciona el conocimiento. Esto requiere una estrecha colaboración público-privada dentro de su propio territorio y una interacción reforzada entre su sistema nacional de ciencia y tecnología y el sistema internacional.

La tecnología de micropropagación se practica en la Argentina con muy buenos resultados. Permite multiplicar indeterminada cantidad de veces cierto ejemplar de una especie agrícola o forestal sobre la base de núcleos genéticos seleccionados (tanto por sus características como por la ausencia de determinadas enfermedades). De esta manera, se pueden “clonar” las plantas, es decir, obtener ejemplares con exactamente las mismas características genéticas. La utilización de ésta tecnología permite seleccionar plantas superiores madres o de buenas características para el mercado, para la industria o para el mismo productor y multiplicarlas. De esta manera, también, se puede garantizar calidad y productividad.

Los primeros usos comerciales de las técnicas biotecnológicas en la Argentina se remontan a inicios de los años ochenta, período en el cual se desarrollan las primeras empresas comerciales sobre la base de avances registrados en los institutos públicos de investigación y de los propios empresarios. Una década más tarde, varias empresas encararon desarrollos comerciales de la mano del dinamismo de algunos mercados, especialmente de los arándanos y otros *berries*. En simultáneo, se registran avances públicos-privados en micro-propagación de caña de azúcar y otros cultivos (denominados regionales) (EEOC, 2009). En la actualidad, existe más de una decena de empresas con capacidad para desarrollar este tipo de actividades, aunque su potencialidad de mercado está muy acotada a los vaivenes y el desarrollo de los mercados “usuarios”. Las capacidades instaladas permiten desarrollar clones en caña de azúcar, ananá, banano, orégano, mamón, papa, estevia, alcaparras y mandioca y las forestales: eucaliptos, pino, cedro y guatambú.

⁴ Bioeconomía es la producción y uso sustentables de recursos naturales, procesos y principios biológicos para proveer productos y servicios para la totalidad de los sectores económicos. Se refiere a la agricultura y a la actividad forestal pero también a muchos otros sectores como la industria farmacéutica, la vivienda y la construcción en general, el sector energético, el textil, etc. La bioeconomía no es un sector sino que se relaciona con todos los sectores en forma transversal. Es más bien un gran conglomerado con cadenas de valor interconectadas. Es propósito de la bioeconomía alcanzar la sustentabilidad mediante la “biologización” de la economía de los procesos industriales de producción de bienes y servicios. En una palabra “bio-transformar” industrias y procesos tecnológicos. Según Joachim von Braun (2018) las innovaciones en biotecnología están impulsadas por tres fuerzas principales: la riqueza de los recursos naturales, las preferencias cambiantes en los consumidores de clase media creciente con demanda mundial de productos originados en procesos sustentables y en tercer lugar la bioeconomía está impulsada por los descubrimientos de la ciencia y la tecnología.

La biodiversidad o diversidad biológica de los ecosistemas terrestres que maneja la actividad agrícola-ganadera es otra ventaja comparativa de esta actividad por la gran cantidad de datos masivos de genética vegetal y animal que opera.

Se considera que en el mundo hay veinte países ecológicamente muy diversos de los cuales, nueve están en Latinoamérica. Otra zona muy rica en materia de biodiversidad es la de los Andes Tropicales constituida por parte de los territorios de Argentina, Chile, Bolivia, Perú Ecuador, Colombia y parte de Venezuela. Contienen en apenas el 0,8% de la superficie del mundo una sexta parte de su vida vegetal (Hodson de Jaramillo, 2014). Esta subregión es centro de origen de recursos fitogenéticos andino-amazónicos que aportan aproximadamente el 35% de la producción de alimentos agrícolas y de producción industrial. Estos recursos se utilizan para la alimentación humana y animal, para fibras, vestimenta, vivienda y energía. A partir del aprovechamiento de la bioeconomía y la utilización de las nuevas herramientas biotecnológicas⁵ la abundante biodiversidad de esta región permite constituir la en un laboratorio excepcional para desarrollar productos y procesos realizando un uso sostenible de los recursos. La bioeconomía ya no considera a la agricultura solamente como una fuente de ocupación de mano de obra y producción de alimentos, sino que se plantea como una actividad fuertemente integrada a los procesos industriales y de servicios. El punto de partida es la producción sustentable de biomasa vegetal, animal y microbiana aprovechando la fotosíntesis para producir, además de alimentos, energía y una amplia gama de biomateriales amigables con el medio ambiente.

Si analizamos esta definición podemos concluir que la biotecnología como tal, no es nueva. Data de la antigüedad cuando ya se utilizaban técnicas de manipulación de seres vivos para obtener ciertos resultados, como la realización de vino, pan o cerveza. El secreto de la fermentación realizada por microorganismos, la obtención de levaduras, lo que se conoce como biotecnología tradicional, son procedimientos que utilizó el hombre durante siglos. Sólo desde hace unas pocas décadas lo hace con procesos más controlados y desarrollados con objetivos específicos (reducción de costos, resultados más estables, métodos de transformación biológica más eficientes). La biotecnología en general y la convergencia tecnológica (en particular entre la biotecnología, la nanotecnología y las tecnologías digitales) son centrales para potenciar el desarrollo de la bioeconomía, pues permiten aumentar las fronteras para la utilización sostenible de toda la gama de recursos biológicos disponibles.

La biotecnología aplicada al mundo productivo agrícola ha tenido un rápido desarrollo en la Argentina. Los avances que se están produciendo en el ámbito de las ciencias agrarias, alimentarias, la biotecnología y la química, y los que van a llegar en los próximos años, con el soporte tecnológico e innovador de otras áreas como la ingeniería, la organización o la logística, pueden mejorar la posición competitiva de nuestros sectores productivos. El primer beneficiado será el sector agroalimentario, tanto para atender la demanda interna como para avanzar en su estrategia de exportación e internacionalización. Además, la aplicación de este conocimiento a la utilización integral de los recursos de origen biológico y en especial a la revalorización de

⁵Herramientas biotecnológicas La ingeniería genética es la herramienta clave de la biotecnología moderna por medio de la cual se transfiere ADN de un organismo a otro.

La modificación de la información genética de microorganismos, plantas y animales ha permitido mejorar prácticas y productos agrícolas.

La evolución de la biotecnología moderna fue el resultado del avance en diferentes disciplinas del conocimiento (biología celular, microbiología, genética, estadística, informática bioquímica, ingeniería, entre otras) que sentaron las bases para su desarrollo y aplicación.

Con las herramientas, técnicas y metodologías de la biotecnología moderna es posible producir nuevas variedades de plantas con mayor rapidez que antes, con características nutricionales mejoradas, tolerancia a condiciones adversas, resistencia a herbicidas específicos, control de plagas y mucho más. Los organismos vivos a los cuales se les transfieren genes mediante la aplicación de la biotecnología moderna se conocen como biotecnológicos, transgénicos o modificados genéticamente.

residuos y subproductos agroalimentarios y urbanos, va a permitir desarrollar otros sectores económicos que, utilizándolos como materia prima y mediante procesos biológicos, físicos, químicos o termoquímicos, podrán poner en el mercado diversos biomateriales (bioplásticos, lubricantes, etc.), así como bioenergía (biocombustibles avanzados u otros aprovechamientos energéticos de la biomasa). El desarrollo del conjunto de la bioeconomía, como suma de todos estos sectores, en los que se engloban tanto las actividades tradicionales, como otras nuevas, mejorará la eficiencia en la utilización de los recursos, para optimizar su uso y avanzar hacia una economía sostenible y alejada del consumo de recursos de origen fósil.

En el marco de la “sociedad del conocimiento”, la biotecnología (junto a las tecnologías de la información y comunicaciones-TICs) ocupa un papel relevante. Para el caso argentino, estas tecnologías tienen una particular importancia dado el perfil productivo (muy ligado a los recursos naturales) y el desarrollo evolutivo previo de determinadas actividades (como la farmoquímica, los medicamentos, la producción de semillas) y las disciplinas científicas (la biología, la medicina, la química). La biotecnología y las TICs (y los genes y los *chips* como factores claves) crecientemente son las “locomotoras” de la denominada sociedad del conocimiento sustentada en el modelo de organización en red.

La Argentina cuenta con unas 120 empresas dedicadas a la producción de biotecnología que se concentran en distintos campos productivos entre los que sobresalen los medicamentos y otros insumos para el cuidado de la salud humana, la producción de semillas y micropropagación, la sanidad y manejo ganadero y la reproducción humana asistida. Tanto el número de firmas como su desempeño relativo son similares a las registradas en otras economías de desarrollo intermedio. Si bien constituyen una aceptable base productiva, no tienen la significación técnica ni la magnitud económica que alcanzan en las economías desarrolladas. El centenar de firmas locales factura anualmente poco más de 1.000 millones de dólares, exporta alrededor de ¼ de lo que produce –unos 260 millones de dólares anuales–, a la vez que emplea unas 3.000 personas. Su potencialidad radica no en su capacidad de generación de empleo, sino en el poder multiplicador en actividades ubicadas “aguas abajo” en el tramado productivo. En ese sentido, las mayores fortalezas se encuentran en la producción de semillas, micropropagación y genética ganadera –donde el país cuenta con claras ventajas competitivas–, en medicamentos –donde existe un sólido desarrollo local– y en inoculantes. Anlló, G. Bisang. R, Stubrin, L.(2011)

En síntesis, la biodiversidad de la Argentina puede constituir un importante laboratorio para desarrollar productos y procesos a partir del aprovechamiento de la bioeconomía y realizar un uso sostenible del recurso basándose en las nuevas herramientas biotecnológicas. La biodiversidad de su territorio y su gran capacidad de innovación, demostrada a lo largo de su historia, se traduce no solo en los adelantos que acabamos de comentar, sino también en oportunidades para el desarrollo de las biotecnologías, la biología sintética⁶, la química verde⁷ y el biomimetismo⁸.

No habríamos acabado de definir a la agricultura inteligente si no mencionáramos otras innovaciones tecnológicas dirigidas al *management* empresario o los aspectos organizacionales

⁶ La biología sintética permitirá el diseño de organismos sintéticos que posean rutas metabólicas análogas a las existentes en la naturaleza, con funciones nuevas que no se encuentran en la naturaleza. Consiste en aplicación del diseño de sistemas a procesos biológicos complejos. Producto de la expansión de la pandemia de COVID 19, en Estados Unidos aumentó 14% la venta de carne sintética al no poder hacerse matanzas en los frigoríficos.

⁷ Química verde su objetivo es la utilización de un grupo de principios que reducen o eliminan el uso o generación de sustancias peligrosas en el diseño, manufactura y aplicaciones de productos químicos, lo que en muchos casos implica el rediseño de los productos y procesos utilizados con el propósito de minimizar los riesgos para la salud y el ambiente.

⁸ Biomimetismo es un concepto importante para la bioeconomía. Se refiere a la aplicación de procesos biológicos en procesos productivos, para generar innovaciones sostenibles inspiradas por la naturaleza.

de la gestión agropecuaria: las empresas *fintech*. De origen digital, apuntan a utilizar la tecnología para servicios financieros que se pueden operar desde un celular, una *tablet* o de la *web*. Según el informe de *Accenture: Informe Ecosistema Fintech Argentino 2018*, de la *Cámara Argentina de Fintech*, en 2018 había 133 empresas *fintech* cuyos servicios más ofrecidos eran *blockchain* y *criptomonedas*.

Las *Fintech*, o tecnologías financieras, describen la aplicación de tecnologías digitales a las finanzas y la administración. *Fintech* puede utilizar algoritmos, establecer y administrar *blockchains* y *Big Data* para aumentar la gestión efectiva de dinero o recursos. Cuna de grandes emprendimientos y motor para el desarrollo de la innovación, la Argentina se presenta como un escenario propicio para el crecimiento de las *Fintech* que apunten a diseñar y brindar servicios de alcance regional. Cuatro de los diez unicornios⁹ digitales latinoamericanos fueron creados en el país. En este escenario, las *Fintech* encontraron un marco para desarrollarse y obtuvieron un crecimiento rápido y muy marcado a partir de 2013. Las criptomonedas están estrechamente asociadas con las *blockchains* y a menudo se describen como capital digital que se puede extraer, ganar e intercambiar por productos o servicios de manera similar a una moneda nacional. Sin embargo, las criptomonedas están controladas por algoritmos y *blockchains*, no por bancos o reguladores gubernamentales. Las *blockchains*, o cadenas de bloques en castellano, es una tecnología que surge en el 2009 y generalmente se describe como libros digitales de contabilidad capaces de rastrear un contrato o una actividad, con el uso de computadoras a través de internet, de tal manera que las partes involucradas se aseguren que el contrato o procedimiento se ha llevado a cabo. Permite obtener la trazabilidad del sistema informático mediante la generación del código QR.

El registro de la semilla, la trazabilidad de los cultivos o el pago descentralizado entre los actores del proceso productivo así como el transporte del producto y el estado al que llega a destino, puede controlarse con la tecnología de *blockchain*. Su utilización también permite confirmar si un producto con 'denominación de origen' fue cultivado efectivamente en la zona apropiada o si un alimento orgánico cumple las normativas que lo acreditan como tal.

Desde 2019, el SENASA¹⁰ fiscaliza la exportación de fruta cítrica fresca que incluye la utilización de tecnología *blockchain* para dar mayor seguridad a la trazabilidad de los productos exportados.

Conclusiones

Los aportes teóricos de los últimos años señalan la importancia del conocimiento y de los procesos de aprendizaje como principal recurso de los territorios y de la innovación. Esta última como fenómeno selectivo tiende a concentrarse en ciertas ramas de actividad, en un número limitado de empresas, y, sobre todo, en espacios concretos con características que favorecen la generación de iniciativas innovadoras para permitir su difusión al tejido económico y social.

En la Argentina se han desarrollado, particularmente en el área agrícola, redes sociales de cooperación para el fomento de la innovación territorial. El desarrollo, la implantación y la difusión de la técnica de la siembra directa es quizás el ejemplo más paradigmático. También en esta tecnología se aprecia claramente la creciente conciencia acerca de la comprensión de los

⁹ Se entiende por "unicornio" a una compañía de alcance internacional que logra superar los mil millones de dólares de valuación

¹⁰ SENASA es el Servicio Nacional de Sanidad Agraria, un Organismo Público Técnico Especializado Adscrito al Ministerio de Agricultura de la Argentina con Autoridad Oficial en materia de sanidad agraria, calidad de Insumos, producción Orgánica, etc.

procesos de innovación en el seno de las empresas y de los sistemas productivos agropecuarios que necesitan de la existencia de redes sociales de apoyo.

En la innovación en general y en la agricultura en particular, los procesos que la generan, no surgen de la nada, tienen lugar en un contexto socioeconómico dado, con condiciones propicias para su generación. Normalmente se corresponden con los siguientes factores:

- Disponibilidad de capital e información para facilitar la adopción, características personales de los agricultores (nivel educativo, intereses, actitudes, motivaciones) que los hacen más favorables al cambio.
- Relaciones sociales vinculadas con la existencia de comportamientos colectivos cooperativos y receptivos a las novedades y cierto grado de participación social y asesoramiento calificado.
- Mayor facilidad/compatibilidad para su incorporación a los usos y actividades anteriores, y muy particularmente su rentabilidad a corto y largo plazo.

Varios ejemplos demuestran la capacidad potencial de los actores locales para movilizar los recursos específicos de las áreas agropecuarias, mejorar su inserción en el exterior y ofrecer respuestas innovadoras para los retos que ofrece el presente. La agricultura 4.0 o agricultura inteligente es un buen modelo de ello. Muchos estudios e incluso activas prácticas en el mundo desarrollado, muestran los impactos de las tecnologías digitales en la actividad agropecuaria.

Las mayores fortalezas alcanzadas hasta el momento en la Argentina, se encuentran en la producción de semillas, micropropagación y genética ganadera. En esta área el país cuenta con claras ventajas competitivas y existe un sólido desarrollo local. También es beneficiosa la adaptación de maquinaria agrícola a las particulares características de los suelos y relieves donde varias empresas medianas y pequeñas de capital nacional conviven en el espectro productivo con unas pocas empresas multinacionales que articulan sus desarrollos con otras filiales en el marco de estrategias globales de producción.

Sin embargo, debemos reconocer que si bien la agricultura 4.0 es estratégica para la Argentina, existen aún una serie de limitaciones, que, de no revertirse, pueden retrasar el proceso que parece auspicioso. Limitaciones de logística, conectividad (Argentina está detrás de muchos países de América Latina y a nivel mundial se encuentra en el número 102) problemas en la educación, que necesita sólidos avances en las áreas digitales son sólo algunas de ellas.

El avance hacia una agricultura 4.0 requiere también la capacitación de los técnicos y de los productores agropecuarios para poder transformar esa inmensa captura de datos en información, y ésta, a su vez, en conocimientos que puedan ser utilizados para asegurar la sustentabilidad no sólo ecológica y económica sino también social del agro en la Argentina. El desarrollo de las ciencias biológicas y las TICs configuran fascinantes proyectos cuyos riesgos aún no han sido suficientemente evaluados. Pero también se requerirán gobiernos e instituciones que generen las regulaciones necesarias, para que las innovaciones digitales, que son múltiples y variadas, puedan ser bien implementadas para poder pensar hacia adelante y en forma propositiva. Habrá que aprovechar el entramado existente de instituciones públicas y privadas, líderes en la experimentación agronómica en la Argentina que además poseen un muy buen desempeño territorial y promover, entonces, una fuerte política de innovación en ciencia y tecnología como política de Estado. Los niveles de inversión tendrán que permitir financiar, al menos parcialmente, programas de capacitación permanente y reconversión laboral, en asociación con las instituciones que puedan dar solución a uno de los más grandes problemas que enfrenta actualmente la humanidad: producir alimentos.

Si bien es cierto que los esfuerzos de innovación mantenidos en la práctica de la agricultura en la Argentina, resultan claves para mejorar la competitividad del territorio, también es necesario reconocer la necesidad del surgimiento de impulsos innovadores en otras áreas de la economía que acompañen la competitividad sistémica de la agricultura y contribuyan al desarrollo integral del país.

Bibliografía

Anlló, G. R. Bisang y L. Stubrin (2011) Las empresas de biotecnología en Argentina. Comisión Económica para América Latina y el Caribe. CEPAL, Naciones Unidas, Santiago de Chile.

Cooke y Morgan (1998) *The Associational economy: firms, regions and innovation*. Oxford, Oxford, University Press.

Gilly, J. P y A. Torre (2000) (dirs) *Dynamiques de Proximité*. París. L' Harmattan

Hodson de Jaramillo E. (ed.) (2014). *Hacia una bioeconomía en América Latina y el Caribe en asociación con Europa*. 1° edición. Bogotá, Editorial Pontificia Universidad Javeriana.

INTA (2010) *Rol de la Red de Agricultura de Precisión en el Proceso Productivo*. Buenos Aires, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria

Informe Ecosistema *Fintech* Argentino 2018. Disponible en: <https://camarafintech.com.ar/wp-content/uploads/2020/01/BID-C%C3%A1mara-Argentina-de-Fintech-Accenture.pdf>.

Loyer T y A. Tellier (2001) La configuration des réseaux d' innovation: une approche par la proximité des acteurs *Revue d'Économie Régionale et Urbaine (RERU)* 4

Lundvall y Johnson (1994) *The learning economy*. *The Journal of Industrie Studies* 1

Trigo, E. et al. (2002) *Los transgénicos en la agricultura argentina. Un final abierto*. IICA. Libros del Zorzal.

Méndez, R (2002) *Innovación y desarrollo territorial: algunos debates teóricos recientes*

EURE, vol. XXVIII, núm. 84, 2, Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago, Chile.

Von Braun, J. (2018) *El concepto de bioeconomía en perspectiva y su relevancia para la Agenda Global de Desarrollo*. Centro de Investigación y Desarrollo (ZEF) Universidad de Bonn.

Conte, A. S (2020) *Agricultura inteligente: innovación en el territorio*. Publicado en *Contribuciones Científicas GÆA* | Vol. 32 | Pags. 51 a 66. Recibido 05/08/2020 - Aceptado 15/09/2020