

UNIVERSIDAD DE BUENOS AIRES
FACULTAD DE CIENCIAS ECONÓMICAS
DOCTORADO

TESIS

FACTORES QUE INFLUYEN EN LA DECISIÓN DE ADOPTAR
NUEVAS TECNOLOGÍAS POR PARTE DE PRODUCTORES
AGRÍCOLAS DE ARGENTINA

Alumno: Valeria Gogni

Director de Tesis: Dr. Miguel Fusco

Codirector: Dr. Emilio Picasso

Miembros del Tribunal de Tesis: María Teresa Casparri, Javier García Fronti, Roberto Muiños

Fecha de defensa de la Tesis: 02 de agosto de 2024

Resumen

El sector agrícola argentino, uno de los más dinámicos de la economía, respalda su alto nivel de competitividad, además de las condiciones naturales, en innovación. Las dinámicas globales exigen perfeccionar la calidad de los productos, hacer que los procesos de producción y comercialización sean más eficientes e innovadores y también invoquen a diversificar la cartera de mercados y productos. El cambio tecnológico es el principal motor para aumentar la productividad agrícola y promover el desarrollo, de manera que, es necesario robustecer la incorporación de nuevas tecnologías, métodos e insumos en el sector a fin de que se acreciente la productividad de los sistemas y la comercialización de productos.

En el contexto de las innovaciones tecnológicas emergentes, se evidencia una variabilidad en los tiempos de adaptabilidad entre los productores. Esto subraya la necesidad imperante de analizar y comprender los fundamentos subyacentes que impactan en la decisión de adoptar nuevas tecnologías. La adopción de la innovación no es un evento aislado, sino un proceso secuencial que se inicia con el conocimiento de una tecnología, seguido de su contemplación, la decisión de cambio, y culmina con la implementación y el mantenimiento

El objetivo de esta investigación es desarrollar un modelo de adopción tecnológica para comprender los factores que influyen en el proceso de decisión de adopción de nuevas tecnologías por parte de los productores agrícolas y predecir el comportamiento de estos ante el cambio. El modelo se aplica a un grupo de productores agrícolas de la República Argentina permitiendo identificar obstáculos al proceso de adopción. Esto consentirá el desarrollo de políticas gubernamentales destinadas a favorecer la adopción tecnológica en el sector y, por lo tanto, continuar mejorando la productividad.

Clasificación JEL: Q16, O30, O33, D91

Palabras Clave: Adopción tecnológica -Agricultura – Decisión

Índice General

Índice General.....	3
Introducción.....	6
Planteamiento del problema.....	7
Pregunta de investigación.....	7
Otros interrogantes:	7
Objetivos.....	8
Objetivo general	8
Objetivos específicos.....	8
Hipótesis	8
Innovación Agrícola: Un proceso complejo	8
Capítulo 1	12
Introducción del capítulo	12
Modelos conceptuales de adopción	12
Modelos de comportamiento	12
Modelos de aceptación de la tecnología.....	17
Modelos de adopción por etapas	23
Conclusión del capítulo	26
Capítulo 2	27
Introducción del capítulo	27
Investigación sobre innovación en el ámbito agrícola.....	27
Conclusión del capítulo	31

Capítulo 3	33
Introducción del capítulo	33
Modelo Transteórico del Cambio de Comportamiento	34
Etapas de Cambio	34
Procesos de Cambio.....	36
Integración de las etapas y los procesos de cambio.....	37
Dinámica del cambio. Variables mediadoras hacia el cambio	38
Balance decisional	39
Autoeficacia	40
Conclusión del capítulo	42
Capítulo 4	43
Introducción del capítulo	43
Modelos de respuesta ordinal	43
Modelos secuenciales	44
Inferencia en los modelos ordinales.....	46
Modelo secuencial como GLM multivariante.....	46
Estimación por máxima verosimilitud mediante modelos de respuesta binaria	47
Conclusión del capítulo	49
Capítulo 5	50
Introducción del capítulo	50
Nuevas tecnologías en el sector agrícola: Agricultura de precisión.	51
Contexto y características del sector agrícola en Argentina	55

Características y estructuras de los campos.....	57
Adopción de nuevas tecnologías en Argentina: Estado actual	59
Modelo Propuesto de Adopción tecnológica en el sector agrícola.....	61
Estrategia Empírica	62
Confiabilidad y validez del instrumento de medida	74
Modelado Estadístico.....	76
Modelo de respuesta ordinal. Modelo logístico ordinal secuencial	76
Conclusión del capítulo	77
Conclusiones.....	86
Limitaciones y consideraciones futuras	89
Referencias bibliográficas	90
Anexos.....	105
Modelo de innovación- Instrumento: Encuesta sobre uso de nuevas tecnologías.....	105

Introducción

El cambio tecnológico es una gran fuerza impulsora que permite aumentar la productividad y promover el desarrollo agrícola en un país. La agricultura se está integrando cada vez más en la cadena alimentaria y en el mercado global enfrentándose a nuevos desafíos para satisfacer la demanda de alimentos, competir internacionalmente y producir productos de calidad cumpliendo con metas de sostenibilidad.

Es fundamental discernir los factores subyacentes que intervienen en la adopción de nuevas tecnologías, así como la evaluación de las percepciones y actitudes de los productores para comprender el proceso de adopción tecnológico en este sector.

El aporte de la investigación es la propuesta de un modelo de adopción basado fundamentalmente en las etapas de cambio del modelo Transtheoretical Model of Behavior Change (Prochaska et al, 2001) con foco en el constructo balance decisional que consentirá analizar las ventajas y desventajas del cambio de comportamiento. Se integrarán al modelo los constructos de facilidad de uso percibida, autoeficacia percibida y la actitud frente al riesgo posibilitando explicar el cambio de comportamiento en función de las etapas por las que atraviesa el productor al estar considerando un cambio con relación a la adopción, luego se prepara para el cambio, realiza el cambio y finalmente mantiene el comportamiento modificado.

Esta tesis se encuentra enmarcada en la línea de investigación del Programa de Gestión Integral del Riesgo Agropecuario en Argentina - ProGIRA ¹ del Centro de Investigación en Métodos Cuantitativos Aplicados a la Economía y Gestión (CMA) de la Facultad de Ciencias

¹ Link: <https://investigacion.economicas.uba.ar/programas-de-investigacion/progira/>

Económicas de la Universidad de Buenos Aires y cuenta con el soporte técnico e institucional de AACREA².

Planteamiento del problema

La pregunta de investigación que el trabajo pretende responder es la siguiente:

Pregunta de investigación

¿Cuáles son los factores que influyen en la decisión de adopción de nuevas tecnologías por parte de los productores agrícolas de Argentina?

Este interrogante suscita otras cuestiones que son fundamentales para plantear y responder con el fin de abordar el problema. Específicamente:

Otros interrogantes:

¿Cómo influye la autoeficacia³ en la motivación y el comportamiento al momento de adoptar nuevas tecnologías?

¿Afecta la percepción de facilidad de uso y aprendizaje la actitud y la intención de adopción de nuevas tecnologías en el sector agrícola?

¿Cómo se relaciona el riesgo percibido al innovar con la adopción de tecnologías en el sector agrícola?

¿De qué manera impacta el análisis de las ventajas y desventajas del cambio (balance decisional) como un predictor en la transición a través de las diferentes etapas por las que atraviesa el productor en el proceso de adopción?

² Asociación Argentina de Consorcios Regionales de Experimentación Agrícola.

³ Refiere a la autoeficacia percibida definida como las creencias de los individuos sobre sus capacidades para producir determinados niveles de desempeño que ejercen influencia sobre eventos que afectan sus vidas. Estas creencias de autoeficacia determinan cómo se sienten, piensan, se motivan y se comportan (Bandura, 1991)

Objetivos

Objetivo general

Comprender los factores que influyen en el proceso de decisión de adopción de nuevas tecnologías por parte de los productores agrícolas de Argentina.

Objetivos específicos

-Analizar la influencia de la autoeficacia en la motivación y el comportamiento al momento de adoptar nuevas tecnologías.

-Considerar la influencia de la percepción de facilidad de uso y aprendizaje afectando la actitud y la intención de adopción de nuevas tecnologías en el sector agrícola.

-Reconocer la influencia de la actitud frente al riesgo de los productores agrícolas en relación con la adopción tecnológica.

-Distinguir el Balance Decisional como un predictor de transiciones entre las diferentes etapas evaluando las ventajas y desventajas del cambio.

Hipótesis

La percepción de autoeficacia, la facilidad de uso y aprendizaje percibida, actitud frente al riesgo y el balance decisional son factores que influyen en el proceso de decisión de adopción de nuevas tecnologías en el sector agrícola de Argentina.

Innovación Agrícola: Un proceso complejo

La innovación en el sector agrícola es muy importante, ya que, en las últimas décadas, desde la incorporación de la siembra directa, el sector inició un sendero de innovaciones, aplicadas a los procesos, los insumos, las semillas, el manejo de los datos y la maquinaria aplicada al sector.

La innovación es considerada una de las principales fuentes del cambio y una forma de asegurar un crecimiento sostenido a largo plazo en las organizaciones. Las actividades de innovación conforman un conjunto de etapas científicas, tecnológicas, organizativas, financieras y comerciales, incluyendo las inversiones en nuevos conocimientos, que anhelan llevar a la implementación de productos y procesos desconocidos o mejorados.

El Manual de Oslo⁴ considera a la innovación como un proceso complejo que involucra múltiples interrelaciones entre ciencia y tecnología, productores potenciales y consumidores y reconoce que el proceso soporta una serie de interacciones entre diferentes actores. Esta perspectiva sobre el fenómeno de la innovación destaca que la administración eficaz de la misma es compleja y sus resultados son impredecibles. En este sentido, la disposición del productor hacia el cambio se convierte en uno de los principales catalizadores para la adopción de una innovación (Chamala, 1987). El cambio implica una transformación de valores, actitudes y comportamientos (Krieger & Franklin, 2010), lo que conlleva por un lado a desaprender (desestructurar conocimientos, patrones y modelos antiguos) y por otro lado aprender (adaptando y preparando nuevas).

El cambio es un proceso cognoscitivo facilitado para la asimilación de nueva información y conceptos emergentes (Schein, 1985). Para su efectividad, es esencial que el individuo exhiba una motivación genuina para cambiar. Ningún cambio se concreta sin un estímulo suficiente para propulsarlo y en ausencia de motivación, resulta considerablemente arduo inducir la misma durante el proceso de cambio.

Interpretando la tecnología como un esquema para la acción instrumental que atenúa la incertidumbre en las relaciones causa-efecto implicadas en la consecución de un resultado

⁴ Publicación de OCDE (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico) con el título: Medición de las Actividades Científicas y Tecnológicas. Directrices propuestas para recabar e interpretar datos de la innovación tecnológica: Manual de Oslo

anhelado (Rogers, 1995a), los conceptos de innovación y nueva tecnología son en su mayoría intercambiables. La incorporación de nuevas tecnologías no sucede instantáneamente, sino que se desarrolla a lo largo de un proceso desde la primera conciencia de la tecnología en consideración, pasando por la consolidación del conocimiento y la actitud, hasta la adopción o el rechazo de la innovación. Los responsables de tomar decisiones progresan a través del proceso buscando información y desplegando acciones para implementar el cambio, integrando paulatinamente la nueva tecnología en la práctica diaria. El riesgo y la incertidumbre son omnipresentes a lo largo del proceso.

Este contexto de riesgo e incertidumbre plantea un desafío a los individuos para tomar decisiones, donde incluso las decisiones de rechazo o aplazamiento pueden tener implicaciones comerciales significativas. En este sentido, la innovación puede conceptualizarse como un proceso de búsqueda de información destinado a mitigar el riesgo y la incertidumbre hasta un nivel que permita la toma de decisiones (Rogers, 1995b) y se espera que las percepciones y actitudes de los adoptantes ejerzan una influencia en el proceso de innovación, afectando su ritmo y los obstáculos que puedan surgir.

Esta tesis está organizada de la siguiente manera.

En el capítulo 1 se realiza una revisión bibliográfica multifocal destacando los principales modelos teóricos de comportamiento, modelos de aceptación de la tecnología y modelos de adopción por etapas para explicar la adopción tecnológica desde distintas perspectivas a fin de comprender su dinámica.

El capítulo 2 se centra en la aplicación de los modelos en el sector agrícola, destacando el desarrollo hacia una rica literatura con diferentes modelos que analizan la aplicación en diferentes campos, entornos específicos o a diferentes escalas.

El capítulo 3 presenta el Modelo transteórico del cambio de comportamiento (TTM⁵) haciendo foco en las etapas y procesos de cambio resaltando las diferentes etapas por las que pasan los individuos cuando se dan cuenta de la posibilidad de cambio, deciden adoptar, implementar y sostienen el cambio.

El Capítulo 4 se centra en los modelos de respuesta ordinal, que resultan beneficiosos cuando las categorías de la variable de respuesta se ordenan. Se destaca la aplicación de los modelos secuenciales que reflejan la transición sucesiva a categorías superiores en un modelo paso a paso. El capítulo concluye con la estimación por máxima verosimilitud de estos modelos a través de los modelos binarios en su forma más simplificada.

En el Capítulo 5, se pone énfasis en el contexto asociado a las tecnologías emergentes en el sector agrícola, que abarcan diversos aspectos de la agricultura de precisión. Esto permite la recopilación de datos del campo, su análisis y evaluación, para su posterior utilización en la toma de decisiones. Posteriormente, se detallan las características y el estado actual de la adopción de nuevas tecnologías en el sector agrícola de Argentina. Finalmente, se presenta el modelo propuesto que define las etapas de innovación, adaptando el modelo TTM y examinando los factores que fomentan o dificultan el progreso en el proceso de adopción tecnológica. Este marco permite una mejor representación del fenómeno de la adopción, aprovechando la base de conocimientos desarrollada en el dominio psicológico.

⁵ Transtheoretical Model of Behavior Change

Capítulo 1

Introducción del capítulo

El proceso de innovación ha sido investigado a fondo desde diferentes ángulos, dando paso a diversos modelos y teorías. Este capítulo se concentra en los modelos teóricos conceptuales desarrollados para explicar la adopción tecnológica desde distintas perspectivas analizando la relevancia de diversos factores, lo que encarna un marco más completo para ayudar a comprender la dinámica vinculada a la adopción. Además de las características a nivel individual, muchos modelos examinan la preeminencia de los factores ambientales y sociales para promover la adopción tecnológica.

El capítulo se inicia detallando los modelos de comportamiento: la Teoría de la Acción Razonada (TRA), la Teoría del Comportamiento Planeado (TPB), el Modelo Motivacional (MM) y la Teoría Social Cognitiva (SCT). Posteriormente, se abordan los modelos de aceptación de la tecnología: el Modelo de Aceptación de Tecnología (TAM), TAM2 y TAM3, TAM y TPB combinados (C-TAM-TPB), el Modelo de Utilización de PC y la Teoría Unificada de Aceptación y Uso de Tecnología (UTAUT). Para concluir el capítulo, se desarrollan los modelos de adopción por etapas que permiten conceptualizar el concepto como un proceso, poniendo énfasis en parámetros que afectan etapas específicas.

Modelos conceptuales de adopción

Modelos de comportamiento

La Teoría de la Acción Razonada (Theory of Reasoned Action - TRA) y la Teoría del Comportamiento Planeado (Theory of Planned Behavior - TPB) son las teorías pioneras, derivadas de la psicología social, que se utilizan para explicar el uso de los Sistemas de Información (Information Systems - SI). La Teoría de la Acción Razonada (TRA) fue

formulada en el campo de la psicología social con el objetivo de entender de manera más profunda las relaciones entre actitudes, intenciones y comportamientos. Esta teoría postula que la intención de uso es el mejor predictor del comportamiento (Fishbein, 1976). Según Fishbein y Ajzen (Fishbein & Ajzen, 1977), la intención está determinada por dos factores: la actitud hacia el comportamiento y las normas subjetivas. El primero está influenciado por las creencias sobre el resultado del comportamiento y por la evaluación individual de ese resultado, ya sea positivo o negativo. El segundo se refiere a las percepciones individuales sobre lo que la sociedad piensa del comportamiento

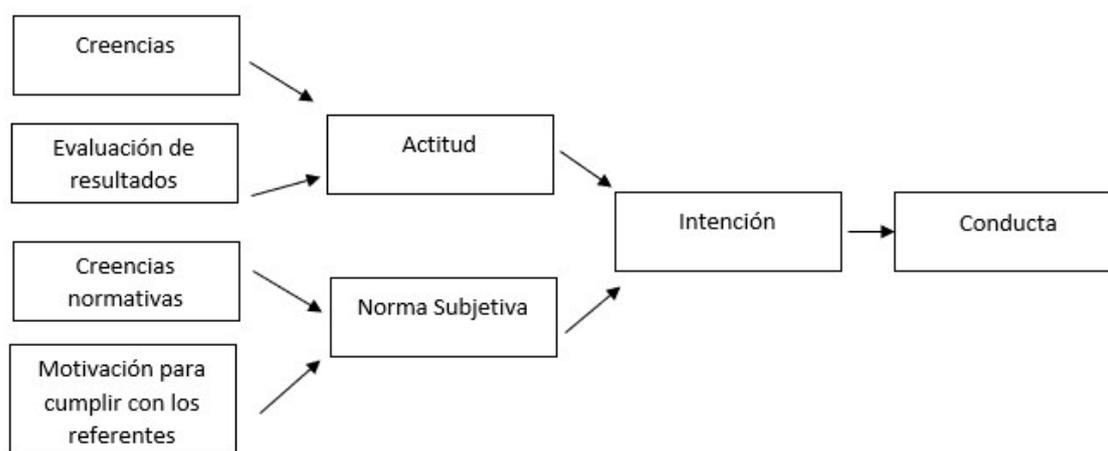


Figura 1: Esquema-Teoría de la Acción Razonada (TRA)-Elaboración propia

Sin embargo, investigaciones posteriores han encontrado que la experiencia y la voluntariedad son dos factores relevantes para explicar un comportamiento (Karahanna et al, 1999) y con el aumento de la experiencia, la actitud hacia el mismo se vuelve más importante, mientras que la relevancia de las normas subjetivas disminuye. (Hartwick & Barki, 1994) mostraron que cuando los usuarios no están obligados a adoptar tecnología, las normas subjetivas cobran mayor importancia al considerar la inclusión de la voluntariedad en el modelo.

La Teoría del Comportamiento Planeado (TPB) es una extensión de TRA (Fishbein et al., 1980) y explica una gama más amplia de comportamiento en comparación con TRA

(Sheppard et al., 1988). Esto se debe a que TPB, además de las actitudes y las normas subjetivas, comprende un tercer factor: el control conductual percibido (Perceived Behavioral Control- PBC) que consiste en la facilidad de uso percibida o la dificultad para realizar el comportamiento (Ajzen, 1991). Esta teoría se ha aplicado con éxito para examinar el comportamiento de los usuarios con respecto a diferentes tipos de tecnologías (Harrison et al, 1997) y destaca que el control conductual percibido se relaciona con las percepciones de las limitaciones internas y externas sobre el comportamiento (Davis et al, 1989).

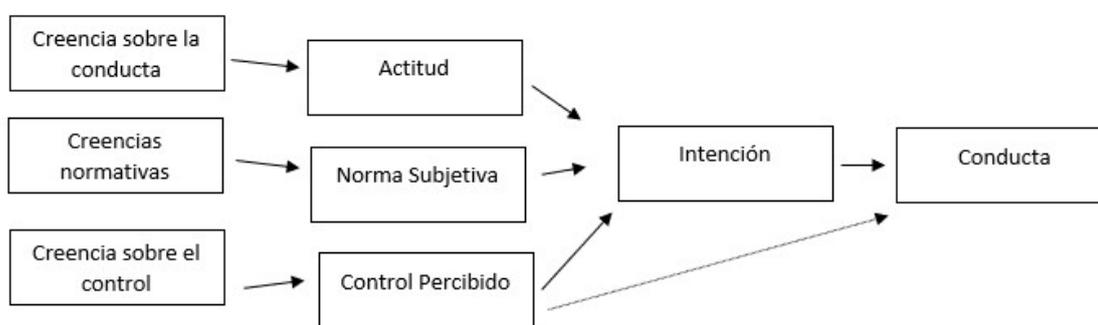


Figura 2: Esquema-Teoría del Comportamiento Planeado (TPB)-Elaboración propia

Una limitación significativa de TPB es que la teoría solo es aplicable cuando algún aspecto del comportamiento no está bajo control volitivo. Esto se debe a que se fundamenta en el supuesto de que los seres humanos son racionales y toman decisiones sistemáticas basadas en la información disponible; por lo tanto, los motivos inconscientes no se consideran. Otros problemas incluyen la omisión de factores como la personalidad y las variables demográficas, así como la suposición de que el control conductual percibido predice el control conductual real, lo cual puede no ser siempre el caso (Mathieson, 1991). A pesar de sus limitaciones, tanto la Teoría de la Acción Razonada (TRA) como la Teoría del Comportamiento Planeado (TPB) han proporcionado modelos útiles para explicar y predecir el comportamiento real del individuo

El Modelo Motivacional (Motivational Model -MM) surgió de la Teoría Motivacional (Davis et al, 1992) y destaca la motivación como el factor más importante que afecta la conducta en diferentes campos (Deci, 1975). Los factores motivacionales se pueden agrupar en dos categorías principales: factores intrínsecos y extrínsecos (Deci, 1971) : la motivación intrínseca refiere al placer y la satisfacción inherente derivados de una actividad específica como el disfrute y la alegría (Deci, 1975; Vallerand, 1997; Venkatesh & Speier, 1999) y por el contrario, la motivación extrínseca enfatiza la realización de un comportamiento porque se percibe que es fundamental para lograr resultados valiosos diferentes de la actividad, como por ejemplo un aumento de salario o un mejor desempeño laboral (Lawler III & Porter, 1967; Venkatesh & Speier, 1999).

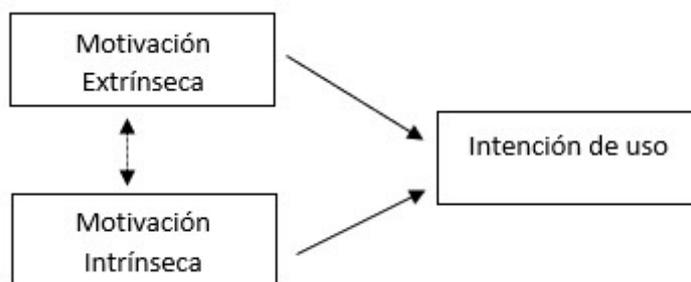


Figura 3: Esquema- Modelo Motivacional (MM)- Elaboración propia

Es posible destacar a la utilidad percibida, la facilidad de uso percibida y las normas subjetivas como ejemplos de motivación extrínseca. Davis et al (1992) aplicaron el modelo motivacional al dominio del uso de la tecnología y descubrieron que la intención de los trabajadores de oficina de usar computadoras depende principalmente de sus percepciones de cómo el uso de la computadora mejoraría su desempeño laboral (utilidad) en primer lugar y, en segundo lugar, del disfrute que experimentan al usar las computadoras. Un resultado particularmente sorprendente fue que, al determinar las intenciones, la utilidad se observó cuatro a cinco veces más influyente que el disfrute comprobando que las motivaciones

extrínsecas son mucho más importantes e influyentes a la hora de decidir sobre el uso de la tecnología.

Una visión diferente sobre los modelos que abordan la adopción de tecnología se ha inspirado en la Teoría Social Cognitiva (Social Cognitive Theory- SCT) que sostiene que el conocimiento de los individuos está relacionado con la información que obtienen de otros sujetos que realizan una conducta (Bandura, 1986). El comportamiento humano es el resultado de las interacciones entre el medio ambiente, los factores individuales y el comportamiento.

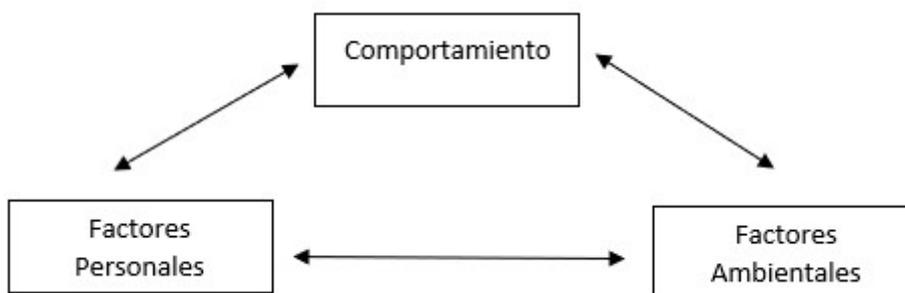


Figura 4: Esquema- Modelo de la Teoría Social Cognitiva-Elaboración propia

La interacción entre estos factores puede variar según el individuo, el comportamiento que se analiza y la situación específica en la que se realiza el comportamiento (Pajares, 2002).

La interacción entre las características del individuo y el medio ambiente destaca las expectativas humanas, las creencias y las habilidades cognitivas desarrolladas y modificadas por las influencias sociales y los factores físicos del medio ambiente. La interacción de los factores personales y el comportamiento tiene en cuenta la influencia de los pensamientos y sentimientos del individuo, las características biológicas y las acciones, enfatizando que las expectativas, creencias, metas e intenciones de los individuos moldearán y guiarán su comportamiento. Finalmente, la tercera interacción destaca cómo el entorno determina el tipo de comportamiento que desarrolla y desencadena un individuo.

Uno de los procesos que componen la Teoría Social Cognitiva es la autoeficacia, que refiere a los juicios de los individuos sobre su propia capacidad para realizar ciertas tareas y es un aspecto importante de la cognición social, los motivos y el comportamiento. Este proceso es particularmente relevante en las teorías de aceptación de la tecnología porque afecta la capacidad de las personas para aprender y realizar tareas que creen exitosas (Lunenburg, 2011).

Compeau y Higgins (1995) ampliaron el modelo original centrándose en el contexto del uso de la computadora y su formulación hizo posible la aplicación del modelo SCT a la evaluación de la aceptación de la tecnología. Los factores incluidos en el modelo son: calidad del producto: expectativas de rendimiento referidas a los resultados relacionados con el trabajo (Venkatesh et al. 2003; Compeau y Higgins 1995), expectativas de resultado: estima y el sentido de logro de las personas, autoeficacia: juicio de la capacidad del individuo para utilizar una tecnología (Venkatesh et al, 2003), disfrute percibido: gusto de un individuo por un comportamiento en particular y ansiedad informática: evocar reacciones ansiosas o emocionales cuando se trata de realizar el comportamiento.

Modelos de aceptación de la tecnología

El modelo de aceptación de tecnología (Technology Acceptance Model- TAM), presentado por Fred Davis hace más de un cuarto de siglo, se convirtió en un modelo dominante en la investigación de los factores que afectan la aceptación de la tecnología por parte de los usuarios. El modelo fue adaptado de TRA enfatizando que la intención de adopción está determinada por dos factores principales: Utilidad percibida, es decir, el grado en que un individuo cree que utilizando un sistema particular mejoraría su trabajo y la facilidad de uso percibida definida como el grado en el que una persona cree que el uso de un sistema en particular no supone ningún esfuerzo (Davis et al., 1989). Estos factores han sido estudiados antes del trabajo de Davis, destacando su importancia como predictores del comportamiento

de un individuo durante la adopción de un sistema de información. Schultz y Slevin, (1973) y Robey (1979) confirmaron la existencia de una fuerte correlación entre la utilidad percibida y el uso real del sistema, mientras que Tornatzky y Klein (1982) encontraron que la complejidad de una innovación es uno de los factores que más influyen en su adopción en una amplia gama de tipos de innovación.

Los estudios han confirmado que TAM explica aproximadamente el 40% de la variación total del comportamiento y la intención de utilizar la tecnología (Venkatesh & Davis, 2000).

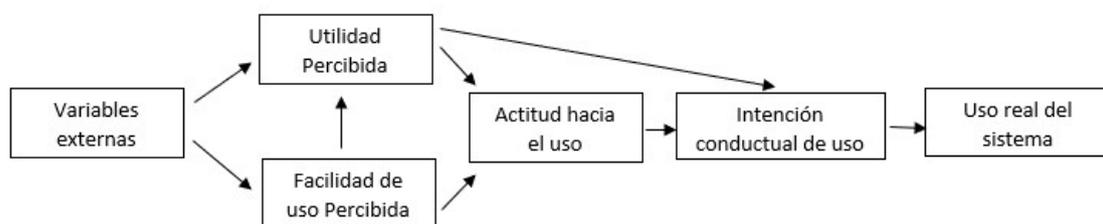


Figura 5: Esquema-Modelo de Aceptación de la Tecnología (TAM)-Elaboración propia.

A lo largo de los años TAM se ha perfeccionado y surgió una versión derivada de TRA y TPB, que es TAM2 donde se incorporaron factores adicionales relacionados con los procesos de influencia social (norma subjetiva, voluntariedad e imagen⁶) y procesos instrumentales cognitivos (relevancia del trabajo, calidad de la producción, demostrabilidad de los resultados y facilidad de uso percibida) (Venkatesh & Davis, 2000).

⁶ El grado en que un individuo percibe que el uso de una innovación mejorará su estatus en su sistema social (Moore & Benbasat, 1991).

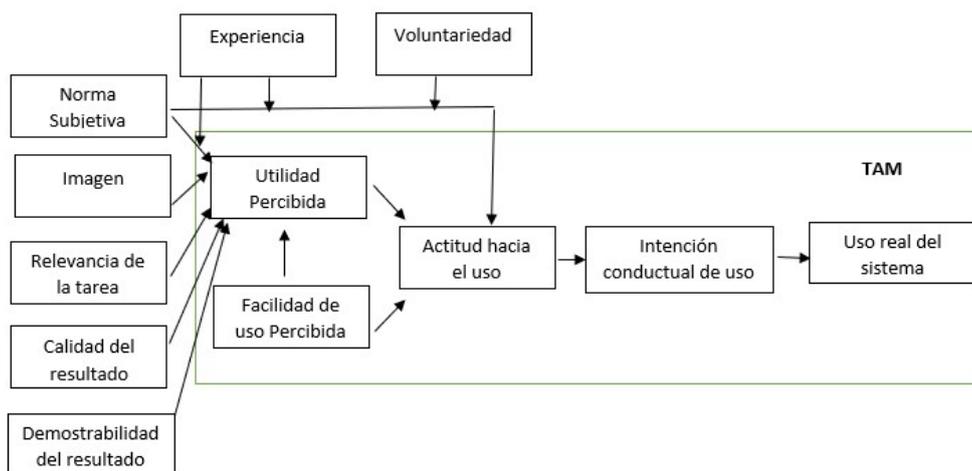


Figura 6: Esquema-Modelo TAM2-Elaboración propia.

Posteriormente Venkatesh y Bala (2008) propusieron otra versión extendida de TAM2, que ha sido etiquetada como TAM3 que introduce la experiencia como factor moderador de la relación entre tres pares de factores: (1) facilidad de uso y utilidad percibidas; (2) Ansiedad informática y facilidad de uso percibida y (3) Facilidad de uso percibida e intención conductual de adoptar.

A pesar de su uso frecuente, varios autores han destacado limitaciones en TAM como Bagozzi (2007) que argumenta que la intención de comportamiento puede no ser suficientemente representativa del uso real porque puede haber factores adicionales que podrían influir en la decisión final y asimismo cuestiona el hecho de que la intención de comportamiento sólo se forme como la suma de la utilidad de uso y la facilidad de percepción, ya que pueden existir otras creencias destacadas. En este sentido, TRA o TPB pueden ser mejores porque consideran creencias específicas de la situación que influyen en las actitudes. Lunceford (2009) argumenta que el marco de usabilidad y la utilidad percibida ignoran otros problemas como el costo y los requisitos estructurales que obligan a los usuarios a adoptar una tecnología mientras que Chuttur (2009) enfatiza su discutible valor empírico, su limitado poder explicativo y predictivo, su insuficiencia y su falta de valor práctico.

El modelo que combina TAM y TPB, denotado C-TAM-TPB (Taylor & Todd, 1995) comprende factores que surgen de ambos modelos: Actitud hacia la conducta, norma subjetiva, control conductual percibido y utilidad percibida.

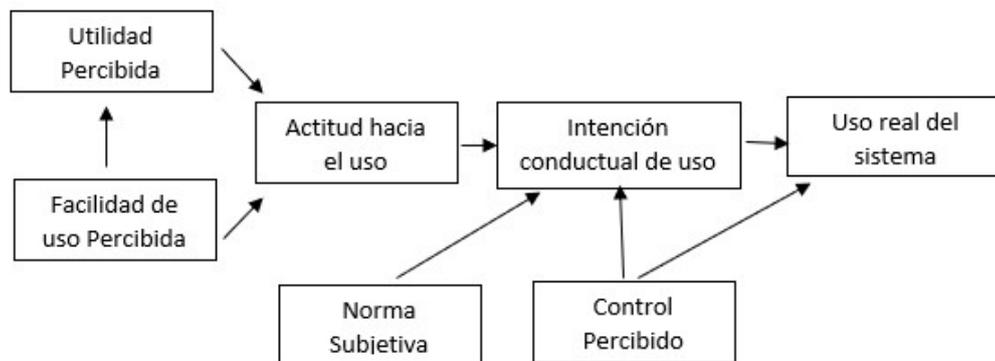


Figura 7: Esquema- Modelo C-TAM-TPB-Elaboración propia.

Taylor y Todd (1995a) argumentaron que este modelo es posible aplicarlo tanto a usuarios experimentados como inexpertos, mostrando en ambos grupos que todos los determinantes, excepto actitud, fueron significativos. Por lo tanto, esta versión del modelo podría utilizarse con éxito para predecir el comportamiento antes de la implementación de una tecnología.

El Modelo de utilización de PC (Model PC utilization -MPCU) permite una mejor comprensión de los determinantes del comportamiento introducidos a TRA (Triandis, 1979), evidenciando que las intenciones conductuales están determinadas por los sentimientos que los individuos tienen hacia la conducta (afecto), lo que creen que deberían hacer (factores sociales) y por las consecuencias esperadas de la conducta (Thompson et al., 1991). En otras palabras, el comportamiento se ve afectado por hábitos, intenciones y condiciones facilitadoras. Thompson et.al (1991) incluyeron esta teoría en el contexto de los sistemas de información para predecir el uso de PC en el lugar de trabajo considerando los siguientes factores en el modelo: relevancia del trabajo: medida en que un individuo cree que el uso de una tecnología puede mejorar el desempeño de su trabajo, complejidad: grado en que una innovación se percibe como relativamente difícil de entender y usar (Rogers & Shoemaker,

1971), consecuencias a largo plazo: resultados que tendrán una recompensa en el futuro (Thompson et al., 1991), afecto hacia el uso: afecto sentimiento de alegría, júbilo o placer, o depresión, disgusto, disgusto u odio asociado por un individuo con un acto en particular (Triandis, 1979), factores sociales: internalización del individuo de la cultura subjetiva del grupo de referencia y los acuerdos interpersonales específicos que el individuo ha hecho con otros, en situaciones sociales específicas (Triandis, 1979) y condiciones facilitadoras que en el contexto de los sistemas de información es un tipo de condición que puede influir en la utilización del sistema (Thompson et al., 1991).

Finalmente, la llamada Teoría Unificada de Aceptación y Uso de Tecnología (Unified Theory of Acceptance and Use of Technology -UTAUT) es un modelo desarrollado a través de la integración y posterior desarrollo de los modelos detallados anteriormente, dirigido a la intención de los usuarios de incluir sistemas de IT en su trabajo diario, Venkatesh et al. (2003) mostró que los modelos anteriores explicaron entre el 17% y el 53% de la variación. La expectativa de desempeño, expectativa de esfuerzo, influencia social y las condiciones facilitadoras se consideran los principales determinantes de la conducta, mientras que el género, edad, experiencia y la voluntariedad de uso se consideran factores moderadores (Venkatesh et al. 2003).

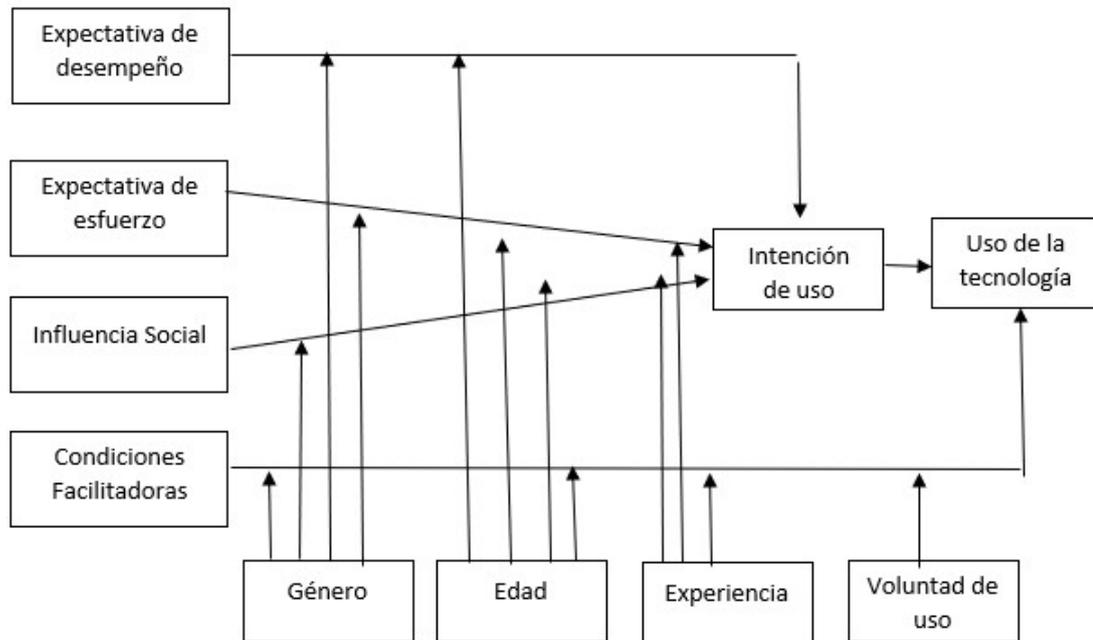


Figura 8: Esquema- Modelo UTAUT-Elaboración propia.

Posteriormente Venkatesh, et al (2012) presentaron una ampliación del modelo UTAUT incorporando constructos y relaciones adicionales clave constituyendo el modelo UTAUT2. Se incorporaron tres nuevos constructos: Motivación hedónica, valor del precio y hábito lo que incrementó la varianza explicada en la intención de la conducta del 53% al 74% y en el uso de la tecnología de un 40% a 52% en relación con el modelo anterior. La motivación hedónica se define como el disfrute o placer derivado del uso de una tecnología y se ha demostrado que juega un papel importante en la determinación de la aceptación y el uso de la tecnología (S. A. Brown & Venkatesh, 2005). El precio-valor se define como la compensación percibida por el consumidor entre los beneficios percibidos de las aplicaciones y los costos monetarios de usarlas (Dodds et al., 1991) y se incorporó al modelo como predictor del comportamiento previsto para utilizar la tecnología, evidenciando un impacto positivo cuando se percibe que los beneficios de usar la tecnología superan los costos monetarios. En referencia al hábito se ha definido como la medida en que los individuos tienden a realizar comportamientos automáticamente debido al aprendizaje y se ha demostrado que tiene un efecto directo en el uso de la tecnología (Limayem et al, 2007).

El agregado en el modelo de la motivación hedónica, el precio-valor y sus interacciones permitió extender el alcance al entorno del consumidor.

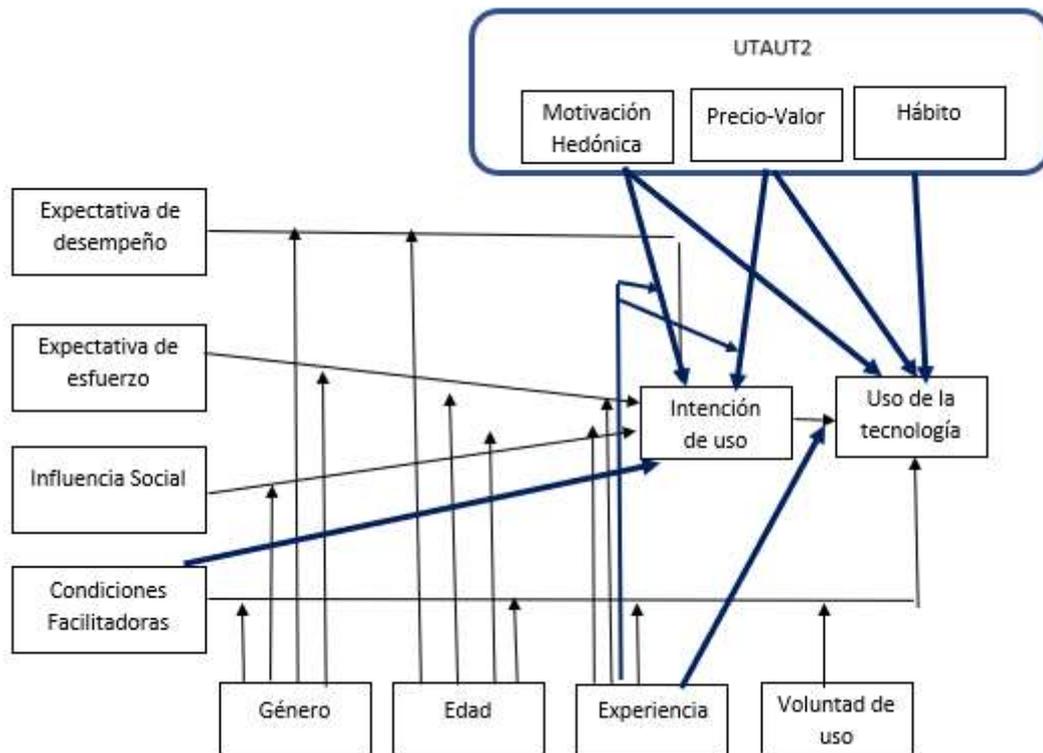


Figura 9: Esquema – Modelo UTAUT2-Elaboración propia.

Modelos de adopción por etapas

En los modelos de adopción por etapas, las transiciones entre etapas son impulsadas por la información donde el individuo tomador de decisiones pasa de una etapa a la siguiente dependiendo de la acumulación de información y la velocidad para procesarla (Lindner et al, 1982). Es muy útil conceptualizar el concepto de adopción como un proceso por etapas ya que permite hacer foco en parámetros que afectan etapas específicas.

Lindner et al (1982) destaca que el tiempo total entre una innovación y la decisión de un individuo de adoptarla puede conceptualizarse como la suma de los siguientes tres períodos de tiempo: Retraso de la fase de descubrimiento (Discovery Stage Lag -DSL) que se define como el tiempo transcurrido entre la disponibilidad de una innovación y el momento en que

el tomador de decisiones se da cuenta de su presencia, el tiempo de evaluación (Evaluation Stage Lag -ESL) que es el tiempo transcurrido entre el conocimiento y el primer intento de utilizar una nueva técnica y el retraso del período de prueba (Trial Stage Lag -TSL) que se precisa como el tiempo transcurrido desde el inicio de una prueba hasta que el tomador de decisiones acepta la innovación. Se argumenta que la recopilación y evaluación de información juega un papel central en estas tres etapas, y la diferencia en la naturaleza de la información recopilada es la característica clave que distingue cada etapa de las otras dos.

Una de las escuelas de pensamiento más ricas es la teoría de la difusión de la innovación (IDT⁷) que destaca que la adopción engloba una gama de decisiones y acciones que reflejan los diferentes estados cognitivos que experimentan los individuos al adoptar una innovación (Rogers, 1983). La fuerza de esta teoría radica en la amplia base que proporciona para comprender los factores que influyen en las elecciones de un individuo sobre una innovación. Organiza el proceso de adopción en cinco etapas, desde el conocimiento, pasando por la persuasión y la decisión de adoptar o rechazar, hasta la implementación y finalmente la confirmación de la nueva tecnología (Rogers, 1995b). La teoría explica la tasa de progreso en el proceso por medio de cinco factores relacionados con la tecnología: percepciones de los tomadores de decisiones sobre su ventaja relativa, compatibilidad, complejidad, capacidad de prueba y observabilidad. También considera una serie de factores relacionados con el adoptante como la educación, la riqueza, el nivel socioeconómico o la movilidad, la actitud favorable hacia el crédito, las operaciones especializadas, la empatía, el dogmatismo, el fatalismo, la capacidad de lidiar con la abstracción, la actitud hacia el cambio, la actitud hacia la ciencia y la motivación para el logro.

⁷ Innovation Diffusion Theory

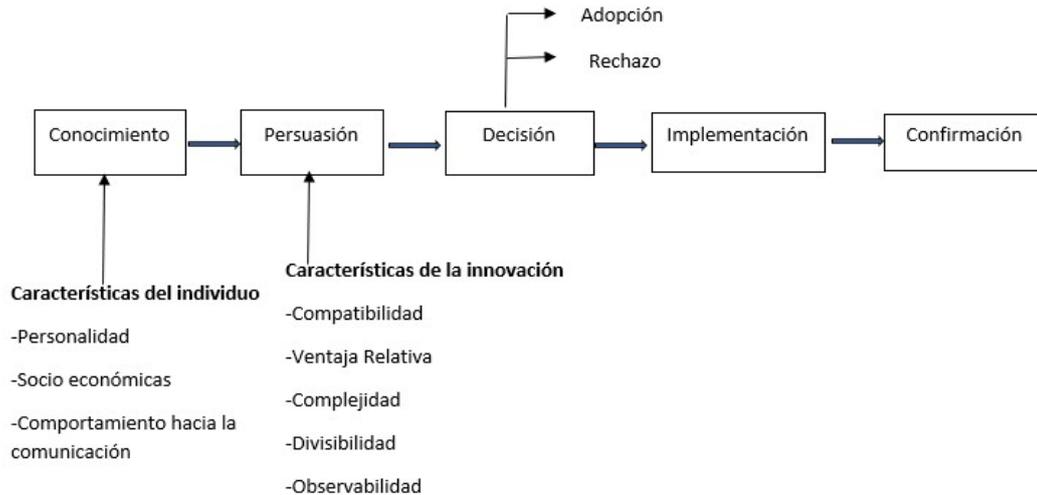


Figura 10: Etapas del Proceso de adopción de una innovación (Rogers,1983)-Elaboración propia.

Las características de la innovación son predictores significativos de la tasa de adopción de una tecnología y, según Rogers, explican entre un 49% y un 87% de la varianza en la tasa de adopción de innovaciones.

Cooper y Zmud (1990) y posteriormente Saga y Zmud (1994) introdujeron un proceso organizado en etapas para adoptar la innovación de tecnologías de la información, incluidas las etapas de preaceptación, aceptación y posaceptación (Fichman, 2001; Hameed et al., 2012). La etapa de aceptación precede a la conciencia o necesidad de una innovación (Cooper & Zmud, 1990; Fichman, 2001; Rogers, 1983) y las necesidades se desarrollan a partir de la tensión entre los deseos personales y las circunstancias, e impulsan a los individuos a adquirir conocimientos sobre las características de la innovación. (Rogers, 1983). En la fase de aceptación de la adopción de tecnología, los usuarios deciden aceptar (o rechazar) la innovación y se comprometen a implementarla en los procesos de trabajo (Cooper & Zmud, 1990). Las decisiones tomadas sobre la base de creencias o percepciones iniciales se traducen en actitudes positivas o negativas hacia la innovación y su uso (Rogers, 1983).

Saga y Zmud (1994) operacionalizaron el comportamiento en la fase de aceptación en términos de frecuencia y duración de uso. Sin embargo, la etapa de adopción es solo una etapa intermedia hacia formas más intensivas de uso y asimilación, y no excluye el rechazo de la innovación en las etapas posteriores (Rogers, 1983; Zhu et al, 2006). En contraste con las corrientes basadas en TAM este punto de vista sostiene que la aceptación no es suficiente para predecir el logro de los resultados deseados de la tecnología.

Conclusión del capítulo

Se presentaron en este capítulo los diferentes modelos conceptuales de adopción aportando una visión general para explicar el fenómeno desde distintas perspectivas. Se mencionan varias teorías, incluyendo la Teoría de la Acción Razonada (TRA), la Teoría del Comportamiento Planeado (TPB), el Modelo Motivacional (MM), la Teoría Social Cognitiva (SCT) y el Modelo de Aceptación de Tecnología (TAM) que abordan diferentes factores, como actitudes, normas subjetivas, control conductual percibido, motivación y autoeficacia, para explicar y predecir el comportamiento del individuo en relación con el uso de tecnologías. Asimismo, se destacan los modelos de adopción por etapas y cómo las características de la innovación son predictores significativos de la tasa de adopción de una tecnología. En general, estos modelos y teorías proporcionan un marco útil para comprender los factores que influyen en la aceptación y el uso de la tecnología por parte de los usuarios.

Capítulo 2

Introducción del capítulo

La innovación agrícola es un proceso complejo que implica la introducción y el uso de nuevas tecnologías, prácticas o conocimientos en el sector. La innovación puede tener diversos impactos en la productividad, la rentabilidad, la sostenibilidad y el bienestar de los productores y la sociedad. Sin embargo, la adopción de la innovación no es automática ni uniforme, sino que depende de múltiples factores que pueden facilitarla o dificultarla. El presente capítulo proporciona una visión detallada de la investigación de la innovación en el ámbito agrícola y cómo los diferentes modelos y teorías desarrollados en el capítulo anterior han sido utilizados para analizar la adopción tecnológica en este ámbito. Se mencionan estudios elaborados por diferentes autores y se discuten los resultados logrados identificando factores como predictores importantes de la adopción y como interactúan entre sí para determinar el comportamiento del individuo.

Investigación sobre innovación en el ámbito agrícola

La investigación de la innovación en la agricultura ha evolucionado hacia una literatura prolífica con diferentes modelos que intentan responder disímiles cuestiones, analizando la adopción en entornos específicos o en diferentes escalas, utilizando diferentes supuestos, datos y métodos. Una primera formulación matemática para explicar la difusión de la innovación agrícola en semilla de maíz híbrido fue realizada por los sociólogos Ryan y Gross (Ryan & Gross, 1943), posteriormente (Griliches, 1957) realiza uno de los primeros estudios de los factores de adopción de tecnología en la agricultura, destacando la importancia de los factores económicos, partiendo de la perspectiva sociológica entonces prevalente.

Consecutivamente se realiza una revisión exhaustiva de la investigación sobre innovación agrícola (Feder et al, 1985; Feder & Umali, 1993) prestando especial atención a los países en desarrollo, donde la agricultura representa una mayor parte de la economía, y la innovación ha sido más lenta. Analizan la gama de factores que influyen en la adopción de tecnología, incluidos el crédito, el acceso a la información, la aversión al riesgo, el tamaño de la granja (como sustituto del acceso al crédito, la información y la escasa capacidad de entrada y de riesgo), los acuerdos de tenencia, el capital humano, la escasez de mano de obra, la confiabilidad del suministro de insumos y la infraestructura de transporte. También informan los métodos estadísticos empleados, y descubren que la variable de adopción generalmente se simplifica como binaria. El segundo documento agrega otros factores: el riesgo percibido, especialmente asociado con el crédito, la divisibilidad tecnológica y la estabilidad de precios.

Ghadim y Pannell (1999) destacan el riesgo como factor relevante en las decisiones agrícolas acentuando dos dimensiones del mismo: la actitud del productor y el riesgo inherente que implica la decisión tecnológica. Estos autores enfatizan también que la percepción de esto último por parte del productor puede influir en la innovación y consideran el proceso de adopción como un problema de decisión dinámico que incorpora el valor de la información obtenida al probar la innovación. Asimismo, tienen en cuenta las percepciones personales del productor, sus capacidades de gestión, sus preferencias de riesgo y los factores sociodemográficos.

Daberkow y McBride (2003) cuantifican el papel de la conciencia en la decisión de adoptar tecnologías de agricultura de precisión y exploran cómo los programas de información, tanto públicos como privados, pueden influir en su difusión. Mediante un modelo logístico en dos etapas, identificaron factores como la educación del productor, los conocimientos de informática, la dedicación a tiempo completo a la agricultura, el tamaño del campo, la edad,

el tipo de campo y la ubicación como elementos que impactan en el conocimiento y la adopción de estas tecnologías.

Adrian (2006) aplicó el modelo transteórico, originalmente propuesto por (Prochaska & Norcross, 2001), como un marco analítico para examinar la adopción de prácticas de agricultura de precisión. Este modelo teórico se compone de cinco etapas que delimitan el proceso a través del cual un individuo contempla un cambio, se prepara para él, lo implementa y finalmente lo mantiene. Cada etapa representa una fase única en el camino hacia el cambio de comportamiento sostenido. Asimismo (Pannell et al, 2006) esbozó un proceso por etapas a nivel campo que consta de las siguientes etapas: concientización, evaluación no relacionada con el ensayo, evaluación del ensayo, adopción, revisión y modificación y no adopción. Se destaca la importancia de la toma de conciencia y el interés en las etapas iniciales, la evaluación de la innovación en función de la ventaja relativa y compatibilidad con sus objetivos y contexto. La etapa de prueba se menciona como un paso crucial en este estudio, donde los propietarios participan en pruebas a pequeña escala para experimentar la innovación y aprender sobre sus beneficios, efectividad y viabilidad. Se enfatiza la etapa de evaluación, donde los propietarios evalúan la innovación en función de su ventaja relativa y su compatibilidad con sus objetivos y contexto.

En su investigación sobre la aceptación de usuarios sobre un sistema de información de gestión del conocimiento, (Folorunso & Ogunseye, 2008) encontraron que todos los constructos del modelo TAM eran buenos predictores del comportamiento y además incorporaron a este modelo, factores sociales y condiciones facilitadoras del Modelo de utilización de PC (MPCU) y hallaron un efecto positivo en la intención de adoptar tecnologías de agricultura de precisión. En línea con estos hallazgos, Adrian (2006) y Kurosh & Saeid (2010) observaron que el tamaño de la explotación, las percepciones del beneficio

neto, el género y la conciencia tecnológica eran buenos predictores de la adopción tecnológica.

J. Zhang et al (2008) comprobaron que la utilidad percibida, la facilidad de uso percibida, la intención de aprendizaje, la preferencia por el riesgo y la experiencia se destacan como factores importantes afectando positivamente el comportamiento de los agricultores al adoptar sistemas de información de mercado y los ingresos y la educación también pueden afectar la decisión en ese sentido.

Abera (2008) utilizó un modelo de efectos aleatorios para examinar el aprendizaje y el riesgo de los agricultores sobre la probabilidad y la intensidad de adopción de tecnologías mejoradas de trigo en Etiopía enfatizando la importancia del aprendizaje y las experiencias como impulsores de la adopción continua. Los resultados indicaron que el conocimiento, la disponibilidad oportuna y la rentabilidad de nuevas variedades de trigo mejoraron el aprendizaje y la experiencia de los agricultores influyendo positivamente en la adopción.

La utilidad percibida se destaca afectando positivamente la motivación de los productores en la capacitación sobre el sistema de información de gestión agrícola (Farm Management Information System-FMIS) en Taiwán como sugiere el trabajo de (Hsiu-Ping & Yi-Lin, 2010). El uso, la confiabilidad, la disponibilidad, el ahorro de recursos, la conveniencia, la facilidad de uso y la conectividad se destacan, según (Nikkilä et al., 2010), como características críticas para los usuarios finales de los sistemas de información de gestión agrícola.

Aubert et al (2012) combinaron la teoría de la difusión de la innovación (IDT) con el Modelo de aceptación de la Tecnología (TAM) para abordar la adopción de la agricultura de precisión. La adopción se explica a través de la facilidad de uso, la utilidad percibida y los factores demográficos. Se descubrió que la facilidad de uso está influenciada por la

compatibilidad, la calidad del soporte y el conocimiento, mientras que la utilidad percibida está influenciada por la compatibilidad, la ventaja relativa y el acceso a la información. En cuanto a los aspectos demográficos, se destaca que la innovación y la educación del agricultor influyen en la adopción, aunque no ocurre lo mismo con la edad con la edad y el tamaño de la granja. El estudio emplea el modelado SEM-PLS⁸; sin embargo, el proceso de adopción también se simplifica a un fenómeno binario.

En cuanto a la Teoría del Comportamiento Planeado (TPB) según (Herath, 2013; Lynne et al., 1995), la intención de adoptar prácticas tecnológicas se asocia con la actitud hacia la conducta, normas subjetivas, percepción de control y otras características sociodemográficas como edad y género. A pesar de que la educación no está incluida en la teoría original, Herath (2013) reveló que es un buen predictor de la conducta. Además, Sharifzadeh et al (2012) mostraron que, entre los productores de trigo, aquellos que tenían una actitud positiva para utilizar la información en su decisión agrícola estaban más predispuestos a implementar tecnologías nuevas e innovadoras.

Lu et al (2015) enfatizan que el rol del gobierno es relevante en la adopción de nuevas tecnologías, ya que la intervención gubernamental a través de sus políticas y regulaciones tiene un impacto positivo en la intención de utilizar estas tecnologías, facilitando el acceso y promoviendo así su adopción. Además, el disfrute y la utilidad percibida son considerados elementos importantes para los agricultores en su decisión de adoptar o no una tecnología

Conclusión del capítulo

En este capítulo se ha realizado una revisión de la literatura sobre innovación agrícola, destacando los principales modelos, estudios y factores que han abordado el tema de la

⁸ Structural equation modeling- Partial least squares

adopción de nuevas tecnologías con hallazgos, que han contribuido a comprender mejor el fenómeno de la adopción en el sector evidenciando cómo la investigación ha pasado de una perspectiva sociológica a una económica, y cómo se han incorporado diferentes factores que influyen en la decisión de los productores de adoptar o no una innovación, tanto en los países desarrollados como en los países en desarrollo. Se ha señalado también algunas de las limitaciones y simplificaciones que se han hecho en el análisis de la adopción, como la reducción a una variable binaria, la omisión de algunos factores relevantes y la falta de consideración de las diferencias entre las tecnologías y los contextos. Se enfatiza el papel del riesgo como un factor clave en las decisiones sobre la adopción con dos dimensiones destacadas: la actitud del productor y el riesgo inherente a la tecnología afectando ambos la percepción y el comportamiento de los individuos. También se destacan factores que han resultado ser buenos predictores de la adopción, como la utilidad percibida, la facilidad de uso percibida, el tamaño del campo, el género, la conciencia tecnológica y la experiencia, considerados como promotores de tecnologías de agricultura de precisión para mejorar su aceptación y difusión.

Se evidencia que la innovación agrícola es un proceso complejo y dinámico, que depende de múltiples variables económicas, sociales, institucionales y ambientales con impactos diversos en la productividad, la rentabilidad, la sostenibilidad y el bienestar de los productores y la sociedad.

Capítulo 3

Introducción del capítulo

La toma de decisiones es una realidad cotidiana, ya que todos los individuos enfrentan cuantiosos hechos y circunstancias que conducen a ello. Es un proceso donde se inquiera definir con exactitud la naturaleza de una necesidad, generar soluciones alternativas, evaluarlas y por último seleccionar entre las alternativas disponibles a efectos de satisfacer la necesidad (Krieger et al, 2010).

En el proceso de innovación- decisión el individuo pasa del primer conocimiento de una innovación, a la formación de una actitud hacia ella, a una decisión de adoptar o rechazar, a la implementación y uso de la nueva idea, y a la confirmación de esta decisión. Reside en una serie de elecciones y acciones a lo largo del tiempo a través de las cuales un individuo o un sistema evalúan una nueva idea y decide si incorporarla o no a su práctica actual. Este comportamiento consiste esencialmente en tratar con la incertidumbre intrínsecamente involucrada en la decisión sobre una nueva alternativa a una idea que existía previamente. La incertidumbre es la condición que prevalece cuando se sabe cuáles son las metas que se desea conseguir, pero la información acerca de las alternativas de solución y de los eventos futuros no permite asignar certeza a los resultados esperados (Krieger et al, 2010), de forma que, la novedad percibida de una innovación, y la incertidumbre mancomunada con esta novedad, es un aspecto característico de la toma de decisiones de innovación. La decisión de un individuo sobre la adopción de una innovación no es un acto instantáneo, sino que es un proceso que ocurre a lo largo del tiempo y consiste en una serie de acciones diferentes

Para comprender el proceso de decisión de adopción e implementación de nuevas tecnologías, este capítulo hace foco en el modelo transteórico del cambio de comportamiento-TTM (Transtheoretical Model of Behavior Change) (Prochaska et al.,

1988; Prochaska & Norcross, 2001), desarrollado por psicólogos, que postula que los individuos atraviesan distintas etapas al tomar conciencia de la posibilidad de un cambio, de la decisión de adoptar, de la implementación de un cambio o del mantenimiento de ese cambio.

Estas etapas son dinámicas, ya que los individuos que se encuentran en cada una de ellas difieren del resto en muchos aspectos. Es importante comprender los factores que afectan cada una de estas etapas para poder así avanzar y mejorar el proceso de adopción de nuevas tecnologías

Modelo Transteórico del Cambio de Comportamiento

El modelo transteórico del cambio (TTM) consiste en un modelo de psicoterapia y cambio de comportamiento que involucra todo el espectro de las principales teorías, de ahí el nombre transteórico, logrando una integración sofisticada de los sistemas de psicoterapia preservando las contribuciones valiosas y únicas de cada uno de ellos. Se consolidó durante los años noventa en el área de promoción y prevención de la salud brindando posibilidades a efectos de crear y elaborar intervenciones considerando las características de las poblaciones o grupos a considerar.

El modelo se basa en los siguientes constructos centrales: las etapas de cambio y los procesos de cambio, lo que permite conseguir comprender por qué algunos individuos no logran cambiar o requieren múltiples intentos para lograrlo.

Etapas de Cambio

Se postula el cambio como un proceso que se desarrolla a lo largo del tiempo, progresando a través de una serie de etapas, siendo esto una contribución destacada del modelo transteórico. Las etapas proporcionan una dimensión temporal, en la que el cambio se

desarrolla con el tiempo reflejando no solo un período sino también un conjunto de tareas requeridas para pasar a la siguiente etapa.

Las etapas se detallan en la tabla 1 y encarnan constelaciones específicas de actitudes, intenciones y comportamientos concernientes con la preparación de un individuo en el ciclo de cambio.

Etapas de Cambio	Descripción
Precontemplación	Los individuos no tienen la intención de actuar en el corto plazo porque no están lo suficientemente informados sobre las consecuencias de su comportamiento o porque han intentado cambiar varias veces y se han desmoralizado.
Contemplación	Los individuos tienen la intención de cambiar su comportamiento, son más conscientes de las ventajas y desventajas del cambio que los precontempladores, pero aún no están preparados. Son conscientes de que existe un problema, pero aún no han desarrollado un compromiso firme de cambio.
Preparación	Esta etapa combina criterios de intención y comportamiento donde los individuos tienen la intención de actuar de inmediato y reportan pequeños cambios de comportamiento debiendo establecer metas y prioridades.
Acción	Los individuos modifican su comportamiento, experiencias y/o entorno para superar sus problemas. Esta etapa requiere un compromiso considerable de tiempo y energía implicando los cambios conductuales más notorios.
Mantenimiento	En esta etapa los individuos trabajan para prevenir recaídas y consolidar los logros alcanzados durante la acción, No consiste en una ausencia de cambio, sino en una continuación activa del mismo, aunque de menor actividad.

Tabla 1: Etapas de Cambio- Descripción-Elaboración propia

Procesos de Cambio

Son actividades encubiertas o abiertas en las que los individuos se involucran para alterar las emociones, el pensamiento, el comportamiento o las relaciones con problemas particulares o patrones de vida. Los procesos de cambio brindan guías importantes para los programas de intervención, ya que son como variables independientes que los individuos deben aplicar para pasar de una etapa a otra. Estos procesos surgieron teóricamente a partir de un análisis comparativo de los principales sistemas de psicoterapia (Prochaska & DiClemente, 1982). En la tabla 2 se detallan los 10 procesos de cambio propuestos por el modelo.

Procesos de cambio	Descripción
Procesos de cambio cognitivos	
Concientización	Incremento del procesamiento de información en relación con la problemática asociada a conductas adictivas y a los beneficios de modificarla.
Catarsis/alivio dramático	Aumentar las emociones negativas o positivas a efectos de motivar la adopción de medidas apropiadas
Autoreevaluación	Valoración cognitiva y afectiva de la propia imagen del individuo. Reconocer la mejoría que representa para su vida abandonar el hábito adictivo.
Reevaluación ambiental	Evaluación cognitiva y afectiva de cómo la presencia o ausencia de un comportamiento afecta el entorno social.
Liberación social	Toma de conciencia de la representación social de la conducta adictiva y de la voluntad social de combatirla acrecentando las alternativas disponibles.
Procesos de cambio conductuales	
Autoliberación	Creencia de que uno puede cambiar y el compromiso de actuar sobre esa ella.
Contracondicionamiento	Aprender comportamientos más saludables que pueden sustituir los comportamientos problemáticos
Control de estímulos	Eliminar los hábitos poco saludables y agregar indicaciones para alternativas más saludables.
Manejo de la contingencia	Recompensarse a sí mismo o ser recompensado por otros por progresar
Relación de ayuda	Utilización del apoyo social para facilitar el cambio en la conducta adictiva

Tabla 2: Procesos de Cambio- Descripción- Elaboración propia.

Integración de las etapas y los procesos de cambio

La unificación de las fases y los procesos de cambio proporciona una guía valiosa para los psicoterapeutas. Al identificar la fase de cambio en la que se encuentra un individuo, el terapeuta puede determinar qué procesos implementar para facilitar la transición del paciente a la siguiente fase de cambio. La Tabla 3 ilustra la relación entre las fases y los procesos de cambio (Prochaska, 1995), destacando los procesos más frecuentemente empleados en cada fase de cambio

Precontemplación	Contemplación	Preparación	Acción	Mantenimiento
Concientización				
Catarsis				
	Reevaluación ambiental			
	Auto-reevaluación			
		Auto-liberación		
			Manejo de la contingencia	
			Control de estímulos	
			Contra-Condicionamiento	

Tabla 3: Integración entre Etapas y Procesos de cambio-Elaboración propia.

Durante la etapa de precontemplación, los individuos utilizan los procesos de cambio en menor medida que aquellos en cualquier otra etapa, ya que, procesan menos información sobre sus dificultades, experimentan pocas reacciones emocionales a los aspectos negativos de sus problemas y son menos abiertos con su entorno. Para ayudar a los individuos a pasar de la etapa de precontemplación a contemplación se sugiere que los métodos de concientización pueden ayudar a los pacientes a ser más reflexivos de las causas, las consecuencias y la cura de sus problemas. El proceso de catarsis proporciona experiencias motivadoras que permiten liberar emociones relacionadas con conductas problemáticas.

Durante la fase de contemplación, los individuos tienden a ser más receptivos a la toma de conciencia. Se vuelven cada vez más introspectivos, adquiriendo una mayor comprensión de sí mismos y de la naturaleza de sus problemas. Esta apertura les permite reevaluar su situación tanto a nivel emocional como cognitivo con mayor libertad. El proceso de auto-reevaluación está presente e incluye una apreciación de aquellos valores que los individuos tratarán de actualizar, actuar y hacer realidad, considerando profundamente los efectos que sus comportamientos ejercen en su entorno, especialmente en las personas que más les importan.

Para avanzar hacia la etapa de acción, es crucial que los individuos operen desde un lugar de auto-liberación o voluntad propia, ya que necesitan tener la convicción de que poseen la autonomía para realizar cambios significativos en sus vidas. La auto-liberación se fundamenta, en parte, en un sentido de autoeficacia (Bandura, 1977, 1982), es decir, la confianza en que los esfuerzos personales son vitales para superar situaciones desafiantes.

La fase de acción, no obstante, exige más que una mera fundamentación afectiva y cognitiva. Los individuos deben demostrar competencia en procesos conductuales, tales como el contra-condicionamiento, la administración de contingencias y el control de estímulos, para enfrentar situaciones que podrían inducirlos a recaer. En esta etapa, es imperativo proporcionar formación en habilidades vinculadas a los procesos conductuales para incrementar la probabilidad de éxito cuando los individuos emprenden acciones. Esta perspectiva proporciona una visión más profunda de la psicología del cambio y la transformación personal.

Dinámica del cambio. Variables mediadoras hacia el cambio

El modelo transteórico integra las etapas con los procesos de cambio proporcionando una forma para intervenir de manera jerárquica y eficaz en una amplia gama de contenido

terapéutico. El cambio de comportamiento efectivo depende de hacer las cosas correctas (procesos) en el momento correcto (etapas), de forma de lograr que coincidan los procesos de cambio con la etapa a fin de aumentar la probabilidad de una psicoterapia más exitosa y fluida

Las dimensiones formuladas por el modelo conciertan la estructura del cambio (Prochaska & DiClemente, 1982) proporcionando un marco conceptual para encuadrar la acción terapéutica en conductas adictivas ya que hacen referencia al cómo, cuándo y qué se cambia. De acuerdo con este enfoque, un tratamiento integral radicaré en la incentivación diferencial de los procesos de cambio apropiados a cada una de las etapas dependiendo del nivel de problema tratado, ya que al integrar las tres dimensiones es viable alcanzar una intervención jerárquica y sistemática en el contexto de una extensa gama de instrumentos y estrategias terapéuticas.

Este requerimiento implica profundizar en el entendimiento y la interconexión de otras variables que determinan el curso del cambio. Por lo tanto, los autores del modelo han incorporado dos variables cognitivas asociadas al proceso de toma de decisiones en relación con la conservación o modificación del comportamiento. Estas variables, desarrolladas por otras teorías, son el *balance decisional* y la *autoeficacia*, las cuales han demostrado tener un peso empírico y teórico significativo en el modelo.

Balance decisional

Este constructo representa la evaluación realizada por el individuo de los beneficios y desventajas asociados al cambio. Este concepto se originó a partir del modelo de toma de decisiones propuesto por Janis y Mann (1977), que incluía cuatro categorías de beneficios: ganancias instrumentales para uno mismo y para los demás, y aprobación de uno mismo y de los demás. Asimismo, el modelo contemplaba cuatro categorías de desventajas: costos

instrumentales para uno mismo y para los demás, y desaprobación de uno mismo y de los demás.

La percepción de los beneficios y desventajas asociados a la conducta problemática juega un papel crucial en el avance del proceso de cambio, especialmente en las etapas de precontemplación, contemplación y preparación. Sin embargo, esta percepción pierde relevancia en las etapas de acción y mantenimiento (Velicer et al., 1985). En la etapa inicial de precontemplación, se observan más beneficios que desventajas. La magnitud percibida de las desventajas aumenta durante la etapa de contemplación hasta alcanzar un equilibrio con los beneficios. Este equilibrio en el balance decisional explica por qué la mayoría de los individuos permanecen en la etapa de contemplación durante un período prolongado.

En las etapas de preparación y acción, la percepción de las desventajas tiende a superar a la de los beneficios. Es notable que, en la etapa de acción, la importancia del balance decisional en la predicción del cambio disminuye. Finalmente, en la etapa de mantenimiento, la influencia de esta variable se reduce, siempre y cuando se mantenga un balance en contra de la conducta adictiva.

Es relevante subrayar que, si se interpreta el balance decisional como una percepción de las consecuencias futuras de una conducta alternativa, esto se alinea con el concepto de expectativas de resultados derivado de la Teoría Social Cognitiva (Bandura, 1986). Este concepto contribuye a determinar el inicio y mantenimiento de la conducta humana en interacción con la variable de expectativas de autoeficacia, que actúa como mediadora entre la conducta y el entorno (Bandura, 1977, 1982)

Autoeficacia

La autoeficacia está conformada por los juicios sobre el grado en que uno mismo puede establecer patrones de acción requeridos para tratar con situaciones futuras que contienen

elementos ambiguos, impredecibles y a menudo estresantes (Bandura, 1986). Es un proceso cognitivo de evaluaciones o valoraciones percibidas sobre la competencia del individuo para realizar apropiadamente una tarea en un contexto específico que influye en el esfuerzo dedicado, en la elección, los pensamientos, las conductas ante un escenario conflictivo y las reacciones emocionales. Se ha constatado que no es la evaluación objetiva de las habilidades de un individuo lo que determina su comportamiento, sino sus percepciones subjetivas de las mismas (Prabhu et al., 2012) . En otras palabras, la autoeficacia percibida en un dominio específico es lo que motiva a actuar (Markman et al., 2002). En los casos de recuperación de adicciones se enfatiza la importancia de estas valoraciones ante situaciones evocadas de tentación y deseo con relación al tratamiento cognitivo- conductual (Annis & Davis, 1989). Diversos autores han encontrado relación significativa entre las evaluaciones de la autoeficacia y el mantenimiento exitoso en el abandono del alcohol (Annis, et al; 1989) y del tabaco (DiClemente, 1981) evidenciando que este constructo es un predictor del éxito en el cambio.

Los individuos con un bajo nivel de autoeficacia tienden a ser pesimistas y es menos probable que intenten o mantengan un comportamiento o tienden a evitar ciertas situaciones. Por el contrario, cuando una persona siente un alto nivel de autoeficacia, es más probable que confíe en su capacidad para tener éxito. Los individuos tienden a seleccionar tareas y actividades en las que se sienten competentes y evitan aquellas en las que no lo hacen. Está fuertemente influenciada por la experiencia previa con una tarea de comportamiento en particular,

Con una mirada en los estadios de cambio, la autoeficacia resulta ser un predictor importante del paso de preparación hacia acción y mantenimiento, pero no del avance en los estadios previos (DiClemente et al., 1985), ya que en dichos estadios los individuos aún no se han comprometido a actuar.

Conclusión del capítulo

Durante el capítulo se presentó el modelo Transteórico del Cambio como base esencial para este trabajo aportando una visión gradual de la disposición de los individuos al cambio para poder así avanzar y mejorar el proceso de adopción tecnológica en el sector agrícola. Este modelo integra diferentes teorías de psicoterapia y cambio de comportamiento y se fundamenta en las etapas desde la precontemplación hasta la acción y los procesos de cambio explicando las dificultades y los avances de los individuos en su camino hacia el cambio. Se enfatiza la importancia de la concientización, la auto-reevaluación y la auto-liberación como procesos clave para el cambio de comportamiento, resaltando el papel de la autoeficacia, las habilidades conductuales y el manejo de las situaciones de riesgo. El balance decisional se relaciona con las etapas de cambio, mostrando que los individuos cambian su percepción de los pros y los contras a lo largo del proceso, siendo este constructo más relevante en las etapas iniciales de precontemplación, contemplación y preparación, y menos en las etapas finales de acción y mantenimiento. Finalmente se acentúa la autoeficacia y su influencia en la motivación, la persistencia y el éxito en el cambio variando según el nivel de confianza y competencia que los individuos perciben.

Capítulo 4

Introducción del capítulo

Los datos categóricos desempeñan un papel importante en muchos análisis estadísticos y aparecen siempre que se observan los resultados de una o más variables categóricas. Una variable categórica puede verse como una variable cuyos posibles valores forman un conjunto de categorías, que pueden ser finitas o, en el caso de los datos de conteo, infinitas. Las variables para las que las categorías de respuesta son cualitativas sin orden se denominan nominales como: género, elección de una marca, color del cabello o nacionalidad. Sin embargo, muchas veces surge la necesidad de ordenar las categorías de una variable categórica, por ejemplo, la severidad de los síntomas (ninguno, leve, moderado, severo) o el grado de acuerdo en un cuestionario (totalmente en desacuerdo, levemente en desacuerdo, totalmente de acuerdo). Variables de este tipo se miden en un nivel de escala ordinal y, a menudo, se denominan simplemente ordinales. Este capítulo analiza en profundidad los modelos de respuesta ordinal que utilizan información de orden en la variable de respuesta, destacando la importancia de los modelos secuenciales que posibilitan reflejar la sucesiva transición a categorías superiores en un modelo paso a paso finalizando con el apartado de inferencia en este tipo de modelos.

Modelos de respuesta ordinal

Cuando se ordenan las categorías de la variable respuesta en un problema de regresión, es posible utilizar modelos alternativos al modelo logit multinomial ya que este modelo desperdicia información debido a que el orden de las categorías no se utiliza explícitamente, entonces, a menudo, hay más parámetros de los que realmente se precisan (Tutz, 2011) . En el caso de datos categóricos, se prefieren modelos parsimoniosos porque el contenido de información en la respuesta siempre es bajo.

Una forma de modelar respuestas ordinales es a partir de modelos binarios. Existen diferentes enfoques para construir estos modelos que difieren en cómo las categorías $1, 2, \dots, k$ se transforman en una respuesta binaria.

El enfoque más simple es considerar una división entre las categorías r y $r + 1$, lo que produce las categorías de respuesta agrupadas $\{1, \dots, r\}$ y $\{r + 1, \dots, k\}$.

El enfoque acumulativo utiliza estas agrupaciones al considerar la variable binaria

$y_r = 1$ si $Y \leq r$ y $y_r = 0$ si $Y > r$. Para la respuesta Y , el modelo de respuesta binaria $P(y_r = 1|\mathbf{x}) = F(\mathbf{x}^T \beta_r)$ se convierte en:

$$P(Y \leq r|\mathbf{x}) = F(\mathbf{x}^T \beta_r), r = 1, 2, \dots, q,$$

donde F es la función de respuesta del modelo binario y β_r depende de la división que se considera. Alternativamente, es posible considerar como una decisión secuencial donde la transición de la categoría r a la categoría $r + 1$ dada la categoría r o superior sigue un modelo binario. El modelo binario distingue entre $Y = r$ y $Y > r$ dado $Y \geq r$

Se obtiene, de esta manera, el modelo de tipo secuencial.

$$P(Y = r|Y \geq r, \mathbf{x}) = F(\mathbf{x}^T \beta_r), r = 1, 2, \dots, q,$$

Modelos secuenciales

En muchas aplicaciones, puede ocurrir que las categorías $1, 2, \dots, k$ se alcanzan sucesivamente. A menudo, esta es la única forma de obtener una respuesta en una categoría superior. En consecuencia, el modelado debe reflejar la sucesiva transición a categorías superiores en un modelo paso a paso.

El proceso comienza en la categoría 1. La decisión entre la categoría $\{1\}$ y las categorías $\{2, \dots, k\}$ se determina en el primer paso mediante un modelo de respuesta dicotómica:

$$P(Y = 1|\mathbf{x}) = F(\gamma_{01} + \mathbf{x}^T \gamma_1)$$

Si $Y = 1$, el proceso se detiene. Si $Y \geq 2$, el segundo paso es la decisión entre la categoría $\{2\}$ y las categorías $\{3, \dots, k\}$ y está determinado por:

$$P(Y = 2|Y \geq 2, \mathbf{x}) = F(\gamma_{02} + \mathbf{x}^T \gamma_2)$$

En general en el paso r , la decisión es entre la categoría $\{r\}$ y las categorías $\{r + 1, \dots, k\}$ que está determinado por el modelo binario:

$$P(Y = r|Y \geq r, \mathbf{x}) = F(\gamma_{0r} + \mathbf{x}^T \gamma_r), r = 1, \dots, q$$

Además del modelado paso a paso, se supone que la decisión entre la categoría alcanzada y las categorías superiores está determinada por el mismo modelo binario que tiene la función de respuesta F . La colección de todos los pasos representa el modelo secuencial.

Para el modelado de datos ordinales, el modelo secuencial más común es el modelo logit secuencial, donde $F(\eta) = \exp(\eta) / (1 + \exp(\eta))$ es la función de distribución logística.

Los logits $(P(Y = r|x) / P(Y > r|x))$ comparan la categoría de respuesta r con las categorías de respuesta $\{r + 1, \dots, k\}$ y pueden considerarse logits condicionales, dado $Y \geq r$, ya que la dicotomización en $\{r\}$ y $\{r + 1, \dots, k\}$ se refiere solo a las categorías $r, r + 1, \dots, k$. También se conocen como *continuation ratio logits*.

$$P(Y = r|Y \geq r, \mathbf{x}) = \frac{\exp(\gamma_{0r} + \mathbf{x}^T \gamma_r)}{1 + \exp(\gamma_{0r} + \mathbf{x}^T \gamma_r)}$$

o

$$\log \left(\frac{P(Y = r|\mathbf{x})}{P(Y > r|\mathbf{x})} \right) = \gamma_{0r} + \mathbf{x}^T \gamma_r$$

A diferencia del modelo acumulativo, no hay restricción en los parámetros, lo que facilita la estimación. Sin embargo, el modelo general contiene muchos parámetros porque cada

transición tiene su propio parámetro γ_r . Una versión más simple es el modelo secuencial con efectos globales:

$$\log\left(\frac{P(Y = r|\mathbf{x})}{P(Y > r|\mathbf{x})}\right) = \gamma_{0r} + \mathbf{x}^T \boldsymbol{\gamma}$$

donde $\boldsymbol{\gamma}$ no depende de la categoría.

Inferencia en los modelos ordinales

Los modelos de regresión ordinal son casos específicos de modelos lineales generalizados multivariados (GLM⁹). Para modelos secuenciales, las estimaciones por máxima verosimilitud se pueden obtener de una manera más sencilla, ya que, como las transiciones entre categorías corresponden a decisiones binarias, la estimación se puede realizar utilizando modelos binarios.

La forma general de un modelo GLM multivariante para variables respuestas categóricas está dado por:

$$g(\boldsymbol{\pi}_i) = X_i \boldsymbol{\beta} \quad \text{o} \quad \boldsymbol{\pi}_i = h(X_i \boldsymbol{\beta})$$

donde $\boldsymbol{\pi}_i^T = (\pi_{i1}, \dots, \pi_{iq})$ es el vector de probabilidades de respuesta, g es la función de enlace multivariante y $h = g^{-1}$ es la inversa de la función de enlace.

Modelo secuencial como GLM multivariante

El modelo secuencial general tiene la forma:

$$P(Y_i = r | Y_i \geq r, \mathbf{x}_i) = F(\gamma_{0r} + \mathbf{x}_i^T \boldsymbol{\gamma}_r)$$

o de forma equivalente,

⁹ GLM: Generalized Linear Model

$$\pi_{ir} = P(Y_i = r | \mathbf{x}_i) = F(\gamma_{0r} + \mathbf{x}_i^T \boldsymbol{\gamma}_r) \prod_{j=1}^{r-1} (1 - F(\gamma_{0j} + \mathbf{x}_i^T \boldsymbol{\gamma}_j))$$

Sea $\eta_{ir} = \gamma_{0r} + \mathbf{x}_i^T \boldsymbol{\gamma}_r$, que denota el r -ésimo predictor lineal. Entonces se obtiene directamente para la función de respuesta multivariante $h = (h_1, \dots, h_q): \mathbb{R}^q \rightarrow \mathbb{R}^q$

$$h_r(\eta_{i1}, \dots, \eta_{iq}) = F(\eta_{ir}) \prod_{j=1}^{r-1} (1 - F(\eta_{ij}))$$

y para $g = h^{-1}$

$$g_r(\pi_{i1}, \dots, \pi_{iq}) = F^{-1}(\pi_{ir} / (1 - \pi_{i1} - \dots - \pi_{i,r-1}))$$

Estimación por máxima verosimilitud mediante modelos de respuesta binaria

Las estimaciones de máxima verosimilitud para modelos secuenciales pueden obtenerse ajustando modelos de regresión binaria. Las respuestas binarias que se utilizan corresponden a la transición entre categorías. A continuación, la equivalencia de probabilidades se obtiene representando la probabilidad de una respuesta categórica como un producto de hazard discretos. Sea $\lambda(r)$ la probabilidad de transición condicional

$$\lambda(r) = P(Y = r | Y \geq r)$$

que se parametriza en el modelo secuencial. λ también se denomina hazard discreto, en particular cuando las categorías se refieren a tiempo discreto. Para las respuestas, generalmente se obtiene

$$P(Y \geq r) = \prod_{s=1}^{r-1} (1 - \lambda(s))$$

Por lo tanto

$$P(Y = r) = P(Y = r | Y \geq r)P(Y \geq r) = \lambda(r) \cdot \prod_{s=1}^{r-1} (1 - \lambda(s))$$

Sea Y_i la i -ésima observación que asume el valor r_i y $\lambda(r|x_i)$ denota el hazard condicional, dadas las covariables x_i , entonces:

$$L_i = P(Y_i = r_i | x_i) = \lambda(r_i | x_i) \prod_{s=1}^{r_i-1} (1 - \lambda(s | x_i))$$

Al definir el vector de respuestas $(y_{i1}, \dots, y_{ir}) = (0, \dots, 0, 1)$, entonces:

$$L_i = \prod_{s=1}^{r_i} \lambda(s | x_i)^{y_{is}} (1 - \lambda(s | x_i))^{1-y_{is}}$$

L_i es equivalente a la verosimilitud de un modelo de respuesta binaria con observaciones y_{i1}, \dots, y_{ir} . Dado que para un modelo secuencial el hazard $\lambda(s|x_i)$ tiene la forma de un modelo de regresión binaria con función de respuesta $F(\cdot)$, se obtiene con $\lambda(s|x_i) = F(\eta_{is})$ la verosimilitud

$$L_i = \prod_{j=1}^{r_i} F(\eta_{ij})^{y_{ij}} (1 - F(\eta_{ij}))^{1-y_{ij}}$$

La verosimilitud total, dada por $L = L_1 \cdot \dots \cdot L_n$, produce la log-verosimilitud

$$l = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{r_i} y_{ij} \log(F(\eta_{ij})) + (1 - y_{ij}) \cdot \log(1 - F(\eta_{ij}))$$

Por lo tanto, la verosimilitud del modelo secuencial resulta

$$P(Y_i = r | Y_i \geq r, x_{ir}) = F(\eta_{ir})$$

es equivalente a la verosimilitud del modelo binario

$$P(y_{ir} = 1 | x_{ir}) = F(\eta_{ir})$$

para observaciones $y_{i1} = 0, \dots, y_{i,r_i-1} = 0, y_{ir} = 1, i = 1, \dots, n$.

Conclusión del capítulo

Los modelos de respuesta ordinal representan el eje central de este capítulo junto a los modelos secuenciales que permiten reflejar la sucesiva transición a categorías superiores en un modelo paso a paso. Finalmente se desarrolló el apartado de inferencia en este tipo de modelos resaltando la estimación por máxima verosimilitud ajustando modelos de regresión binaria que permitirá adaptar el modelo TTM con base en las etapas de cambio e integrando los diferentes constructos examinando el impacto de ellos en la transición en las mismas.

Capítulo 5

Introducción del capítulo

La elección de tecnologías disponibles en el sector agrícola estaba determinada hasta hace poco tiempo, en gran medida, por la necesidad de aumentar la producción, las ganancias y la productividad, pero actualmente la agricultura tiene que ser competitiva, generar productos de alta calidad y cumplir objetivos de sostenibilidad.

El proceso de adopción de innovaciones tecnológicas en este sector es hondamente complejo y se ve afectado por una amplia gama de factores e impulsores que impactan en la decisión en este sentido. La aparición de la agricultura de precisión y tecnologías relacionadas proporciona a los productores una gran cantidad de datos disponibles para procesar, gestionar y utilizar para la toma de decisiones (N. Zhang et al., 2002) pero muchas veces la acentuada curva de aprendizaje y la inversión inicial obstaculizan las decisiones de adopción. Es importante, por lo tanto, profundizar en la exploración de los factores más pertinentes que impactan en la intención de adopción de nuevas tecnologías junto con una evaluación cuidadosa de las variables específicas del contexto que inciden en el comportamiento y las percepciones de los productores para impulsar el cambio y tener un acceso rápido a las mismas, ser competitivos y poseer más oportunidades.

En este capítulo se presenta en primer lugar el contexto asociado a las nuevas tecnologías en el sector agrícola que envuelven distintos aspectos de la agricultura de precisión permitiendo recopilar datos del campo, analizarlos y evaluarlos para luego poder ser utilizados para la toma de decisiones. Luego se presentan las características y el estado actual de la adopción de nuevas tecnologías en el sector agrícola de Argentina y finalmente se presenta el modelo de adopción tecnológica propuesto para describir, explicar y predecir el proceso de adopción en Argentina, midiendo el efecto positivo o negativo de las percepciones y actitudes,

adaptando el modelo TTM con base en las etapas de cambio e integrando los constructos: balance decisional, autoeficacia, facilidad de uso percibida y actitud frente al riesgo, examinando el impacto de ellos en la transición en las etapas de cambio.

Nuevas tecnologías en el sector agrícola: Agricultura de precisión.

En todo el sector agrícola están emergiendo varias tecnologías con aplicación a diversas prácticas de manejo. La agricultura de precisión es un método de gestión agrícola que utiliza tecnología de la información para certificar que los cultivos y el suelo obtienen exactamente lo que necesitan en términos de salud y rendimiento óptimos, lo que garantiza la rentabilidad, la sostenibilidad y la protección del medio ambiente. Refiere a aquellas tecnologías cuyos beneficios están relacionados con una aplicación más eficiente de los insumos (semillas, fertilizantes, productos químicos, agua, combustible y mano de obra), mayor velocidad de trabajo, comodidad y mayor flexibilidad en la explotación. Una distinción fundamental entre la gestión convencional y la agricultura de precisión radica en la implementación de tecnologías de la información para la obtención, procesamiento y análisis de datos provenientes de múltiples fuentes de alta resolución espacial y temporal, que se utilizan para la toma de decisiones.

En su función de herramienta de gestión, la agricultura de precisión se estructura en torno a cuatro elementos fundamentales: el posicionamiento geográfico, la recopilación de datos, el soporte para la toma de decisiones y el tratamiento de tasa variable. Adicionalmente, se podría considerar un quinto componente, el mapeo de rendimiento, que proporciona al productor la capacidad de supervisar los resultados concretos derivados de la aplicación de diferentes insumos .(Pedersen, S.M, 2003).

Desde mediados de la década de 1980, la agricultura de precisión ha evolucionado desde el primer uso de sistemas GPS¹⁰ y mapeo de rendimiento hasta las aplicaciones más recientes con agricultura de flujo controlado con sistemas RTK¹¹ y UAV¹² (vehículo aéreo no tripulado) montado en GPS y cámara para exploración de cultivos. En la siguiente tabla se observa una breve trayectoria histórica de la agricultura inteligente desde su introducción.

1970-1980	Introducción del GPS como tecnología de propósito general. Primer medidor de rendimiento montado en una cosechadora
1984	Introducción de los primeros mapas de rendimiento (con GPS)
1991	Introducción de mapas de aplicación (basados en GIS ¹³) y primer intento con tecnología de tasa variable
1995-1998	Sistemas de detección terrestres y satelitales/aéreos para medir el estado de los cultivos
1999-2002	Introducción de mediciones de conductividad eléctrica del suelo e imágenes aéreas/de satélite para medir el estado de los cultivos
2000	Introducción de sistemas RTK aplicados en agricultura
2000-2002	Primer intento con sistemas de detección de malas hierbas y siembra precisa
2003	Introducción de la dirección automática en la agricultura
2008	Implementación de primeros sistemas de tráfico controlado entre agricultores. Introducción de UAV (drones) para mapas de aplicación
2015	Introducción de los primeros sistemas robóticos en cultivos/horticultura de alto valor

Tabla 4: Breve trayectoria de la agricultura inteligente-Elaboración propia.

Las nuevas tecnologías envuelven distintos aspectos de la agricultura de precisión permitiendo recopilar datos del campo, analizarlos y evaluarlos para luego poder ser utilizados para la toma de decisiones, destacándose la convergencia de varias tecnologías con aplicación a varias prácticas de gestión. El avance y perfeccionamiento de diversas tecnologías fundamentales potencialmente relevantes están siendo propulsados por fuerzas

¹⁰ Geographical positioning

¹¹ Real Time Kinematic

¹² Unmanned Aerial Vehicles

¹³ Geographical information system

externas al sector agrícola. Cada dominio de la tecnología de la información, incluyendo la microelectrónica, los sensores, las computadoras y las telecomunicaciones, se encuentra en un proceso evolutivo de mejora continua.

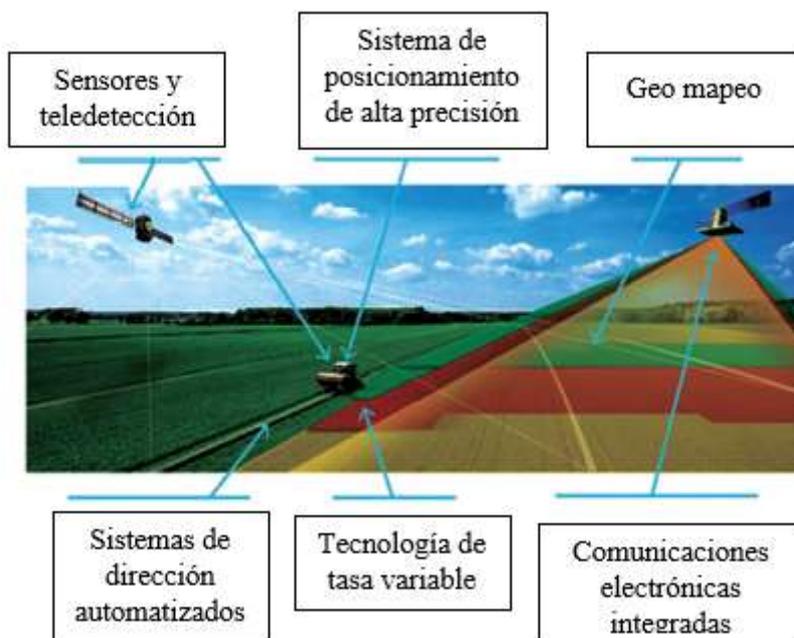


Figura 11: Convergencia de diversas tecnologías con aplicación a varias prácticas de gestión- Adaptado de CEMA European Agricultural Machinery

Los componentes fundamentales de las tecnologías, como se ilustra en la Figura 11, el Sistema de Posicionamiento Global (GPS), los Sistemas de Información Geográfica (GIS¹⁴) y la teledetección tienen sus raíces fuera del sector agrícola. Por otro lado, tecnologías como los sensores para cultivos y suelos adaptados a maquinaria agrícola, los esparcidores variables de fertilizantes y los sistemas de mapeo de cultivos, son innovaciones que la industria privada ha desarrollado específicamente para la agricultura. Diversos sectores económicos han apuntalado la investigación y el desarrollo de algunas de las tecnologías que

¹⁴ Geographic information systems

son financieramente beneficiosas para la agricultura permitiendo combinar estas tecnologías de la información con el conocimiento agronómico.

La rentabilidad potencial de estas tecnologías indudablemente depende de muchas variables, como el tamaño del campo, los tipos de cultivo, el tipo de suelo, el grado de especialización del campo, los costos de mano de obra agrícola y el acceso a la financiación. Asimismo ofrecen a los productores la oportunidad de mejorar la gestión de las operaciones agrícolas con mayor precisión espacial y temporal, contribuyendo a las siguientes áreas: una mejor comprensión de las variables y dinámicas de producción gracias a los datos recopilados por máquinas, sensores y fuentes conectadas; toma de decisiones basada en esta información y análisis de escenarios que equilibren diversas acciones y opciones con objetivos específicos; crecimiento sostenible de la productividad a través de una mayor automatización, robótica y sistemas de control avanzados. Es crucial entender el conocimiento tácito de los productores y su proceso de toma de decisiones (Gladwin, 1989) para poder proporcionar información necesaria que les permita mejorar la toma de decisiones en etapas específicas de su proceso de producción agrícola.

Es posible clasificarlas en tres categorías:

-Tecnologías de adquisición de datos: esta categoría contiene todas las tecnologías topográficas, cartográficas, de navegación y de detección. Incluyen tecnologías GNSS¹⁵ (sistema de navegación por satélite) que proporcionan posicionamiento geoespacial autónomo en todo el mundo, tecnologías de mapeo (mapas de elevación, mapeo de suelos y mapeo de rendimiento), tecnologías de adquisición de datos de propiedades ambientales (medición NDVI¹⁶; sensores de humedad del suelo) y aquellas tecnologías relacionadas a las máquinas y sus propiedades (sensores de velocidad de viaje; vehículos aéreos y terrestres no

¹⁵ Global Navigation Satellite System

¹⁶ Normalized Difference Vegetation Index

tripulados; sistema de información de gestión de campos; software para gestión, previsión y el control de cultivos).

-Tecnologías de evaluación y análisis de datos: estas tecnologías agrupan a aquellas que permiten delimitar la zona de gestión, sistemas de apoyo a la decisión (sistema basado en computadora que respalda las decisiones del productor para el manejo del campo) y sistemas de información de gestión de campos que posibilitan recopilar, procesar, almacenar y difundir datos en la forma necesaria para llevar a cabo las operaciones y funciones agrícolas (Sørensen et al., 2010).

-Tecnologías de aplicación de precisión: esta categoría contiene todas las tecnologías de aplicación focalizadas en tecnologías de guía (sistemas de autoguiado; agricultura de tráfico de control) que permiten que la maquinaria agrícola alcance líneas rectas para reducir la superposición de las pasadas del tractor y el equipo ayudando a reducir costos de combustible, costos de insumos, tiempo y mano de obra aumentando la compactación del suelo y la eficiencia general del campo y también observan en ese grupo aquellas tecnologías de aplicación de tasa variable y riego de precisión.

Contexto y características del sector agrícola en Argentina

Argentina con una superficie de 2.791.810 kilómetros cuadrados es el segundo país más grande de América del Sur luego de Brasil. La industria agroalimentaria en el período enero-noviembre 2019 aportó el 65% de la facturación total exportable en el período, logrando ingresos de un 12% más que el período anterior. Este desempeño es el resultado de una combinación de factores como el tipo de cambio real multilateral situando al país en una posición de precios relativos más favorables respecto a otros países oferentes¹⁷, una cosecha agrícola en la campaña 2019/2020 que superó los máximos históricos alcanzando los 147

¹⁷ Banco Central de la República Argentina (BCRA)

millones de toneladas de producción de granos y oleaginosas y la demanda internacional continua especialmente de China¹⁸.

La superficie dedicada a la producción de cereales y oleaginosas a nivel país es de 38,2 millones de hectáreas y la producción total de cereales de la campaña 2020/21 fue de 127,7 millones de toneladas¹⁹ y el área dedicada a la producción de granos y oleaginosas fue de 38,2 millones de hectáreas y es de destacar el desempeño de la siembra del maíz durante el ciclo 2020/2021 que finalizó con un récord de 7,4 millones de hectáreas.

Se detalla en el siguiente cuadro las proyecciones preliminares para la producción de granos en Argentina (Campaña 2021/2022).

Cultivo	Superficie sembrada (Millones ha)	Variación año anterior. Superficie sembrada (%)	Superficie Cosechada (Millones ha)	Rinde (qq/ha)	Producción (Millones de toneladas)	Variación año anterior. Superficie sembrada (%).
Soja	16,7	-1,5%	15,9	30,9	49,0	9,1%
Maíz	7,7	4,6%	6,7	80,6	54,0	8,0%
Trigo	6,7	3,3%	6,5	31,0	20,2	18,9%
Girasol	1,7	16,4%	1,7	20,8	3,4	28,3%
Sorgo	1,0	5,3%	0,8	44,3	3,3	4,2%
Cebada	1,3	5,1%	1,2	42,5	4,9	9,8%
Otros ²⁰	3,7	-3,2%	1,9	0	4,9	-1,5%

Tabla 5: Proyecciones preliminares de producción de granos- Argentina (Campaña

2021/2022-Fuente: Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca (MAGyP).

Se espera reducir la siembra de soja en 250 mil hectáreas, para un total de 16,65 millones de hectáreas debido a que en muchas áreas la falta de agua influyó negativamente los rindes de soja y en cambio expuso un comportamiento superior de lo esperado en maíz. El escenario

¹⁸ Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca (MAGyP).

¹⁹ Bolsa de comercio de Rosario y Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca (MAGyP).

²⁰ Alpiste, arroz, avena, centeno, mijo, trigo candeal, cártamo, colza, maní, algodón y porotos.

de precios y la situación del agua son mejores que el año pasado por lo que se espera que la superficie cultivada de trigo aumente en un 3% encaminando el área de siembra a 6,7 millones de hectáreas. Los precios más atractivos que se observaron desde finales del año 2020 se aguardan como un impulso a la siembra de girasol este año. El cultivo de sorgo y cebada se estiman que crecerá un 5% interanual en ambos casos alcanzando 1 millón de hectáreas para el primero y 1,3 millones de hectáreas para el segundo en la campaña 2021/2022.

Características y estructuras de los campos²¹.

Argentina cuenta con 250.881 explotaciones agropecuarias (EAP)²² con 480.191 parcelas²³. La superficie total de las explotaciones agropecuarias es de 157.423.932 hectáreas, de las cuales 33.182.640 hectáreas corresponden a superficie implantada con algún cultivo y 124.241.292 a hectáreas de superficie destinada a otros usos.

Considerando los cereales para granos se destaca el maíz para grano como principal, implantado por 50.378 EAP, el segundo es el trigo pan y el tercero en importancia es la cebada cervecera alcanzando un total de 566.697,8 hectáreas de superficie implantada.

La principal oleaginosa implantada fue la soja que representa el 89% del total de la superficie implantada con oleaginosas. Sigue en importancia el girasol alcanzando una superficie implantada de 1.135.161,7 hectáreas y por último se destaca el maní que representa un 3% del total de la superficie implantada con oleaginosas en el total del país.

²¹ Censo Nacional Agropecuario- INDEC,2018.

²² EAP: Unidad de organización de la producción, con una superficie no menor de 500 m² y ubicada dentro de los límites de una misma provincia (INDEC, Censo Nacional Agropecuario, 2018)

²³ La superficie de una EAP puede estar compuesta por una o varias parcelas, entendiendo por parcela a los campos no contiguos (INDEC,2018)

La gestión cotidiana de las EAP indica que el 91% es llevada adelante en forma directa por el productor o miembros de la sociedad y en aquellas EAP con tipo jurídico persona humana o sociedad de hecho no registrada, se relevaron 223.292 productores y socios, trabajaron en forma permanente 420.704 personas. El 59% de las EAP realiza alguna gestión técnica administrativa, 34% utiliza computadora y 35% tiene acceso a internet.

En referencia a la maquinaria agrícola se registran 200.069 tractores, 23.475 cosechadoras, 74.956 sembradoras y 37.778 maquinarias acondicionadas de forrajes, y se contabilizaron 36.296 EAP con infraestructura de riego que cubre 1.391.074 hectáreas. Es posible evidenciar que 61.850 EAP contrataron servicios por un total de 68.568.216 hectáreas. El 66,5% de las cosechas oleaginosas fue realizada con maquinaria contratada y se identificaron 31.312 prestadores de servicios de maquinaria agrícola.

Es importante señalar que en Argentina el administrador del campo lleva a cabo las decisiones en referencia al cultivo, pero generalmente contrata empleados u operadores personalizados que realizan el trabajo físico de producción, a diferencia de gran parte del resto del mundo, donde los campos suelen ser operados por productores que administran el negocio agrícola y además realizan parte del trabajo físico. En contraste con los subsidios en otros lugares, la tributación impacta con altos impuestos en el sector agrícola con repercusión en la exportación directa e indirectamente a través de la protección y otras restricciones al comercio. Los impuestos representan el 62% del margen neto del productor, sin computar retenciones que ya son descontadas del precio que recibe el productor al momento de vender la mercadería a fábrica, molinería o exportación²⁴.

Las políticas económicas implementadas en Argentina estimularon un rezago en el crecimiento agrícola frente a otros países con análogo potencial debido en parte por las

²⁴ Bolsa de Comercio de Rosario

macro políticas de los años 90 que indujeron la caída del tipo de cambio real y por el gran déficit financiado con préstamos provocando un efecto negativo en la agricultura.

Adopción de nuevas tecnologías en Argentina: Estado actual

La adopción de la agricultura de precisión en Argentina comenzó a principios de 1996 con el lanzamiento del proyecto de agricultura de precisión en la Estación Experimental Manfredi del INTA²⁵ en la provincia de Córdoba, ampliándose luego a nivel nacional en 1999. Circunscribe estaciones de prueba en cinco provincias (Buenos Aires, Córdoba, Santa Fe, Tucumán y Entre Ríos).

Actualmente la agricultura de precisión ha superado el proyecto específico del INTA y se ha convertido en una herramienta importante para los productores avanzados de AAPRESID²⁶ y especialmente de AACREA²⁷ que esgrimen la teledetección para diversas aplicaciones, como el mapeo de la producción de forraje y la demarcación de zonas de producción homogéneas, que son la base para el muestreo y análisis específicos del suelo (Bragachini et al., 2004).

La adopción actual y evolución de tecnologías de agricultura de precisión en el país en diferentes rubros tecnológicos se muestra en la tabla 6, evidenciando un crecimiento sostenido en los últimos 10 años:

²⁵ Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria.

²⁶ Asociación Argentina de Productores en Siembra Directa: Organización civil sin fines de lucro, fundada en agosto de 1989 por productores rurales de la zona central Argentina

²⁷ Asociación Argentina de Consorcios Regionales de Experimentación Agrícola: Argentina que integra a los Consorcios Regionales de Experimentación Agrícola

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Monitores de Rendimiento	7400	8365	8865	9643	10544	11540	12456	13815	14767	16140
Dosis Variable en sembradoras	1801	2076	2346	2679	2975	3263	3515	3978	4138	4608
Monitores de Siembra	12160	14705	16905	19784	21426	22854	24882	27100	28811	30800
Banderillero Satelital en Pulverizadoras	12198	13270	14589	15797	17087	18342	19158	20347	20647	21018
Guía Automática	1150	2710	3610	4120	5530	6708	9035	12308	14430	17174
Cortes por sección pulverizadoras	640	1081	1481	2121	2410	2738	3375	4256	4309	4351
Cortes por sección sembradoras	25	45	55	79	103	119	189	263	288	319
Sistemas de corrección < a 10 cm	50	110	200	210	360	823	2290	3566	4831	5953
Sistemas de corrección > a 10 cm					157	431	1130	3184	5415	8426
Telemetría				37	120	196	409	839	1358	1877
Control selectivo de malezas					21	64	160	233	278	328
Sensor manual de N en tiempo real						80	101	104	116	120

Tabla 6: Evolución de la cantidad de equipos en diferentes rubros tecnológicos (unidades acumuladas). Fuente: INTA Manfredi, 2020

Es posible argumentar que las tecnologías más utilizadas en nuestro país son el monitor de rendimiento y el banderillero satelital. Por otro lado, la tecnología de tasa variable se está adoptando de manera lenta pero segura (Bongiovanni, 2009), a medida que se identifican los factores que limitan el desempeño y se hacen recomendaciones apropiadas para cada área de gestión.

El uso de banderillero satelital se ha convertido en un estándar para los pulverizadores autopropulsados y las computadoras interactivas en estas máquinas son cada vez más comunes. Este hardware, junto con un programa portátil y específico, permite diferentes aplicaciones según recomendación, respetando diferentes entornos. Para aplicar insumos variables durante la siembra ya se cuenta con equipos propios desarrollados localmente para garantizar un buen desempeño. Estos dispositivos, que pueden ensamblarse en cualquier sembradora o aplicación de fertilizante, permiten ajustar la dosis de acuerdo con pautas precisas. También, los monitores de rendimiento, diseñados para recopilar datos para su posterior análisis, han tenido un éxito significativo a la hora de proporcionar información general sobre factores como lotes, cargas, velocidad, flujo de trabajo, rendimiento, etc (para el Desarrollo Tecnológico, 2006).

Incrementar el uso de estos dispositivos hará más eficiente la fertilización y el uso de semillas y desde el punto de vista del impacto medioambiental permite un uso menor y específico de productos químicos agrícolas. Esto aumenta la necesidad de políticas públicas que apoyen este crecimiento y garanticen que la tecnología también esté disponible para los medianos y pequeños productores. También es importante participar en la validación en campo de innovaciones desarrolladas por empresas emergentes nacionales para aplicaciones y dispositivos que mejoren el uso de estos sistemas brindando la oportunidad de desarrollar técnicas locales de agricultura de precisión y una base de proveedores de servicios. La aparición de estos proveedores puede contribuir no sólo a la diversificación de la producción y las exportaciones, sino también a una adopción más rápida de estas tecnologías (Lachman & López, 2019). Esto se debe a que la comunicación entre cliente y proveedor puede fomentar la creación de innovaciones que satisfagan mejor las necesidades e intereses de los productores.

Modelo Propuesto de Adopción tecnológica en el sector agrícola

El modelo transteórico del cambio (TTM) se ha utilizado tradicionalmente en el campo del comportamiento de la salud, sin embargo, en lo referente a la adopción de nuevas tecnologías en el sector agrícola se plantea que los productores también deben superar barreras y cambiar su comportamiento hacia la adopción.

Por esta razón el modelo propuesto en este trabajo se basa en el modelo transteórico (TTM) del cambio ya que posibilita examinar la intención del productor de cambiar su comportamiento suministrando información adicional sobre la etapa progresiva de cambio que puede interpretarse como tendencias de adopción de nuevas tecnologías.

Las etapas del modelo capturan la actitud gradual desde el rechazo de un cambio de comportamiento hasta su adopción permitiendo un análisis más detallado de los adoptantes potenciales.

Estrategia Empírica

Se implementó una encuesta con la colaboración de CREA (Asociación Argentina de Consorcios Regionales para la Experimentación Agropecuaria) que integra los Consorcios Regionales para la Experimentación Agropecuaria (Grupos CREA), conformados por productores agropecuarios con el objetivo de promover el desarrollo tecnológico de la producción y coordinar la tarea productiva de manera más eficiente.

Se destaca el carácter federal del movimiento CREA con presencia de establecimientos productivos en gran parte del territorio nacional como es posible apreciar en la figura 12²⁸, enfatizando además que el 20,6% de los productores miembros CREA tienen residencia en los establecimientos productivos frente a un 53,4% de productores a nivel nacional que residen en los establecimientos productivos.

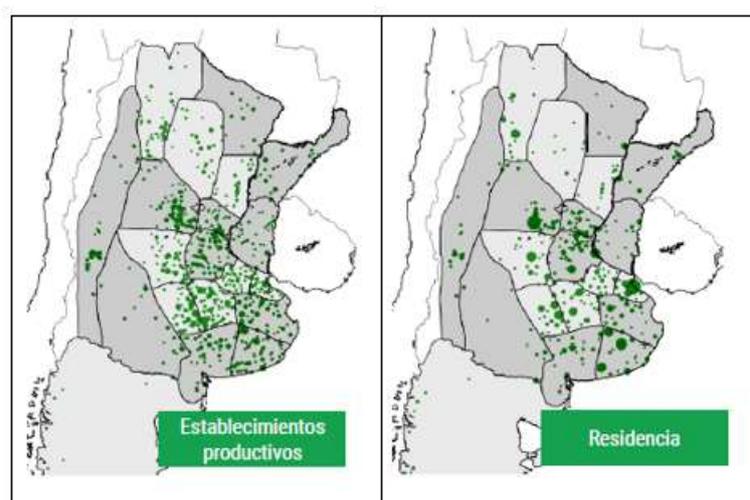


Figura 12: Establecimientos productivos -Movimiento CREA- Fuente: Censo CREA 2019

²⁸ Fuente: Censo CREA 2019- Un mayor tamaño de los puntos indica una mayor concentración de observaciones.

La edad promedio del miembro CREA es de 49,3 años²⁹ por debajo de la edad promedio de 56 años del productor a nivel nacional con una distribución de participación por género de 7,2% mujeres y 92,7% hombres para el primer grupo. A nivel nacional la distribución mencionada es de 21% mujeres y 79% hombres.

En referencia a la máxima educación alcanzada se observa que el miembro CREA alcanza niveles de formación académica superiores con un 64% de miembros con estudios terciarios o universitarios en relación con el productor a nivel nacional³⁰

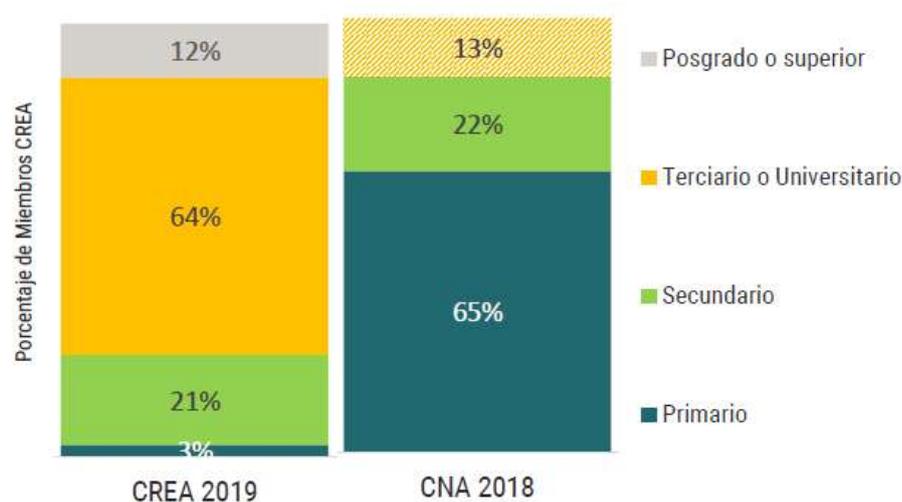


Figura 13: Nivel educativo -Miembro CREA- Fuente: Censo CREA 2019

De acuerdo con las explotaciones y superficies agropecuarias por tipo jurídico es posible apreciar que de las EAP relevadas en CNA-18, la mayor proporción tienen tipo jurídico personas físicas representando el 85%, mientras que dicho porcentaje es el 25% para el grupo CREA. Por orden de importancia, le siguen las EAP con persona jurídica que representan el 11% del total frente al 70% en el grupo CREA y, por último, las sociedades de hecho que representan un 5% en ambos casos de comparación.

²⁹ Fuente: Censo CREA 2019

³⁰ Fuente: Censo CREA 2019 y CNA 2018.

Nota: CNA 2018: La máxima categoría es universitario o superior, por lo que se desconoce la proporción con posgrado o superior.

Por otro lado, la cantidad y composición porcentual de cada forma jurídica medido en hectáreas, se observa que el tipo persona física representa un 55% del total frente a un 13% evidenciado en el grupo CREA, le sigue el tipo persona jurídica con una representación del 36% contra un 85% según censo CREA, luego las sociedades de hecho participando en un 9% frente a un porcentaje del 2% según censo CREA.

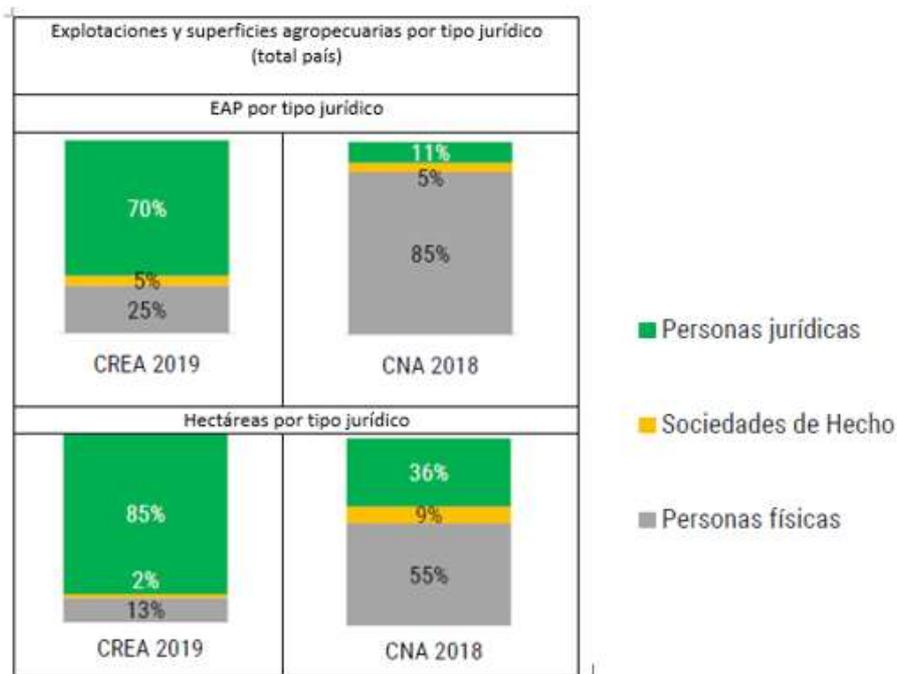


Figura 14: Explotaciones y superficies agropecuarias por tipo jurídico- Fuente: Censo CREA 2019

La relación jurídica que adopta el productor y la tierra se clasifica por diferentes regímenes de tenencia de la tierra que es posible clasificar como: arrendamiento, tenencia propia³¹ y otros³². Los resultados de CNA-18, arrojan que el 76% de la superficie de las parcelas corresponde a propiedad, le sigue la modalidad de arrendamiento con el 20% y el 4% restante pertenece otros regímenes de tenencia de la tierra. Mientras que dichos porcentajes

³¹ Incluye: sucesión indivisa, ocupación con permiso y ocupación de hecho

³² Considera: aparcería, comodato, concesión, contrato accidental, usufructo, otros y sin discriminar

representan un 66%, 33% y 0,8% respectivamente según datos del censo CREA 2019 como lo evidencia la figura 15

Se observa que los miembros CREA poseen mayor acceso a la tierra a través del arrendamiento en comparación con los productores a nivel nacional. Estos porcentajes se asocian a estructuras empresariales más modernas que recurren al alquiler de tierra y la contratación de servicios como, por ejemplo: siembra, cosecha.

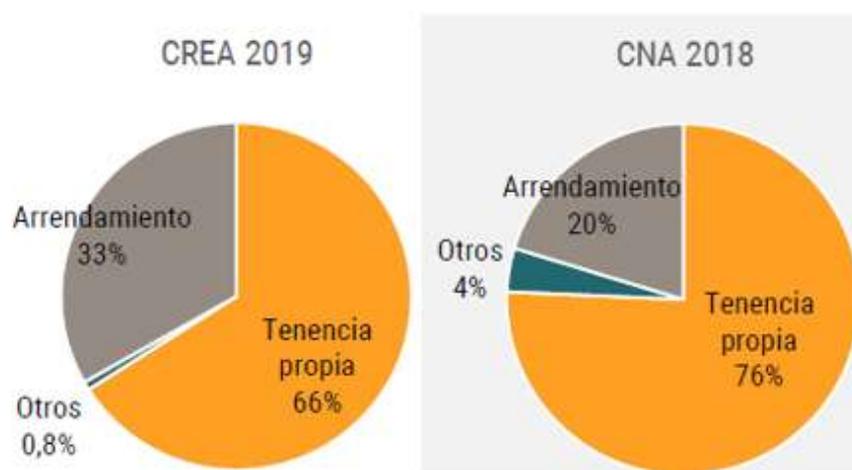


Figura 15: Regímenes de tenencia de la tierra- Fuente-Censo CREA 2019

En relación con la contratación de servicios de maquinaria agrícola se observa en la figura 16 el porcentaje de cada labor para cereales y oleaginosas según CNA-18 y cultivos anuales como postula el censo CREA 2019. Se destaca que las empresas CREA trabajan la superficie con un mayor porcentaje de maquinaria contratada respecto al censo nacional (Figura 16), asociando esto a una profesionalización en el modo de producción por parte de los productores del movimiento³³.

³³ Fuente: Censo CREA 2019, CNA 2018.

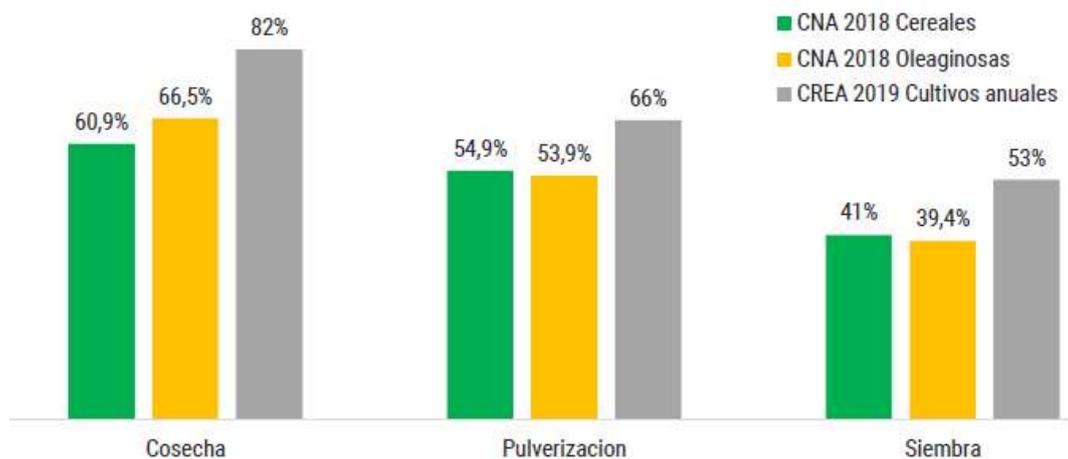


Figura 16: Contratación de servicios de maquinaria agrícola- Fuente: Censo CREA 2019, CNA 2018.

La evolución hacia la agricultura de precisión dentro del movimiento CREA pone en evidencia una gestión enfocada hacia la sostenibilidad y la innovación destacándose el manejo por lotes, manejo con dosificación variable y manejo por macroambientes en un porcentaje de superficie sobre el total donde se realizan estas prácticas de 69%, 22% y 9% respectivamente distribuidos por región según muestra la figura 17³⁴.

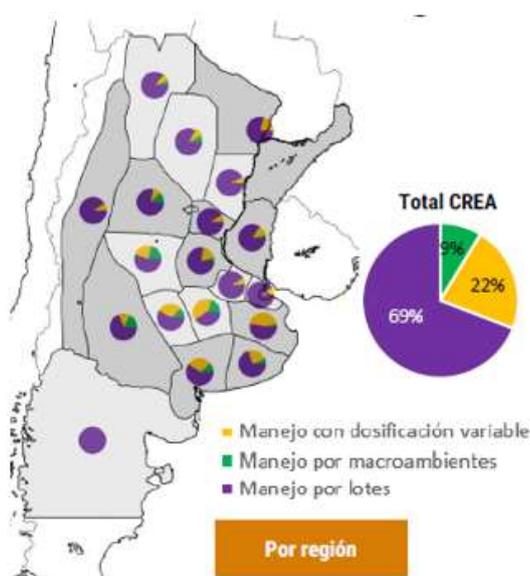


Figura 17: Evolución hacia la agricultura de precisión- Fuente: Censo CREA

³⁴ Fuente: Censo CREA 2019

Dentro del Sistema de Encuestas Agropecuarias CREA (SEA-CREA), que consiste en una encuesta trimestral, se ha incorporado un módulo con el fin de indagar sobre la adopción de nuevas tecnologías por parte de los productores agrícolas en Argentina.

CREA es una asociación civil sin fines de lucro que congrega a empresarios agrícolas conformando 232 grupos que abarcan diferentes regiones desde el noroeste argentino hasta la Patagonia y la sierra hasta Mesopotamia, e incluyen también las principales zonas de producción agrícola de las pampas húmedas. La población de miembros CREA está compuesta por 1785 productores agrícolas, distribuidos geográficamente como se muestra en la figura 18.

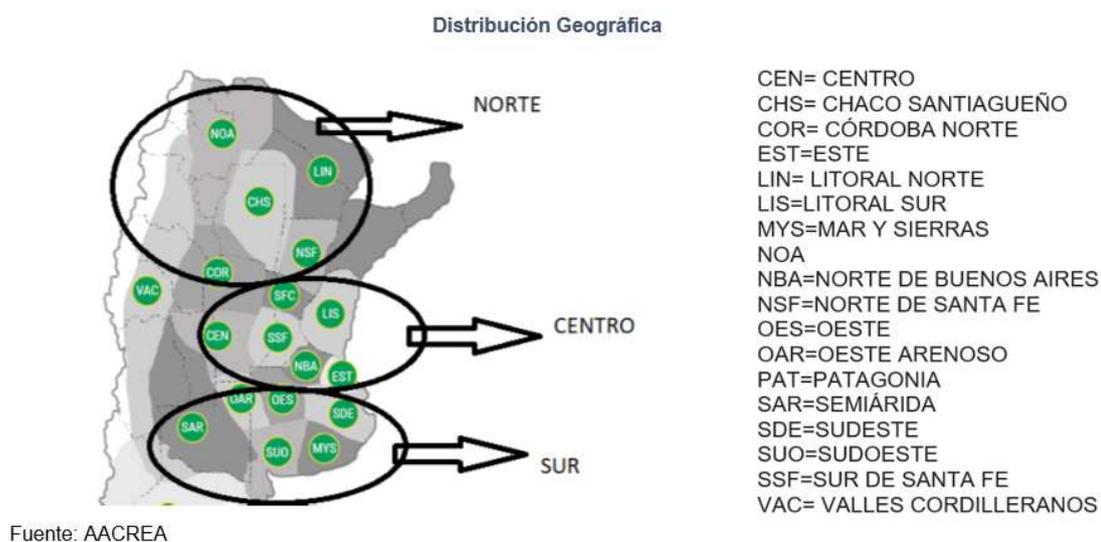


Figura 18: Distribución Geográfica de productores miembros CREA- Fuente CREA

La encuesta fue respondida por 562 productores agrícolas, lo que representa un 31% de tasa de respuesta. La edad promedio de estos productores es de 49 años y la distribución geográfica es: 20% de la región norte, 32% del centro y 48% del sur, en comparación con la población: 26%, 33% y 41%.

Se indagó sobre las siguientes tecnologías:

Tecnologías de Adquisición de datos	
	Características / Potencialidades
Sistemas de seguimiento de las condiciones de trabajo de los pulverizadores.	Permiten monitorear en tiempo real máquinas, vehículos y avance de sus labores aportando indicadores de eficiencia y calidad a efectos de ampliar la rentabilidad, optimizar tiempos, reducir costos y evitar desperdicio de insumos.
Sistemas de monitoreo de condiciones de almacenamiento de granos en silo bolsas a partir de sensores.	Monitoreo en tiempo real del estado de los granos dentro del silo bolsa, posibilitando controlar parámetros críticos como la temperatura, humedad, dióxido de carbono y movimiento.
Sistemas digitales de monitoreo y registro digital de malezas, plagas y enfermedades, mediante aplicaciones para celulares/ tablets.	Permite monitorear lotes, geolocalizar datos, explorar información a través de tablas, gráficos y mapas interactivos
Monitoreo de cultivos mediante uso de imágenes capturadas con satélites/drones	Herramientas digitales que aportan información procesada para efectuar análisis agronómico, diagnóstico a campo, monitoreo de grandes extensiones. Toma de decisiones en función de información digital
Delimitación y caracterización de ambientes (uso de cartas de suelo, confección de mapas de tosca, electro conductividad, napa, etc.)	Ayudan a identificar cómo la topografía puede afectar los resultados agronómicos en un campo y a nivelar el mismo (Whelan & Taylor, 2013). También posibilitan recopilar información sobre la textura del suelo, disponibilidad de nutrientes y otras propiedades químicas del suelo.
Tecnologías de Aplicación de Precisión	
Aplicación de insumos variables (semillas, herbicidas y fertilizantes).	Estos dispositivos pueden aplicar fertilizantes, semillas y pesticidas usando controladores para variar la tasa sobre la marcha. Pueden ser controlados por computadora de acuerdo con un mapa de prescripción o variados manualmente. Permiten el ajuste de la dosis de aplicación para las diferentes áreas de un lote, controlando así la variabilidad dentro del campo.

Tabla 7: Tecnologías de Adquisición de datos-Fuente: Elaboración Propia

El cuestionario utilizado se conformó a través de una serie de entrevistas en profundidad con productores agrícolas miembros CREA (ver anexo). En primer lugar, el encuestado eligió una de las tecnologías propuestas que conocía y el cuestionario se desarrolló luego en torno a ella.

Los productores que respondieron fueron clasificados en las etapas del proceso de adopción de tecnología de acuerdo con los siguientes criterios y la operacionalización presentada en la siguiente tabla:

Etapa	Concepto	Operacionalización
Pre-Contemplación	Los productores no tienen intención de cambiar. Hay falta de motivación o información para cambiar.	“Conozco o he oído hablar de la tecnología”. “No la he utilizado y no pienso hacerlo”.
Contemplación	Los productores tienen la intención de utilizar la tecnología, pero aún no han contactado a otros productores o profesionales en busca de asesoramiento ni han adaptado la infraestructura o los procesos para incorporarla.	“Voy a utilizar la tecnología” “He pensado que quizás podría utilizarla” “No he contactado a otros productores o profesionales para que me ayuden a comenzar a utilizarla” “No he adaptado mi infraestructura o procesos para poder utilizarla”
Preparación	Los productores buscan asesoramiento para conocer más sobre la tecnología, pero aún no han incurrido en ningún gasto para ponerla en funcionamiento.	“He contactado a otros productores o profesionales para que me ayuden a comenzar a utilizarla” “No he realizado inversiones o gastos para poner la tecnología en funcionamiento”
Acción	Los productores están utilizando la tecnología de manera regular. Han realizado inversiones parciales o totales y no están decepcionados ni tienen planes de dejar de utilizarla.	“Utilizo la tecnología en mi campo actualmente” “He realizado inversiones o gastos para poner la tecnología en funcionamiento” “La tecnología que he incorporado me está dando resultados”
Mantenimiento	Los productores realizaron inversiones y están convencidos del desempeño de la tecnología. Desean comunicar a otros los beneficios y continuar utilizándola.	“La estoy utilizando y voy a comunicar a otros acerca de los beneficios de esta tecnología”

		“La utilizo desde hace tiempo y pienso continuar”
--	--	---

Tabla 8: Etapas del proceso de adopción de tecnología-Fuente: Elaboración Propia.

Se consideran una serie de constructos que pueden facilitar o dificultar el avance a lo largo de las etapas del proceso de adopción de tecnología, tales como:

-La autoeficacia

-La actitud del productor frente al riesgo

-La facilidad de uso y aprendizaje percibido

-Balance decisional.

El primer constructo, que juega un papel esencial en la influencia de la motivación y el comportamiento (Bandura, 1986), es la percepción de autoeficacia del encuestado o la creencia de que uno tiene la capacidad para realizar una tarea. La autoeficacia en el contexto de la adopción tecnológica puede distinguirse como la confianza de un individuo en sí mismo en la capacidad de utilizar una innovación para alcanzar un comportamiento deseado (P. E. Pedersen & Ling, 2003). Es un factor importante en la toma de decisiones (Hagggar et al., 2001) y explica el comportamiento humano cuando los individuos carecen de confianza en sus habilidades o de control intencional sobre la realización del comportamiento (Ajzen, 2002).

Determina cuánto esfuerzo está dispuesto a ejercer un individuo y cuán persistente es frente a los obstáculos y experiencias negativas. Los individuos tienden a eludir tareas que entienden que exceden sus capacidades; sin embargo, están dispuestos a iniciar y ejecutar aquellas que ellos mismos juzgan capaces de manejar (Bandura, 1977) . Un alto nivel de autoeficacia forjará un individuo más seguro de sí mismo acerca de sus habilidades y

robustecerá su motivación (Tamjidyamcholo et al., 2013) y cuanto más fuerte se perciba su autoeficacia, más fuertes y sostenidos serán sus esfuerzos (I. Brown & Inouye, 1978)

Las investigaciones indican que la autoeficacia influye en una serie de conductas relacionadas con el trabajo, incluidas las metas, el compromiso con la tarea y el desempeño (Gist, 1987), de forma que, el éxito o fracaso de una tarea está relacionado con la autoeficacia del individuo. Las creencias sobre la autoeficacia se basan en cuatro fuentes de información (Bandura, 1977):

-Influencia de experiencias previas y las consecuencias del éxito o fracaso en la adopción de un nuevo comportamiento.

- Observar a otros antes de decidir realizar el cambio.

-Afirmación verbal de otros como forma de crear una sensación de ánimo frente al cambio.

- Experimentar una atmósfera de apoyo y confianza aumenta la autoeficacia de un individuo

Se utilizó una escala de Likert (Likert, 1932) adaptada de (Hill et al., 1987) con los ítems enumerados en la tabla 9. Se registraron las respuestas en una escala entre 0 (totalmente en desacuerdo) y 10 (totalmente de acuerdo). Se obtuvo una puntuación por suma de los ítems revirtiendo previamente el ítem 1 y 2.

Indicadores de autoeficacia
1.Nunca entenderé cómo se usa la nueva tecnología
2.Solo unos pocos expertos entienden cómo funciona
3.Tengo la capacidad de incorporar la tecnología

Tabla 9: Indicadores de autoeficacia-Fuente: Elaboración Propia.

La agricultura es una actividad riesgosa por naturaleza y la incertidumbre determina un contexto en el cual el productor adquiere una vital importancia en la toma de decisiones ante los riesgos que impactan en la actividad (Fusco, 2012). La adopción de una nueva tecnología amplía ese riesgo ya que muchas veces los productores no están seguros de las propiedades

y el rendimiento de la misma, y estas incertidumbres interactúan con los factores aleatorios que afectan la actividad, de manera que, si se tienen en cuenta las percepciones y la actitud hacia el riesgo del productor será posible analizar mejor las decisiones en situaciones de riesgo e incertidumbre (Lucas & Pabuayon, 2011), permitiendo describir el comportamiento de toma de decisiones cuando estos se enfrentan a situaciones inciertas (Flaten et al., 2005).

La agricultura casi siempre involucra un grado considerable de riesgo, y esto puede asumir dimensiones importantes cuando se contempla una nueva práctica. El riesgo percibido por el productor sobre una tecnología es un factor importante en el proceso de adopción (Hawkins et al., 1982) y diferentes investigaciones han demostrado que el riesgo y la incertidumbre tienen una gran influencia en la tasa de adopción de innovaciones en el sector (Feder & Umali, 1993; Ghadim & Pannell, 2003; Just & Pope, 2001; Shapiro et al., 1992).

Por lo tanto, el segundo constructo a considerar es la actitud del productor hacia el riesgo, ya que comprender la forma en que los productores perciben el riesgo hacia nuevas tecnologías o prácticas (Guerin & Guerin, 1994) es fundamental para vislumbrar mejor el proceso de adopción.

Este constructo se midió mediante una escala Likert, adaptada de (Johnson et al., 2004) con ítems que se muestran en la tabla 10 y representan la voluntad de emprender diferentes acciones de riesgo, en una escala de acuerdo similar permitiendo evaluar diferentes componentes que contribuyen a las diferencias en el comportamiento aparente de asunción de riesgos (riesgo percibido, actitud frente al riesgo percibido) en diferentes dominios. Se registraron las respuestas en una escala entre 0 (Jamás lo haría) y 5 (muy probable).

Indicadores de Actitud hacia el Riesgo
1. No usar el cinturón de seguridad en el asiento delantero o conducir una motocicleta sin casco
2. Acampar en un lugar desierto, lejos de la civilización.
3. Toma una clase de paracaidismo

4. Dejar un trabajo estable para participar en un esfuerzo que me gusta
5. Alejarme de mi familia y amigos
6. Invertir el 10% de mis ingresos en el mercado de valores (puedes ganar o perder más del 30% de la inversión)
7. Invertir el 10% de mis ingresos anuales en un nuevo negocio

Tabla 10: Indicadores de Actitud hacia el riesgo-Fuente: Elaboración Propia

El tercer constructo para tener en cuenta es la facilidad de uso y aprendizaje percibida. Si bien la investigación tradicional de TAM se ha asentado en las percepciones de la facilidad de uso para informar la intención de un usuario potencial de usar una tecnología, se tiene en cuenta en este trabajo también la percepción de facilidad de aprendizaje ya que desencadena cómo el posible usuario procesa cognitivamente la decisión de aprender esa nueva tecnología (Loraas & Diaz, 2011). La utilidad y facilidad de uso percibida son los predictores más antiguos y consistentes de la intención de aprender o usar una tecnología (Legris et al., 2003) e investigaciones sobre la validez discriminante de ambos constructos han demostrado que están altamente correlacionados. Se ha establecido que la facilidad de aprendizaje percibida tiene una relación positiva con la intención de aprender una tecnología (Legris et al., 2003) y a medida que aumenta la percepción de facilidad de aprendizaje es menos probable que el usuario experimente fallas al intentar aprender (Loraas & Diaz, 2011). Se midió la facilidad de uso y aprendizaje percibida de la tecnología mediante tres preguntas (tabla 11) con una escala verbal de cinco puntos entre 1 (Muy difícil) y 5 (Muy fácil).

Indicadores de Facilidad de uso y aprendizaje percibida
1. Aprender a usar la tecnología.
2. Utilizar la tecnología.
3. Corregir los errores que surgen al utilizar la tecnología.

Tabla 11: Indicadores de la Facilidad de uso percibida - Fuente: Elaboración Propia

Por último, otro de los constructos a analizar fue el Balance decisional, ya mencionado anteriormente, como parte del modelo TTM. En la tabla 12 se muestran los ítems

considerados para evaluar las ventajas y desventajas en relación con la adopción de nuevas tecnologías en la actividad agrícola.

Indicadores del Balance decisional	
Ventajas	Desventajas
Reduce los costos	Requiere Capacitación
Aumenta el rendimiento	Implica asumir posibles riesgos
Mejora la eficiencia	Proporciona datos difíciles de interpretar
Mejora la gestión de datos	Requiere una alta inversión
Mejorar la gestión de riesgos	Requiere gran escala
	Requiere mucho tiempo

Tabla 12: Indicadores del Balance Decisional- Fuente: Elaboración Propia

Los ítems considerados son principalmente beneficios o costos en diferentes formas. Dos de ellos están relacionados con el riesgo, un factor relevante para la innovación y también se incluyó el ítem referido a requerimiento de gran escala debido al impacto del tamaño de la granja en la productividad y otras variables (Sheng et al., 2019) que pueden afectar la adopción tecnológica.

Confiabilidad y validez del instrumento de medida

La confiabilidad de un instrumento de medición se refiere a su capacidad para obtener mediciones con un error mínimo (Jabrayilov et al., 2016) mientras que la validez describe si el instrumento utilizado realmente mide lo que pretende medir (Moses, 2017), es decir, un cuerpo de evidencia que ayuda a establecer una relación entre el puntaje de un instrumento y la estructura que se mide, reflejando hasta qué punto la evidencia y la teoría respaldan la interpretación de los puntajes de las pruebas a partir de los usos previstos (Messick, 1975).

El análisis factorial confirmatorio ayuda a evaluar la confiabilidad y validez del instrumento ya que se considera un requisito necesario para demostrar que los indicadores propuestos miden ese factor (Jöreskog, 1978).

La validez convergente se refiere al grado de certeza en que los indicadores propuestos miden la misma variable o factor latente, tratando de averiguar si la estructura es medida con precisión por los mismos o no (Cheung & Wang, 2017). Una medida propuesta por Fornell y Larcker (1981) para evaluar la validez convergente es la varianza media extraída (AVE³⁵) y establecieron como criterio de que un factor, con independencia de su número de indicadores, debe explicar más del 50 % de la varianza de estos para que sea posible considerar que posee validez convergente. Mediante simulación, Cheung y Wang (2017) recomendaron un AVE no significativamente menor que 0,50. Si AVE es menor que 0,50, la varianza debida al error de medición es mayor que la varianza capturada por el constructo entonces la validez de los indicadores individuales y el constructo son cuestionables (Jöreskog, 1978).

Green y Yang (2015) recomiendan el uso del coeficiente (CR³⁶) para evaluar la confiabilidad por consistencia interna, también conocido como coeficiente ρ de Jöreskog (Jöreskog, 1978) o coeficiente ω de McDonald (2013) permite evaluar la confiabilidad compuesta o de constructo (discriminante). Green y Yang (2015) sostienen que este coeficiente permite superar la limitación del coeficiente alfa de Cronbach que requiere que los ítems sean esencialmente tau-equivalentes³⁷ (Cho & Kim, 2015) . Se ha postulado que valores entre 0,70 y 0,79 para CR reflejan una consistencia aceptable que muestra que al menos el 70% de la varianza de las mediciones o puntajes de pruebas experimentales están libres de errores. Por el contrario, valores entre 0,80 y 0,89 se consideran buenos y mayores o iguales a 0,90 se consideran excelentes (Cho & Kim, 2015; Green & Yang, 2015; Viladrich et al., 2017).

³⁵ Average variance extracted

³⁶ Composite reliability

³⁷ Refiere a los siguientes supuestos de acuerdo con la teoría clásica del test: 1) Puntuación observada en un ítem es la suma de dos puntuaciones independientes (puntuación verdadera y error de medida)-2) la media de los errores de medida del ítem es cero- 3) los errores de medida de dos ítems de la escala son independientes-4) las puntuaciones verdaderas de un ítem y el error de medida del otro ítem también son independientes (Jabrayilov et al., 2016)

Se aplicó un análisis factorial confirmatorio a efectos de indagar si los ítems o indicadores miden los constructos o factores propuestos (Autoeficacia, Actitud hacia el riesgo, Facilidad de uso y aprendizaje percibida y balance decisional). La tabla 13 muestra los valores de la varianza media extraída (AVE) y del coeficiente de confiabilidad compuesta CR para cada constructo considerado en este estudio, evidenciando en todos ellos valores aceptables reflejando adecuada validez y confiabilidad del instrumento de medida utilizado.

Constructo	AVE	CR
Autoeficacia	0,5149	0,6899
Facilidad de uso percibida	0,6221	0,8275
Actitud hacia el riesgo	0,5358	0,7209
Balance Decisional	0,5638	0,7480

Tabla 13: Coeficientes de confiabilidad y validez para cada constructo Fuente: Elaboración

Propia

Modelado Estadístico

Modelo de respuesta ordinal. Modelo logístico ordinal secuencial

El objetivo del análisis es predecir el comportamiento decisorio del productor agrícola y determinar la influencia de las diferentes características de las tecnologías y de los decisores en la elección de avanzar en cada etapa del proceso de innovación.

Se aplicó un modelo logístico ordinal secuencial (Tutz, 2011) que permite reflejar la sucesiva transición a categorías superiores en un modelo paso a paso para analizar los factores que promueven o dificultan el progreso a lo largo de las cinco etapas del proceso de adopción de tecnología. Se aplica un componente del modelo a cada transición de etapa. Las variables explicativas, representadas por los constructos detallados anteriormente se comparten, sin embargo, los parámetros se establecen como independientes.

El proceso comienza en Pre-Contemplación (categoría 1). La decisión entre la categoría {1} y las categorías {2, ..., k} se determina en el primer paso mediante un modelo de respuesta dicotómica:

$$P(Y = 1/x) = F(\gamma_{01} + x^T \gamma_1)$$

Si $Y = 1$, el proceso se detiene. La transición entre Pre-Contemplación y Contemplación (categoría 2) Si $Y \geq 2$, es una decisión entre la categoría {2} y las categorías {3, ..., k} y está determinado por:

$$P(Y = 2/Y \geq 2, x) = F(\gamma_{02} + x^T \gamma_2)$$

El tránsito a Preparación (categoría 3) se evalúa mediante el siguiente componente del modelo dicotómico:

$$P(Y = 3/Y \geq 3, x) = F(\gamma_{03} + x^T \gamma_3)$$

Las transiciones a Acción y Mantenimiento (categorías 4 y 5) se evalúan mediante dos componentes dicotómicos similares del modelo. Cada componente del modelo dicotómico se especificó como un modelo logístico y los parámetros de los modelos se estimaron por el método de máxima verosimilitud utilizando el software R, proporcionando información sobre la influencia de cada variable en la probabilidad de pasar a la siguiente etapa en el proceso de adopción tecnológica.

Conclusión del capítulo

Se presentan a continuación los resultados obtenidos. Cada encuestado se centró en una tecnología, correspondiente a una unidad de análisis. Estas unidades se distribuyen a lo largo de las etapas del proceso de adopción de tecnología como se muestra en la tabla 14. Alrededor de la mitad de la muestra se encuentra en la etapa de Mantenimiento, y la otra mitad se distribuye más o menos uniformemente en las demás etapas.

Etapa de cada Productor-Tecnología en el Proceso de Adopción	
Pre-contemplación	16%
Contemplación	7%
Preparación	15%
Acción	8%
Mantenimiento	54%

Tabla 14: Etapa de cada productor en el Proceso de Adopción-Fuente: Elaboración Propia

El primer componente del modelo logístico ordinal secuencial corresponde al paso de la etapa de Pre-contemplación a la de Contemplación. Los parámetros estandarizados involucrados en este submodelo se muestran en la tabla 15³⁸

Modelo de Etapa de Contemplación					
Coefficientes	Estimate	Std.Error	Z value	Pr(> z)	
Intercept	-1.005	0.235	-4.280	<0.001	***
Aumenta el rendimiento	0.484	0.272	1.779	0.07	.
Datos difíciles de interpretar	-0.388	0.245	1.581	0.07	.
Requiere gran escala	0.633	0.295	2.148	0.03	*
Insume mucho tiempo	-0.565	0.313	-1.802	0.07	.
Requiere capacitación	-0.451	0.283	-1.590	0.03	*
Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1					

Tabla 15: Modelo de etapa de Contemplación- Fuente: Elaboración Propia

En la etapa de Pre-contemplación, los productores agrícolas aún conocen poco sobre la nueva tecnología y aunque su conocimiento sobre la nueva tecnología es limitado en este punto, la expectativa de mayores rendimientos favorece la transición hacia la adopción. Esta expectativa puede hacer que estén más dispuestos a pasar a la siguiente etapa. Los adoptantes tempranos a menudo están motivados por los beneficios inmediatos que pueden obtener de la innovación. Estos beneficios pueden incluir no solo mayores rendimientos, sino también mejoras en la eficiencia y sostenibilidad en sus operaciones agrícolas, por ello, el papel del

³⁸ Se descartaron los parámetros con valores z inferiores a 1,5

agente de cambio es crucial transmitiendo claramente el potencial de la nueva tecnología proporcionando información precisa y relevante demostrando cómo la tecnología puede ser aplicada en el contexto agrícola. Esto puede ayudar a superar cualquier incertidumbre facilitando la transición hacia prácticas más innovadoras y sostenibles.

El desarrollo tecnológico contribuye significativamente a las mejoras en la productividad y al crecimiento de los ingresos (Jorgenson, 2011). La adopción tecnológica brinda beneficios, sin embargo, la naturaleza y el alcance de estos pueden variar entre individuos y situaciones, destacando que el efecto de mejora del rendimiento es un factor determinante en la adopción (Sunding & Zilberman, 2001).

El requisito de tiempo y entrenamiento se presentan como barreras en esta primera etapa ya que la falta de experiencia y el poco conocimiento crea escepticismo y desconfianza de forma que el apoyo externo y el intercambio de experiencias exitosas son fundamentales para mitigar tales actitudes. La adquisición de información sobre nuevas tecnologías permite a los agricultores aprender formas efectivas de utilizarlas, lo que reduce la incertidumbre sobre la funcionalidad de esta (Bonabana-Wabbi, 2002) y los beneficios potenciales de la tecnología pueden reemplazar con el tiempo la opinión subjetiva del agricultor con una evaluación objetiva (Mwangi & Kariuki, 2015).

Las nuevas complejidades de gestión tecnológica en agricultura requieren habilidades y herramientas ampliadas generando la necesidad de proporcionar información y capacitación relevante para garantizar que las nuevas tecnologías se apliquen correctamente. Los programas de capacitación deben reflejar la dinámica de cambio y ser científicamente sólidos y sensibles a los diferentes talentos y habilidades de los productores.

El tamaño del campo desempeña un papel importante en los sistemas económicos agrícolas y en la introducción de nuevas tecnologías y se observa que no representa un obstáculo para

esta transición de etapa. Muchos estudios han demostrado una relación positiva entre el tamaño del campo y la adopción de tecnología agrícola (Ahmed & Bagchi, 2004; Gabre-Madhin & Haggblade, 2004). Es probable que productores con campos grandes adopten una nueva tecnología, ya que pueden destinar parte de su tierra a experimentar la misma (Uaiene & Arndt, 2009) pero, sin embargo, el tamaño de los campos pequeños puede facilitar la adopción esencialmente para innovaciones intensivas en insumos, como tecnologías intensivas en mano de obra o que ahorran tierra.

Los resultados del submodelo para la transición a la etapa de Preparación se muestran en la tabla 16.

Modelo de Etapa de Preparación					
Coefficients	Estimate	Std.Error	Z value	Pr(> z)	
Intercept	-0.443	0.159	-2.778	< 0.01	**
Actitud hacia el riesgo	0.347	0.161	2.157	0.03	*
Aumenta el rendimiento	0.296	0.164	1.802	0.07	.
Mejora la gestión de riesgos	0.379	0.176	2.151	0.03	*
Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1					

Tabla 16: Modelo de Etapa de Preparación- Fuente: Elaboración Propia

Los productores tienden a adoptar tecnologías y técnicas cuando consiguen lograr una mayor rentabilidad (De Graaff et al., 2008; Jara-Rojas et al, 2012). Además, los esfuerzos pioneros para adoptar nuevas tecnologías otorgan una ventaja competitiva sobre los no adoptantes y los adoptantes tardíos (Foster & Rosenzweig, 2010), de forma que, en esta etapa, se evidencia que el aumento de los rendimientos esperados continúa llevando a los productores a la siguiente etapa. Sin embargo, el tema del riesgo cobra mayor relevancia en esta transición, demostrando que la actitud hacia el riesgo favorece la transición. Si bien la mayoría de los modelos de adopción de tecnología predicen que la aversión al riesgo retrasa la adopción, Tsur et al (1990) muestran que la aversión al riesgo tiene un efecto positivo en la adopción. Este resultado aparentemente contradictorio puede explicarse por el hecho de

que aun cuando la ganancia promedio en un momento dado sea negativa, la compensación en períodos futuros se produce como resultado de la reducción de riesgos futuros resultante del aprendizaje.

Las decisiones de un individuo sobre la combinación óptima de acciones o prácticas dependen de la percepción del beneficio esperado, la percepción del riesgo y la actitud hacia el riesgo. La evidencia empírica muestra que a menudo hay una compensación entre el beneficio y el riesgo (Binswanger, 1980) donde las actitudes de los productores varían ampliamente siendo la más común una leve aversión al riesgo (Bardsley & Harris, 1987).

La gestión de riesgos es una parte importante del proceso de toma de decisiones y para el productor implica encontrar la combinación deseada de actividades con resultados inciertos y rendimientos esperados variables (Harwood, 1999) y en esta etapa se observa una estima por aquellas tecnologías que favorecen dicho aspecto a efectos de lograr una oportuna mejora desde la perspectiva del presente y el futuro.

Por otro lado, los temas de adquisición de información han sido dejados de lado en esta etapa, lo que significa que el productor agrícola ya tiene toda la información, ha superado la fase de exploración y aprendizaje inicial, sin embargo, esta etapa involucra la consulta a expertos, convirtiendo el consumo de tiempo en inversión. Los expertos pueden proporcionar una visión más profunda y especializada ayudando al productor a anticipar posibles desafíos y optimizar su uso para obtener los máximos beneficios.

El agente de cambio debe mantener visible el objetivo de aumento del rendimiento en esta parte del proceso y centrarse ahora en el lado del riesgo. Los estudios de casos y los testimonios pueden ayudar a reducir la barrera, sin embargo, las políticas más interactivas tienen una mayor probabilidad de influir en el comportamiento. Este es el enfoque seguido en CREA, donde los grupos regionales se reúnen periódicamente para discutir la situación

del negocio y la tecnología. Tener un adoptador de tecnología en el grupo permite la discusión entre pares en un entorno de confianza, donde se pueden intercambiar los detalles.

Los resultados del submodelo para la transición a la etapa de Acción se muestran en la tabla 17.

Modelo de etapa de acción					
Coefficients	Estimate	Std.Error	Z value	Pr(> z)	
Intercept	-1.665	0.198	-8.409	<0.001	***
Reduce costos	0.377	0.215	1.754	0.08	.
Requiere capacitación	-0.581	0.195	-2.980	<0.01	**
Mejora la gestión de datos	0.381	0.231	1.650	0.09	.
Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1					

Tabla 17: Modelo Etapa de Acción- Fuente: Elaboración Propia

El productor agropecuario ya está operando con la nueva tecnología en la etapa de acción de forma que la reducción de costos se hace evidente en este punto validando la decisión. Además, en esta etapa, la gestión de datos mejorada se vuelve valiosa y aunque este beneficio no se detectó en fases anteriores, ahora se vuelve evidente. La capacidad de recopilar, analizar y utilizar datos de manera más eficiente conduce a mejoras significativas en la productividad y eficiencia.

La complejidad inherente a las nuevas tecnologías implica la necesidad de adquirir habilidades de aprendizaje más avanzadas para su correcta implementación y gestión (Pathak et al., 2019), lo que varía de individuo a individuo y, por lo tanto, puede afectar la implementación apropiada, por eso en esta etapa el requerimiento de capacitación se presenta como un obstáculo significativo reflejando que la naturaleza de las innovaciones demanda cada vez más información y sapiencias más sofisticadas y mejor adaptadas haciendo imperioso lograr un desarrollo más general en el sector agrícola a efectos de que el conocimiento se convierta en un factor económico cada vez más importante, un verdadero factor de producción y crecimiento (Ray et al., 2002).

El aprendizaje a nivel individual, aunque esencial, no es suficiente en el contexto de la implementación y gestión de nuevas tecnologías, sino que es necesario el aprendizaje simultáneo por parte de múltiples actores interdependientes. Estos actores, que pueden incluir individuos, organizaciones, instituciones y comunidades, deben desarrollar entendimientos que sean complementarios y/o superpuestos o incluso completamente compartidos como base para una acción coordinada efectiva para avanzar en los programas educativos y de investigación de manera interdisciplinaria y colaborativa. Esto es fundamental para establecer una base sólida para una acción coordinada efectiva.

Los resultados del submodelo para la transición a la etapa de Mantenimiento se muestran en la tabla 18.

Modelo de Etapa de Mantenimiento					
Coefficients	Estimate	Std.Error	Z value	Pr(> z)	
Intercept	-1.54503	0.72869	-2.120	0.03	*
Percepción de la facilidad de uso	0.12038	0.06023	1.998	0.05	*
Autoeficacia	0.03606	0.01428	2.525	0.01	*
Aumenta el rendimiento	0.11967	0.04045	2.959	< 0.01	**
Requiere una alta inversión	-0.22336	0.03620	-6.171	< 0.01	***
Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1					

Tabla 18: Modelo de Etapa de Mantenimiento- Fuente: Elaboración Propia

En esta etapa del proceso de adopción el productor agrícola ha tomado la decisión consciente de continuar con la nueva tecnología. A través de la experimentación y la interacción, se ha familiarizado con ella y ha comenzado a percibirla como fácil de usar. Este cambio en la percepción es importante ya que reduce las barreras psicológicas y facilita la integración de la tecnología en las prácticas agrícolas cotidianas.

El aumento de rendimiento observado en esta etapa es una validación tangible de los beneficios de la nueva tecnología que asegura al productor que la decisión de adoptar fue beneficiosa. Este esfuerzo positivo no solo justifica inversión inicial, sino que también

motiva al productor a explorar aún más su potencial. Finalmente, esta etapa culmina en la consolidación de la acción en mantenimiento donde el productor ha integrado completamente la tecnología en su operación, desarrollado rutinas y procedimientos para su uso y mantenimiento continuos.

La autoeficacia también apoya el cambio dando preponderancia a esta creencia psicológica que resuena con el hecho de que la nueva tecnología está en su lugar y funcionando, para persuadir al productor agrícola de que el cambio sostenido es factible. Este constructo se destaca como un componente del autocontrol refiriendo como el productor evalúa su capacidad para realizar con éxito una tarea específica. Una mayor autoeficacia de los productores está relacionada con una actitud positiva hacia sus destrezas, capacidades, experiencia y conocimientos, que son necesarios para la innovación. La autoeficacia es un factor importante en el funcionamiento de la agricultura (Wuepper & Sauer, 2016) logrando anticipar adecuadamente la adopción (M. S. Sharifzadeh et al., 2017) y ayudando a los productores a evaluar positivamente su capacidad para adoptar con éxito la tecnología. Vislumbrar de manera más profunda el rol que desempeña la autoeficacia en los procesos de toma de decisiones de los productores puede anticipar actividades futuras de extensión agrícola (Wilson et al., 2015) y valorar su vínculo con la adopción o adaptación de tecnologías agrícolas innovadoras. Los programas de extensión agrícola que tienen como objetivo proporcionar a los agricultores actividades de aprendizaje pueden ser un incentivo para mejorar la autoeficacia y, por lo tanto, su comportamiento futuro. Una mejor comprensión de cómo cambia la autoeficacia de los agricultores como resultado de los esfuerzos de extensión agrícola puede conducir a una adopción más rápida de futuras tecnologías innovadoras.

Al alcanzar esta etapa, los productores responden a señales correctas para adoptar tecnologías apropiadas, invirtiendo, adoptando tecnologías y prácticas agrícolas sostenibles

cuando esperan que la inversión valga la pena, cuando tienen la educación, el conocimiento y la motivación adecuados, y cuando la política establece metas claras. Observar una inversión en tecnología rentable de otro productor con instalaciones y recursos similares a menudo ayuda con la toma de decisiones y, en última instancia, puede guiar los cambios realizados.

De acuerdo con lo expresado anteriormente, se presenta a continuación en la tabla 19 un resumen de las etapas del proceso de adopción y los factores que obstaculizan y facilitan el progreso entre las diferentes etapas.

Precontemplación	Contemplación	Preparación	Acción	Mantenimiento
	Aumenta los rendimientos ⊕			
	Requiere gran escala ⊕			
	Datos difíciles de interpretar ⊖			
	Requiere capacitación ⊖			
	Insume mucho tiempo ⊖			
	Aumenta los rendimientos ⊕			
	Actitud hacia el riesgo ⊕			
	Mejora la gestión del riesgo ⊕			
		Reduce Costos ⊕		
		Mejora la gestión de datos ⊕		
	Requiere Capacitación ⊖			
	Facilidad de uso Percibida ⊕			
	Aumenta los rendimientos ⊕			
	Autoeficacia ⊕			
	Requiere alta inversión ⊖			

⊕ Factores que facilitan la transición

⊖ Factores que dificultan la transición

Tabla 19: Factores que obstaculizan y facilitan el progreso entre las diferentes etapas

Fuente: Elaboración Propia

Conclusiones

La presente tesis ha tenido como objetivo desarrollar un modelo de adopción tecnológica para comprender los factores que influyen en el proceso de decisión de adopción de nuevas tecnologías por parte de los productores agrícolas y predecir el comportamiento de estos ante el cambio.

Para ello en el primer capítulo se desarrollaron los diferentes modelos conceptuales de adopción aportando una visión general para explicar el fenómeno desde distintas perspectivas descubriendo diversos factores para comprender, explicar y predecir el comportamiento del individuo en relación con el uso de tecnologías. Con base en estos modelos, en el capítulo 2, se presentó una revisión de la literatura abordando el tema de la adopción de nuevas tecnologías en el sector agrícola con hallazgos que han contribuido a comprender mejor el fenómeno de la adopción en este sector evidenciando la incorporación de diferentes factores impactando en la decisión de los productores de adoptar o no una innovación. El modelo Transteórico del Cambio fue el eje principal del capítulo 3 contribuyendo a una visión gradual de la disposición de los individuos al cambio integrando diferentes teorías de psicoterapia fundamentado en las etapas desde la precontemplación hasta la acción y en los procesos explicando las dificultades y los avances de los individuos en su camino hacia el cambio. El balance decisional y la autoeficacia se destacan en este modelo como constructos fundamentales en las etapas iniciales de precontemplación, contemplación y preparación, y menos en las etapas finales de acción y mantenimiento en el primer caso y la influencia en la motivación, la persistencia y el éxito en el cambio variando según el nivel de confianza que los individuos perciben en el segundo.

El capítulo 4 analizó los modelos de respuesta ordinal junto a los modelos secuenciales a efectos de reflejar la sucesiva transición a categorías superiores en un modelo paso a paso como base para generar luego el modelo logístico ordinal secuencial. Finalmente, el capítulo

5 expone el contexto asociado a las nuevas tecnologías en el sector agrícola evidenciando distintos aspectos de la agricultura de precisión se presenta el modelo de adopción tecnológica propuesto para describir, explicar y predecir el proceso de adopción en el sector agrícola de Argentina haciendo foco en las diferentes etapas del proceso de cambio, impulsores y barreras para el progreso.

El primer paso lleva al tomador de decisiones de la Precontemplación a la etapa de Contemplación, donde no solo es consciente de la nueva tecnología, sino que también muestra interés por ella. El principal impulsor de este cambio es la expectativa de aumento del rendimiento y el requerimiento de escala, mientras que una curva de aprendizaje empinada representada por la dificultad para interpretar datos e insumo de tiempo se erigen como barreras. Es importante enfatizar el papel de las organizaciones de productores como iniciadoras de la transferencia de tecnología y conocimiento a través del intercambio de información e ideas promoviendo la capacitación para que puedan avanzar en la economía basada en el conocimiento y estar atentos a los cambios tecnológicos y políticos del futuro.

Pasar de la etapa de Contemplación a Preparación implica la búsqueda de información, destacando también el aumento del rendimiento como factor relevante en este paso, sin embargo, a medida que el responsable de la toma de decisiones analiza la iniciativa más a fondo, se consideran diferentes aspectos de riesgo. Las tecnologías que mejoran la gestión de riesgos se vuelven más atractivas en este punto y la actitud propensa al riesgo del productor se convierte en un facilitador, ya que acceder a una gran cantidad de información neutral que cubre tanto aspectos técnicos como generales, consiguen minimizar el riesgo de adoptar nuevas tecnologías. El agente de cambio, manteniendo el mensaje general de aumento del rendimiento, debe abordar los aspectos de riesgo emergentes en esta etapa mediante capacitación interactiva y testimonios de casos de éxito, siendo fundamental, el

enfoque en productores más grandes y menos reacios al riesgo para conseguir implementaciones tempranas.

El pasaje a la etapa de acción se caracteriza por la inversión y la implementación donde la reducción de costos se hace evidente, así como la mejora de la gestión de datos, mientras que los rendimientos pasan a un segundo plano. La dificultad de la operación puede ser una razón para el abandono en esta etapa, por lo tanto, es importante que el agente de cambio apoye a los primeros usuarios con capacitación continua.

La última etapa hacia Mantenimiento destaca nuevamente el aumento de rendimientos como facilitador, pero también se destacan la percepción de facilidad de uso percibida junto a una mayor autoeficacia en los tomadores de decisiones que logran alcanzar esa etapa siendo sorprendente que este último constructo no esté impulsando al productor agrícola antes en el proceso de adopción. Como obstáculo en esta etapa se distingue el requerimiento de una alta inversión, por lo que, es sustancial que los sistemas de financiación rural suministren crédito a los productores para inversiones, compra de insumos y seguros. Asimismo, los sistemas locales de ahorro y crédito también pueden reducir significativamente los costos de transacción y los riesgos en las inversiones rurales.

El modelo de innovación propuesto ha demostrado suministrar información valiosa sobre los factores que promueven y dificultan el cambio en cada etapa del proceso. El hecho de dividir el proceso en cinco etapas proporciona una visión más profunda y un asesoramiento más preciso y oportuno para el agente de cambio. Los mensajes y los programas de innovación deben adaptarse a medida que el adoptante madura a lo largo del proceso, siendo esta información invaluable para los agentes de cambio y los proveedores de tecnología. Se requiere cooperación entre diferentes actores como formuladores de políticas, industria y sociedad, asociaciones de agricultores y cooperativas para proporcionar las mejores herramientas de desarrollo tecnológico y apoyo a la toma de decisiones. Los grupos de

productores y las redes virtuales han adquirido una creciente relevancia en la difusión de tecnología y los servicios de extensión pueden capitalizar estos cambios y ajustar sus estrategias de manera acorde para fomentar la adopción de nuevas prácticas por parte de los agricultores.

Las políticas y programas gubernamentales desempeñan un papel clave en la promoción de la innovación en el sector agrícola, alentando a los productores a adoptar nuevas prácticas, promoviendo el apoyo financiero para la investigación, el desarrollo y facilitando el intercambio de información y la colaboración entre las partes interesadas del sector. Se enfatiza la capacidad inherente de colaboración entre agencias gubernamentales, institutos de investigación y productores con el objetivo de mejorar la productividad, la resiliencia y la sostenibilidad del sector agrícola mediante el desarrollo y la implementación de políticas y prácticas innovadoras.

Limitaciones y consideraciones futuras

En relación con la muestra, se observa que es bastante limitada durante las primeras etapas del proceso. Una investigación más exhaustiva podría abordar esta limitación con el objetivo de fortalecer los submodelos correspondientes, incluso identificando los factores más preponderantes, una muestra de mayor tamaño permitiría discernir efectos más sutiles. Se cree que la autoeficacia debería desempeñar un papel significativo en las primeras etapas del proceso de innovación, facilitando su avance y, asimismo, se anticipa que las actitudes frente al riesgo influyan en la transición hacia la etapa de acción, donde se llevan a cabo las inversiones. La diversificación del espectro de tecnologías y su agrupación en conjuntos homogéneos permitiría una especificación más precisa del modelo para la comprensión de la tipología tecnológica.

Referencias bibliográficas

- Abera, H. B. (2008). Adoption of improved tef and wheat production technologies in crop-livestock mixed systems in northern and western Shewa zones of Ethiopia [PhD Thesis]. University of Pretoria.
- Adrian, A. M. (2006). Factors influencing adoption and use of precision agriculture. Auburn University.
- Ahmed, S., & Bagchi, K. K. (2004). Factors and constraints for adopting new agricultural technology in Assam with special reference to Nalbari district: An empirical study. *Contemp. Indian Policy*, 3, 205-216.
- Ajzen, I. (1991). The theory of planned behavior. *Organizational behavior and human decision processes*, 50(2), 179-211.
- Ajzen, I. (2002). Perceived behavioral control, self-efficacy, locus of control, and the theory of planned behavior 1. *Journal of applied social psychology*, 32(4), 665-683.
- Annis, H. M., & Davis, C. S. (1989). Relapse Prevention Training: A cognitive-behavioral approach based on self-efficacy theory. *Journal of Chemical Dependency Treatment*.
- Aubert, B. A., Schroeder, A., & Grimaudo, J. (2012). IT as enabler of sustainable farming: An empirical analysis of farmers' adoption decision of precision agriculture technology. *Decision support systems*, 54(1), 510-520.
- Bagozzi, R. P. (2007). The legacy of the technology acceptance model and a proposal for a paradigm shift. *Journal of the association for information systems*, 8(4), 3.
- Bandura, A. (1977). Self-efficacy: Toward a unifying theory of behavioral change. *Psychological review*, 84(2).

- Bandura, A. (1982). The psychology of chance encounters and life paths. *American psychologist*, 37(7).
- Bandura, A. (1986). *Social foundations of thought and action*. Englewood Cliffs, NJ, 1986(23-28).
- Bardsley, P., & Harris, M. (1987). An approach to the econometric estimation of attitudes to risk in agriculture. *Australian Journal of Agricultural Economics*, 31(2), 112-126.
- Binswanger, H. P. (1980). Attitudes toward risk: Experimental measurement in rural India. *American journal of agricultural economics*, 62(3), 395-407.
- Bonabana-Wabbi, J. (2002). *Assessing factors affecting adoption of agricultural technologies: The case of Integrated Pest Management (IPM) in Kumi District, Eastern Uganda [PhD Thesis]*. Virginia Tech.
- Bongiovanni, R. (2009). *Econometría espacial aplicada a la agricultura de precisión*. *Actualidad Económica*, 19(67), 9-28.
- Bragachini, M., Mendez, A., Scaramuzza, F., & Proietti, F. (2004). *Historia y desarrollo de la agricultura de precision en Argentina*. INTA.
- Brown, I., & Inouye, D. K. (1978). Learned helplessness through modeling: The role of perceived similarity in competence. *Journal of personality and Social Psychology*, 36(8), 900.
- Brown, S. A., & Venkatesh, V. (2005). A model of adoption of technology in the household: A baseline model test and extension incorporating household life cycle. *Management Information Systems Quarterly*, 29(3), 11.
- Chamala, S. (1987). Adoption processes and extension strategies for conservation farming. *Tillage: New directions in Australian agriculture*, 400-419.

- Cheung, G. W., & Wang, C. (2017). Current approaches for assessing convergent and discriminant validity with SEM: Issues and solutions. *2017(1)*, 12706.
- Cho, E., & Kim, S. (2015). Cronbach's coefficient alpha: Well-known but poorly understood. *Organizational research methods*, *18(2)*, 207-230.
- Chuttur, M. (2009). Overview of the technology acceptance model: Origins, developments and future directions.
- Compeau, D. R., & Higgins, C. A. (1995). Computer self-efficacy: Development of a measure and initial test. *MIS quarterly*, 189-211.
- Cooper, R. B., & Zmud, R. W. (1990). Information technology implementation research: A technological diffusion approach. *Management science*, *36(2)*, 123-139.
- Daberkow, S. G., & McBride, W. D. (2003). Farm and operator characteristics affecting the awareness and adoption of precision agriculture technologies in the US. *Precision agriculture*, *4(2)*, 163-177.
- Davis, F. D., Bagozzi, R. P., & Warshaw, P. R. (1989). User acceptance of computer technology: A comparison of two theoretical models. *Management science*, *35(8)*, 982-1003.
- Davis, F. D., Bagozzi, R. P., & Warshaw, P. R. (1992). Extrinsic and intrinsic motivation to use computers in the workplace 1. *Journal of applied social psychology*, *22(14)*, 1111-1132.
- De Graaff, J., Amsalu, A., Bodnar, F., Kessler, A., Posthumus, H., & Tenge, A. (2008). Factors influencing adoption and continued use of long-term soil and water conservation measures in five developing countries. *Applied Geography*, *28(4)*, 271-280.
- Deci, E. L. (1971). Effects of externally mediated rewards on intrinsic motivation. *Journal of personality and Social Psychology*, *18(1)*, 105.
- Deci, E. L. (1975). *Intrinsic motivation plenum*. New York.

- DiClemente, C. C. (1981). Self-efficacy and smoking cessation maintenance: A preliminary report. *Cognitive therapy and Research*, 5(2), 175-187.
- DiClemente, C. C., Prochaska, J. O., & Gibertini, M. (1985). Self-efficacy and the stages of self-change of smoking. *Cognitive therapy and Research*, 9(2), 181-200.
- Dodds, W. B., Monroe, K. B., & Grewal, D. (1991). Effects of price, brand, and store information on buyers' product evaluations. *Journal of marketing research*, 28(3), 307-319.
- Feder, G., Just, R. E., & Zilberman, D. (1985). Adoption of agricultural innovations in developing countries: A survey. *Economic development and cultural change*, 33(2), 255-298.
- Feder, G., & Umali, D. L. (1993). The adoption of agricultural innovations: A review. *Technological forecasting and social change*, 43(3-4), 215-239.
- Fichman, R. G. (2001). The role of aggregation in the measurement of IT-related organizational innovation. *MIS quarterly*, 427-455.
- Fishbein, M. (1976). A behavior theory approach to the relations between beliefs about an object and the attitude toward the object. En *Mathematical models in marketing* (pp. 87-88). Springer.
- Fishbein, M., & Ajzen, I. (1977). Belief, attitude, intention, and behavior: An introduction to theory and research. *Philosophy and Rhetoric*, 10(2).
- Fishbein, M., Jaccard, J., Davidson, A. R., Ajzen, I., & Loken, B. (1980). Predicting and understanding family planning behaviors. En *Understanding attitudes and predicting social behavior*. Prentice Hall.

- Flaten, O., Lien, G., Koesling, M., Valle, P. S., & Ebbesvik, M. (2005). Comparing risk perceptions and risk management in organic and conventional dairy farming: Empirical results from Norway. *Livestock Production Science*, 95(1-2), 11-25.
- Folorunso, O., & Ogunseye, S. O. (2008). Applying an enhanced technology acceptance model to knowledge management in agricultural extension services. *Data Science Journal*, 7, 31-45.
- Fornell, C., & Larcker, D. F. (1981). Evaluating structural equation models with unobservable variables and measurement error. *Journal of marketing research*, 18(1), 39-50.
- Foster, A. D., & Rosenzweig, M. R. (2010). Microeconomics of technology adoption. *Annual review of Economics*, 2.
- Fusco, M. A. (2012). Riesgo agropecuario [PhD Thesis, Universidad de Buenos Aires. Facultad de Ciencias Económicas.
- Gabre-Madhin, E. Z., & Haggblade, S. (2004). Successes in African agriculture: Results of an expert survey. *World development*, 32(5), 745-766.
- Ghadim, A. K. A., & Pannell, D. J. (1999). A conceptual framework of adoption of an agricultural innovation. *Agricultural economics*, 21(2), 145-154.
- Ghadim, A. K. A., & Pannell, D. J. (2003). Risk attitudes and risk perceptions of crop producers in Western Australia. En *Risk management and the environment: Agriculture in perspective* (pp. 113-133). Springer.
- Gist, M. E. (1987). Self-efficacy: Implications for organizational behavior and human resource management. *Academy of management review*, 12(3), 472-485.
- Gladwin, C. H. (1989). *Ethnographic decision tree modeling* (Vol. 19). Sage.

- Green, S. B., & Yang, Y. (2015). Evaluation of dimensionality in the assessment of internal consistency reliability: Coefficient alpha and omega coefficients. *Educational Measurement: Issues and Practice*, 34(4), 14-20.
- Griliches, Z. (1957). Hybrid corn: An exploration in the economics of technological change. *Econometrica, Journal of the Econometric Society*, 501-522.
- Guerin, L. J., & Guerin, T. F. (1994). Constraints to the adoption of innovations in agricultural research and environmental management: A review. *Australian journal of experimental agriculture*, 34(4), 549-571.
- Haggar, J., Ayala, A., Díaz, B., & Reyes, C. U. (2001). Participatory design of agroforestry systems: Developing farmer participatory research methods in Mexico. *Development in practice*, 11(4), 417-424.
- Harrison, D. A., Mykytyn Jr, P. P., & Riemenschneider, C. K. (1997). Executive decisions about adoption of information technology in small business: Theory and empirical tests. *Information systems research*, 8(2), 171-195.
- Hartwick, J., & Barki, H. (1994). Explaining the role of user participation in information system use. *Management science*, 40(4), 440-465.
- Harwood, J. L. (1999). *Managing risk in farming: Concepts, research, and analysis*. US Department of Agriculture, ERS.
- Hawkins, H. S., Dunn, A. M., & Cary, J. W. (1982). *Agricultural and Livestock Extension. The Extension Process*, Australian Vice Chancellors Committee, Canberra, 2.
- Herath, C. S. (2013). Does intention lead to behaviour? A case study of the Czech Republic farmers. *Agricultural Economics*, 59(3), 143-148.

Hill, T., Smith, N. D., & Mann, M. F. (1987). Role of efficacy expectations in predicting the decision to use advanced technologies: The case of computers. *Journal of applied psychology*, 72(2), 307.

Hsiu-Ping, Y., & Yi-Lin, L. (2010). Effects of farmer's computer abilities and self-efficacy on their learning performance and adoption intention of the farming management information system. *Journal of Agricultural Extension and Rural Development*, 2(9), 191-197.

Jabrayilov, R., Emons, W. H., & Sijtsma, K. (2016). Comparison of classical test theory and item response theory in individual change assessment. *Applied psychological measurement*, 40(8), 559-572.

Janis, I. L., & Mann, L. (1977). *Decision making: A psychological analysis of conflict, choice, and commitment*. Free press.

Jara-Rojas, R., Bravo-Ureta, B. E., & Díaz, J. (2012). Adoption of water conservation practices: A socioeconomic analysis of small-scale farmers in Central Chile. *Agricultural Systems*, 110, 54-62.

Johnson, J., Wilke, A., & Weber, E. U. (2004). Beyond a trait view of risk taking: A domain-specific scale measuring risk perceptions, expected benefits, and perceived-risk attitudes in German-speaking populations. *Polish Psychological Bulletin*, 35, 153-172.

Jöreskog, K. G. (1978). Structural analysis of covariance and correlation matrices. *Psychometrika*, 43(4), 443-477.

Jorgenson, D. W. (2011). Innovation and productivity growth: TW Schultz lecture. *American Journal of Agricultural Economics*, 93(2), 276-296.

- Just, R. E., & Pope, R. D. (2001). The agricultural producer: Theory and statistical measurement. *Handbook of agricultural economics*, 1, 629-741.
- Karahanna, E., Straub, D. W., & Chervany, N. L. (1999). Information technology adoption across time: A cross-sectional comparison of pre-adoption and post-adoption beliefs. *MIS quarterly*, 183-213.
- Krieger, M., & Franklin, E. (2010). *Comportamiento organizacional*. México, Pearson.
- Kurosh, R.-M., & Saeid, S. (2010). Agricultural specialists' intention toward precision agriculture technologies: Integrating innovation characteristics to technology acceptance model. *African Journal of Agricultural Research*, 5(11), 1191-1199.
- Lachman, J., & López, A. (2019). Innovation obstacles in an emerging high tech sector: The case of precision agriculture in Argentina. *Management Research: Journal of the Iberoamerican Academy of Management*, 17(4), 474-493.
- Lawler III, E. E., & Porter, L. W. (1967). Antecedent attitudes of effective managerial performance. *Organizational behavior and human performance*, 2(2), 122-142.
- Legris, P., Ingham, J., & Colletette, P. (2003). Why do people use information technology? A critical review of the technology acceptance model. *Information & management*, 40(3), 191-204.
- Likert, R. (1932). A technique for the measurement of attitudes. *Archives of psychology*.
- Limayem, M., Hirt, S. G., & Cheung, C. M. (2007). How habit limits the predictive power of intention: The case of information systems continuance. *MIS quarterly*, 705-737.
- Lindner, R. K., Pardey, P. G., & Jarrett, F. G. (1982). Distance to information source and the time lag to early adoption of trace element fertilisers. *Australian Journal of Agricultural Economics*, 26(2), 98-113.

- Loraas, T. M., & Diaz, M. C. (2011). Learning new technologies: The effect of ease of learning. *Journal of Information Systems*, 25(2), 171-194.
- Lu, Y., Lu, Y., Wang, B., Pan, Z., & Qin, H. (2015). Acceptance of government-sponsored agricultural information systems in China: The role of government social power. *Information Systems and e-Business Management*, 13(2), 329-354.
- Lucas, M. P., & Pabuayon, I. M. (2011). Risk perceptions, attitudes, and influential factors of rainfed lowland rice farmers in Ilocos Norte, Philippines. *Asian Journal of Agriculture and Development*, 8(1362-2016-107714), 61-77.
- Lunceford, B. (2009). Reconsidering Technology Adoption and Resistance Observations of a Semi-Luddite. *Explorations in Media Ecology*, 8(1), 29-48.
- Lunenburg, F. C. (2011). Self-efficacy in the workplace: Implications for motivation and performance. *International journal of management, business, and administration*, 14(1), 1-6.
- Lynne, G. D., Casey, C. F., Hodges, A., & Rahmani, M. (1995). Conservation technology adoption decisions and the theory of planned behavior. *Journal of economic psychology*, 16(4), 581-598.
- Markman, G. D., Balkin, D. B., & Baron, R. A. (2002). Inventors and New Venture Formation: The Effects of General Self-Efficacy and Regretful Thinking. *Entrepreneurship Theory and Practice*, 27(2), 149-165.
- Mathieson, K. (1991). Predicting user intentions: Comparing the technology acceptance model with the theory of planned behavior. *Information systems research*, 2(3), 173-191.
- McDonald, R. P. (2013). *Test theory: A unified treatment*. psychology press.
- Messick, S. (1975). The standard problem: Meaning and values in measurement and evaluation. *American psychologist*, 30(10), 955.

- Moore, G. C., & Benbasat, I. (1991). Development of an instrument to measure the perceptions of adopting an information technology innovation. *Information systems research*, 2(3), 192-222.
- Moses, T. (2017). Psychometric contributions: Focus on test scores. *Advancing Human Assessment*, 47-78.
- Mwangi, M., & Kariuki, S. (2015). Factors determining adoption of new agricultural technology by smallholder farmers in developing countries. *Journal of Economics and sustainable development*, 6(5).
- Nikkilä, R., Seilonen, I., & Koskinen, K. (2010). Software architecture for farm management information systems in precision agriculture. *Computers and electronics in agriculture*, 70(2), 328-336.
- Pajares, F. (2002). Overview of social cognitive theory and of self-efficacy.
- Pannell, D. J., Marshall, G. R., Barr, N., Curtis, A., Vanclay, F., & Wilkinson, R. (2006). Understanding and promoting adoption of conservation practices by rural landholders. *Australian journal of experimental agriculture*, 46(11), 1407-1424.
- para el Desarrollo Tecnológico, P. C. (2006). *Agricultura de precisión: Integrando conocimientos para una agricultura moderna y sustentable*. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA).
- Pathak, H. S., Brown, P., & Best, T. (2019). A systematic literature review of the factors affecting the precision agriculture adoption process. *Precision Agriculture*, 20(6), 1292-1316.

- Pedersen, P. E., & Ling, R. (2003). Modifying adoption research for mobile Internet service adoption: Cross-disciplinary interactions. 36th Annual Hawaii International Conference on System Sciences, 2003. Proceedings of the, 10-pp.
- Pedersen, S. M. (2003). Precision farming-Technology assessment of site-specific input application in cereals.
- Prabhu, V. P., McGuire, S. J., Drost, E. A., & Kwong, K. K. (2012). Proactive personality and entrepreneurial intent: Is entrepreneurial self-efficacy a mediator or moderator? *International Journal of Entrepreneurial Behavior & Research*, 18(5), 559-586.
- Prochaska, J. O. (1995). An eclectic and integrative approach: Transtheoretical therapy.
- Prochaska, J. O., & DiClemente, C. C. (1982). Transtheoretical therapy: Toward a more integrative model of change. *Psychotherapy: theory, research & practice*, 19(3), 276.
- Prochaska, J. O., & Norcross, J. C. (2001). Stages of change. *Psychotherapy: theory, research, practice, training*, 38(4), 443.
- Prochaska, J. O., Velicer, W. F., DiClemente, C. C., & Fava, J. (1988). Measuring processes of change: Applications to the cessation of smoking. *Journal of consulting and clinical psychology*, 56(4), 520.
- Ray, T., Quintas, P., & Little, S. (2002). *Managing knowledge: An essential reader*. SAGE Publications Limited.
- Robey, D. (1979). User attitudes and management information system use. *Academy of management Journal*, 22(3), 527-538.
- Rogers, E. M. (1983). *Diffusion of innovations*. New York, London: The Free Press.

Rogers, E. M. (1995a). Diffusion of Innovations: Modifications of a model for telecommunications. En *Die diffusion von innovationen in der telekommunikation* (pp. 25-38). Springer.

Rogers, E. M. (1995b). Macmillian Publishing Co. Diffusion of innovations.

Rogers, E. M., & Shoemaker, F. F. (1971). *Communication of Innovations; A Cross-Cultural Approach*.

Ryan, B., & Gross, N. C. (1943). The diffusion of hybrid seed corn in two Iowa communities. *Rural sociology*, 8(1), 15.

Saga, V. L., & Zmud, R. W. (1994). The nature and determinants of IT acceptance, routinization, and infusion. Levine L, ed. *Diffusion, Transfer and Implementation of Information Technology*. North-Holland, Amsterdam.

Schein, V. E. (1985). *Organizational realities: The politics of change*. Training & Development Journal.

Schultz, R. L., & Slevin, D. P. (1973). Implementation and organizational validity: An empirical investigation. Institute for Research in the Behavioral, Economic, and Management Sciences.

Shapiro, B. I., Brorsen, B. W., & Doster, D. H. (1992). Adoption of double-cropping soybeans and wheat. *Journal of Agricultural and Applied Economics*, 24(2), 33-40.

Sharifzadeh, M. S., Damalas, C. A., Abdollahzadeh, G., & Ahmadi-Gorgi, H. (2017). Predicting adoption of biological control among Iranian rice farmers: An application of the extended technology acceptance model (TAM2). *Crop Protection*, 96, 88-96.

Sharifzadeh, M., Zamani, G. H., Khalili, D., & Karami, E. (2012). Agricultural climate information use: An application of the planned behaviour theory.

Sheng, Y., Ding, J., & Huang, J. (2019). The relationship between farm size and productivity in agriculture: Evidence from maize production in Northern China. *American Journal of Agricultural Economics*, 101(3), 790-806.

Sheppard, B. H., Hartwick, J., & Warshaw, P. R. (1988). The theory of reasoned action: A meta-analysis of past research with recommendations for modifications and future research. *Journal of consumer research*, 15(3), 325-343.

Sørensen, C. G., Fountas, S., Nash, E., Pesonen, L., Bochtis, D., Pedersen, S. M., Basso, B., & Blackmore, S. B. (2010). Conceptual model of a future farm management information system. *Computers and electronics in agriculture*, 72(1), 37-47.

Sunding, D., & Zilberman, D. (2001). The agricultural innovation process: Research and technology adoption in a changing agricultural sector. *Handbook of agricultural economics*, 1, 207-261.

Tamjidyamcholo, A., Baba, M. S. B., Tamjid, H., & Gholipour, R. (2013). Information security—Professional perceptions of knowledge-sharing intention under self-efficacy, trust, reciprocity, and shared-language. *Computers & Education*, 68, 223-232.

Taylor, S., & Todd, P. (1995). Assessing IT usage: The role of prior experience. *MIS quarterly*, 561-570.

Thompson, R. L., Higgins, C. A., & Howell, J. M. (1991). Personal computing: Toward a conceptual model of utilization. *MIS quarterly*, 125-143.

Tornatzky, L. G., & Klein, K. J. (1982). Innovation characteristics and innovation adoption-implementation: A meta-analysis of findings. *IEEE Transactions on engineering management*, 1, 28-45.

- Triandis, H. C. (1979). Values, attitudes, and interpersonal behavior. Nebraska symposium on motivation.
- Tsur, Y., Sternberg, M., & Hochman, E. (1990). Dynamic modelling of innovation process adoption with risk aversion and learning. *Oxford Economic Papers*, 42(2), 336-355.
- Tutz, G. (2011). *Regression for categorical data* (Vol. 34). Cambridge University Press.
- Uaiene, R. N., & Arndt, C. (2009). Farm household efficiency in Mozambique.
- Vallerand, R. J. (1997). Toward a hierarchical model of intrinsic and extrinsic motivation. In *Advances in experimental social psychology* (Vol. 29, pp. 271-360). Elsevier.
- Velicer, W. F., DiClemente, C. C., Prochaska, J. O., & Brandenburg, N. (1985). Decisional balance measure for assessing and predicting smoking status. *Journal of personality and social psychology*, 48(5), 1279.
- Venkatesh, V., & Bala, H. (2008). Technology acceptance model 3 and a research agenda on interventions. *Decision sciences*, 39(2), 273-315.
- Venkatesh, V., & Davis, F. D. (2000). A theoretical extension of the technology acceptance model: Four longitudinal field studies. *Management science*, 46(2), 186-204.
- Venkatesh, V., Morris, M. G., Davis, G. B., & Davis, F. D. (2003). User acceptance of information technology: Toward a unified view. *MIS quarterly*, 425-478.
- Venkatesh, V., & Speier, C. (1999). Computer technology training in the workplace: A longitudinal investigation of the effect of mood. *Organizational behavior and human decision processes*, 79(1), 1-28.
- Venkatesh, V., Thong, J. Y., & Xu, X. (2012). Consumer acceptance and use of information technology: Extending the unified theory of acceptance and use of technology. *MIS quarterly*, 157-178.

Viladrich, C., Angulo-Brunet, A., & Doval, E. (2017). A journey around alpha and omega to estimate internal consistency reliability. *Annals of psychology*, 33(3), 755-782.

Whelan, B., & Taylor, J. (2013). *Precision agriculture for grain production systems*. Csiro publishing.

Wilson, L., Rhodes, A. P., & Dodunski, G. (2015). Parasite management extension—challenging traditional practice through adoption of a systems approach. *New Zealand Veterinary Journal*, 63(6), 292-300.

Wuepper, D., & Sauer, J. (2016). Explaining the performance of contract farming in Ghana: The role of self-efficacy and social capital. *Food Policy*, 62, 11-27.

Zhang, J., Zhang, X., Mu, W., Zhang, J., & Fu, Z. (2008). FARMERS' INFORMATION USAGE INTENTION IN CHINA BASED ON THE TECHNOLOGY ACCEPTANCE MODEL. *International Conference on Computer and Computing Technologies in Agriculture*, 1845-1853.

Zhang, N., Wang, M., & Wang, N. (2002). Precision agriculture—A worldwide overview. *Computers and electronics in agriculture*, 36(2-3), 113-132.

Anexos

Modelo de innovación- Instrumento: Encuesta sobre uso de nuevas tecnologías

Estimado Miembro CREA, dentro del marco de un proyecto de investigación que estamos realizando junto con la Facultad de Ciencias Económicas (Universidad de Buenos Aires), le agradeceremos dedicar unos minutos para responder el siguiente cuestionario

Pre-Contemplación: La siguiente es una lista de tecnologías que pueden aplicarse al agro. Por favor indique si ha leído, se ha interiorizado o ha escuchado una explicación sobre estas tecnologías. Puede marcar varias si conoce más de una. (Respuesta múltiple)

Sistemas de monitoreo de condiciones de trabajo de pulverizadoras (Sistemas de Telemetría Geoagis o Acronex)	1
Sistemas de monitoreo de condiciones de almacenamiento de silos a partir de sensores	2
Sistemas de Monitoreo y Registro de Malezas, Plagas y Enfermedades mediante aplicación en celular/tablet	3
Monitoreo de Cultivos mediante imágenes satelitales/drones.	4
Definición de ambientes (cartas de suelo, mapas de tosca, electroconductividad, napa, etc.).	5
Aplicaciones variables de insumos (semilla, herbicida y fertilizantes).	6
Ninguna	7

Autoeficacia: ¿Cuál es su opinión sobre las nuevas tecnologías en general? (Respuesta única)

	Totalmente en Desacuerdo 0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Totalmente de acuerdo 10
Nunca entenderé como se utilizan											
Sólo unos pocos expertos realmente entienden cómo funcionan											
Tengo la capacidad para poder incorporar la tecnología											

Riesgo: Para conocer mejor su actitud ante situaciones imprevistas, nos gustaría saber qué tan probable es que usted realice las siguientes acciones, si se presentara la ocasión

	Jamás lo haría	Creo que no lo haría	Poco Probable	Medianamente probable	Bastante probable	Muy probable
No usar cinturón de seguridad viajando en el asiento delantero o manejar una moto sin casco	0	1	2	3	4	5
Acampar en un lugar desierto, lejos de la civilización	0	1	2	3	4	5
Tomar una clase de paracaidismo	0	1	2	3	4	5
Dejar un trabajo estable para dedicarme a un emprendimiento que me gusta	0	1	2	3	4	5
Mudarme lejos de mi familia y amigos	0	1	2	3	4	5
Invertir el 10% de mi ingreso anual en la bolsa de valores (puedes ganar o perder más del 30% de la inversión)	0	1	2	3	4	5
Invertir el 10% de mi ingreso anual en un nuevo negocio	0	1	2	3	4	5

Conocimiento: Elija una de las tecnologías que conoce

Sistemas de monitoreo de condiciones de trabajo de pulverizadoras (Sistemas de Telemetria Geoagis o Acronex)	1
Sistemas de monitoreo de condiciones de almacenamiento de silos a partir de sensores	2
Sistemas de Monitoreo y Registro de Malezas, Plagas y Enfermedades mediante aplicación en celular/tablet	3
Monitoreo de Cultivos mediante imágenes satelitales/drones.	4
Definición de ambientes (cartas de suelo, mapas de tosca, electroconductividad, napa, etc.).	5
Aplicaciones variables de insumos (semilla, herbicida y fertilizantes).	6
Ninguna	7

Desde ahora en adelante le preguntaremos sobre la tecnología que eligió

Facilidad de uso y aprendizaje: Con respecto a la tecnología elegida ¿cuál es su opinión sobre la facilidad o dificultad de aprender, usar, y corregir eventuales errores?

	Muy Dificil	Bastante Dificil	No muy dificil	Relativamente fácil	Muy fácil
Aprender a usarla	1	2	3	4	5
Usarla	1	2	3	4	5
Corregir los errores que puedan surgir	1	2	3	4	5

Acción01: ¿Utiliza la tecnología en su campo actualmente?

No	0
Si	1

Si Acción01=0

Rechazo01: ¿La utilizaste en el pasado?

No	0
Si, pero ya no la uso	1

Si (Acción01=0 y Rechazo01=0)

Contemplación01: ¿Ha pensado en comenzar a utilizarla?

Si, voy a utilizarla	5
Si, he pensado que quizá podría utilizarla	4
No lo sé	3
No todavía	2
No me interesa	1

Si (Acción01=0 y Rechazo01=0 y Contemplación01=5 o 4)

Contemplación02: ¿Cuándo tiene pensado comenzar a utilizarla?

En los próximos meses	1
En los próximos dos años	2
A mediano plazo (más de 2 años)	3
No sé	4

Si (Acción01=0 y Rechazo01=0 y Contemplación01=5 o 4)

Preparación01: ¿Ha contactado a otros productores o profesionales para que le ayuden a comenzar a utilizarla?

Si	1
No	2

Si (Acción01=0 y Rechazo01=0 y Contemplación01=5 o 4)

Preparación02: ¿Está adaptando su infraestructura o procesos para incorporarla?

Si	1
No	2

Si (Acción01=0 y Rechazo01=0 y Contemplación01=5 o 4)

Acción02: ¿Ha realizado inversiones o gastos para ponerla en funcionamiento?

No	1
Sólo una pequeña parte	2
Estoy invirtiendo en eso	3
He completado las inversiones	4
No requiere inversiones ni gastos	99

Para las tecnologías que usa (Acción01=1)

Mantenimiento: Por favor indique el grado de acuerdo o desacuerdo con las siguientes frases:

