

## Diseño metodológico para la evaluación de impactos de la agricultura protegida en México

Methodological design for the evaluation of impacts of protected agriculture in Mexico

Juan Manuel Vargas-Canales<sup>1</sup>, Rebeca de Gortari-Rabiela<sup>2</sup>, Salvador Estrada<sup>3</sup>, Belen Hernández-Hernández<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Estudios Sociales, División de Ciencias Sociales y Administrativas Campus Celaya- Salvatierra. Universidad de Guanajuato. [jmvargas@ugto.mx](mailto:jmvargas@ugto.mx)<sup>1</sup>

<sup>2</sup>Instituto de Investigaciones Sociales, Universidad Nacional Autónoma de México. [rebeca.degortari@gmail.com](mailto:rebeca.degortari@gmail.com)<sup>2</sup>

<sup>3</sup>Departamento de Finanzas y Administración, División de Ciencias Sociales y Administrativas Campus Celaya- Salvatierra. Universidad de Guanajuato.

[sestrada@ugto.mx](mailto:sestrada@ugto.mx)<sup>3</sup>

<sup>4</sup>Instituto Nacional para el Desarrollo de Capacidades del Sector Rural.

[belen.hernandez@inca.gob.mx](mailto:belen.hernandez@inca.gob.mx)<sup>4</sup>

### Resumen

El objetivo de esta investigación fue proponer una metodología para evaluar los impactos económicos, sociales, ambientales y de salud de la agricultura protegida con la finalidad de identificar la capacidad que tienen para producir alimentos sanos, nutritivos e inoctrinos y generar desarrollo regional. El primer paso para definir el método es definir con claridad la comparación. En ese sentido, se definió comparar contra los sistemas agrícolas tradicionales. Para la evaluación de impactos de políticas públicas los métodos más factibles para la construcción del contra-factual y comparar grupos que comúnmente son un testigo y uno de control, la mejor opción son los métodos de *benchmark* de evaluación de impacto. Derivado de lo anterior se determinó que el método de comparaciones apareadas (*Matching methods*) es el más adecuado. Este método es de utilidad cuando no se cuenta con un grupo de control, en éste se aparean participantes y no participantes de un programa o de alguna tecnología con las mismas características observables. Es conveniente mencionar que cada paso de este método se debe aplicar de forma muy estricta. Esta propuesta podría ser una guía de análisis de impactos si se utiliza de forma correcta. Sin embargo, lo más adecuado es diseñar uno de acuerdo con las condiciones específicas del sujeto y objeto de estudio, así como de los objetivos de la investigación y/o de la evaluación. Además, es importante definir con claridad como se interpretan los indicadores y la forma como se debe medir las variables.

**Palabras clave:** alimentos nutritivos e inoctrinos; *matching methods*; impactos ambientales; impactos a la salud; sistemas agrícolas tradicionales.

### Introducción

La agricultura protegida o en ambientes controlados es un sistema de producción agrícola desarrollado con el objetivo de proporcionar a las plantas las condiciones óptimas para su crecimiento y desarrollo. De igual forma, es posible manejar de forma muy precisa las condiciones ambientales (temperatura, humedad relativa, nutrición, agua, luz, etcétera) y algunos otros riesgos (plagas y enfermedades) para el desarrollo óptimo de los cultivos y con ello expresen su máximo potencial productivo (Vargas-Canales, Palacios-Rangel, Aguilar-Ávila, Ocampo-Ledesma, Kreimer, et al., 2018; Vargas-Canales, Palacios-Rangel, Aguilar-Ávila, Ocampo-Ledesma, Medina-Cuellar, et al., 2018). El nivel de protección y/o control de los cultivos dependerá del grado de tecnificación (alta tecnología, media y baja) (Costa & Giacomelli, 2005; Negra et al., 2019). Sin embargo, en comparación con la producción en campo abierto, la agricultura protegida tiene muchas ventajas, incluido un mayor rendimiento, una mejor calidad del producto y un mejor acceso al mercado de exportación (Wu et al., 2022).

La agricultura protegida se ha extendido por todo el mundo ya que ha demostrado ser extremadamente eficaz (Blanco et al., 2022). Se trata de sistemas de producción agrícolas intensivos, diseñados para lograr una alta eficiencia y productividad. Esta permite la producción agrícola durante todo el año manteniendo el medio ambiente en niveles óptimos o cercanos a ellos, independientemente de las condiciones climáticas externas. Esta tecnología ha evolucionado mucho, sin embargo, siempre fue pensada para adaptarse a las condiciones climáticas locales y maximizar el retorno de la inversión, lo que permitió un crecimiento generalizado de la industria en todo el mundo (Nemali, 2022). A nivel mundial se está convirtiendo es uno de los pilares de la economía del sector primario. Lo anterior resultado del fuerte aumento en la demanda de frutas y hortalizas en los mercados internacionales (Wu et al., 2022). Situación que de acuerdo con las proyecciones del futuro continuará aumentando.

En la actualidad no se cuenta con datos exactos de la superficie de agricultura protegida a nivel mundial. Sin embargo, existen algunos datos importantes, la superficie mundial de agricultura protegida en 1980, era de 150,000 hectáreas. Para en 1995, se estimó en 500,000 hectáreas y en el 2018 fue de aproximadamente 5,630,000 hectáreas (Cuesta Roble, 2019). Los datos anteriores permiten inferir que la agricultura protegida tiene un crecimiento en cuanto a superficie de producción impresionante. Además, se esperaría que se dinamice un poco más debido a problemáticas relacionada con el cambio climático, escasez de recursos y una mayor demanda de alimentos.

México no es la excepción, los primeros invernaderos fueron construidos en el Estado de México alrededor del año 1940 por emigrantes alemanes y japoneses (Enoch & Enoch, 1999). Posteriormente, en 1959 se construyeron invernaderos para el desarrollo de las investigaciones agrícolas en el Colegio de Postgraduados de la Escuela Nacional de Agricultura. Posteriormente, se promovieron en algunas regiones de país sin mucho éxito y es hasta los años 80 cuando se inicia como una línea de investigación en la Universidad Autónoma Chapingo principalmente relacionado con el diseño estructural y métodos de cultivo. Sin embargo, fue hasta mediados de los 90 cuando este tipo de tecnologías tiene una difusión más amplia en el país (Vargas-Canales, Palacios-Rangel, Aguilar-Ávila, Ocampo-Ledesma, Kreimer, et al., 2018). En la actualidad esta tecnología está contribuyendo cada vez más en la producción de alimentos para consumo nacional e internacional.

La agricultura protegida mexicana es una industria presente en todo el país (Mexican Association of Protected Horticulture (AMH-PAC), 2017). México está experimentando un crecimiento espectacular y una fuerte expansión geográfica de esta tecnología (Negra et al., 2019). Sin embargo, casi toda la infraestructura de agricultura protegida se utiliza para producir cultivos hortícolas. Los principales cultivos que se producen bajo estructuras protegidas son el jitomate, pimiento, fresa, frambuesa, pepino, manzana, el arándano y berenjenas (Wu et al., 2022). Para el 2022 se estimó una superficie de agricultura protegida de 23,483 hectáreas (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), 2022). Sin embargo, para el 2023 se reportan 30,179 unidades de producción que practican agricultura protegida, y en conjunto, abarcan una superficie de 77,417 hectáreas (Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), 2023).

Es pertinente mencionar que casi toda la agricultura protegida se establece en áreas de uso agrícola y solo se da un cambio en el tipo de actividades agrícolas (Perilla & Mas, 2019). Es conveniente mencionar que se esperaba que su mayor crecimiento se diera en condiciones donde la agricultura tradicional no era posible implementarla de forma exitosa. Por ejemplo, regiones con problemas de fertilidad de suelos y temperaturas, radiaciones, lluvias, vientos y problemas de plagas y enfermedades extremos. Sin embargo, su adopción se relaciona más con la disponibilidad de agua, climas no extremos, tierras fértiles, mayor disponibilidad de infraestructura y con una mejor configuración de mercados nacionales e internacionales.

En ese sentido, el crecimiento futuro de la agricultura protegida en México estará influenciado por la demanda en el mercado estadounidense destino de aproximadamente el 80% de la producción de la agricultura protegida, así como por el contexto de la política comercial (Negra et al., 2019). En México se pueden observar dos vertientes de modelos de negocios de agricultura protegida claramente definidas: el sistema empresarial y de alta tecnología del norte del país, vinculado directamente al mercado internacional; el del centro y sur del país asociado a los mercados locales y regionales y de tecnología intermedia. Aunque también existe grandes empresas ubicadas en otros estados (Querétaro, Guanajuato, San Luis Potosí y Quintana Roo) que logran exportar al extranjero (Vargas Canales, 2016).

Sin duda, la agricultura protegida continuará posicionándose como una de las tecnologías más prometedoras para lograr la producción de alimentos de forma eficaz y sostenible. Lo anterior debido a su mayor capacidad de producción de alimentos, la calidad e inocuidad de sus productos, su alta eficiencia en el uso de recursos e insumos y por la creciente necesidad de los sistemas de producción para adaptarse al cambio climático, lo que está generando condiciones cada vez más erráticas y adversas para que los sistemas agroalimentarios cumplan sus funciones de forma óptima y correcta. Derivado de lo anterior a nivel mundial se piensa que la agricultura protegida es la tecnología que en el futuro se consolidará como esencial para la producción de alimentos sanos, inocuos, seguros y de forma sostenible, claro que para ello se debe continuar desarrollando mucha investigación.

Además, es importante mencionar que la agricultura protegida tiene un gran potencial para producir alimento con menor uso de agroquímicos. Lo cual es relevante dado que en la actualidad se producen alimentos mediante el uso masivo de agroquímicos y otras moléculas que tienen importantes implicaciones en la salud de la población (Vargas-Canales et al., 2024). Los costos ocultos relacionados con la producción de alimentos son muy altos. La cuantificación mundiales costos ocultos de los sistemas agroalimentarios ascendían en 2020 a aproximadamente 12.7 billones de dólares de producto interno bruto en términos de paridad de poder adquisitivo (PIB mundial PPA) de los cuales el 73 % se asocia a la salud, el 20 % a costos ambientales y el 4 % a costos sociales (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), 2023).

Los datos anteriores sugieren que los sistemas tecnológicos de producción de alimentos tienen implicaciones muy fuertes en todos los aspectos de la vida y que no se han valorado o evaluado de forma correcta. Derivado de lo anterior la pregunta que guio esta investigación fue ¿Cuáles son los impactos económicos, sociales, ambientales y de salud de la agricultura protegida en México? Lo más lógico es pensar que existen diferencias significativas en cuanto a los impactos económicos, sociales, ambientales y de salud de los sistemas agrícolas tradicionales y la agricultura protegida en México. En ese sentido el objetivo de la investigación fue desarrollar una metodología para evaluar los impactos económicos, sociales, ambientales y de salud de la agricultura protegida con la finalidad de identificar la capacidad que tienen para producir alimentos sanos, nutritivos e inocuos y generar desarrollo regional.

## Antecedentes

En el caso particular de México, la agricultura protegida se concentra principalmente en áreas o zonas que necesitan ser monitoreadas para gestionar adecuadamente los efectos de este sistema de producción (Perilla & Mas, 2019). Es decir, se requiere de un análisis profundo de la distribución de la agricultura protegida y su potencial impacto ambiental. Lo anterior para determinar zonas de mayor riesgo y posteriormente realizar evaluaciones minuciosas de sus impactos. Como parte de los efectos negativos se ha encontrado la dificultad de controlar plagas debido a que en estos ambientes no se interrumpe su ciclo biológico y se vuelven resistentes al control químico en menos tiempo (Liu et al., 2023). Se ha encontrado también que la contaminación por nitrógeno de las aguas subterráneas es significativa (Qasim et al., 2021). Por otra parte, si bien la agricultura protegida presenta una carga ambiental más baja y un índice de sostenibilidad energético más alto, al mismo tiempo requiere más insumos energéticos (Yuan et al., 2023).

En algunas regiones con condiciones climáticas extremas y escasez de recursos la agricultura protegida es la principal alternativa para la intensificación de la producción agrícola (Rocha et al., 2021). Lo anterior debido a que se concibe como un medio tecnológico viable para mejorar la producción de alimentos inocuos y reducir la pobreza en el sector rural (Vargas-Canales et al., 2023). Debido a la importancia y trascendencia que estos sistemas de producción representan para el sector agroalimentario, se han realizado numerosas investigaciones en todo el mundo. Sin embargo, la mayoría de las publicaciones sobre agricultura protegida se centran en aspectos de productividad y en parámetros técnicos agrícolas (Pratt & Ortega, 2019). Se enfocan principalmente en métodos de producción, en la introducción de nuevos cultivos, nutrición y fertilización, uso eficiente del agua, comparaciones de variedades, diseños de estructuras, tipos de materiales y automatización de procesos.

Con respecto a los análisis socioeconómicos la mayor parte de las investigaciones se han realizado en el centro del país y se han orientado a identificar los factores que determinan la innovación (Vargas Canales et al., 2015; Vargas-Canales, Palacios-Rangel, Aguilar-Ávila, Ocampo-Ledesma, Medina-Cuellar, et al., 2018), caracterizaciones sobre el nivel de equipamiento tecnológico de las unidades productivas (García-Sánchez et al., 2011; Mundo Coxca et al., 2020), la rentabilidad e indicadores técnico económicos de estos sistemas productivos (Orona-Castillo et al., 2022; Terrones Cordero & Sánchez Torres, 2011) y se han analizado los modelos de transferencia tecnológica que se han dado en el noroeste del país (Borbón Morales & Arvizu Armenta, 2015).

Además, se ha identificado la configuración y el impacto de los sistemas regionales de innovación en el éxito y la permanencia de la agricultura protegida (García-Sánchez et al., 2018; Vargas-Canales et al., 2023), las trayectorias, genealogías y redes que se desarrollan en torno a la agricultura protegida (Vargas-Canales, Palacios-Rangel, Aguilar-Ávila, Ocampo-Ledesma, Kreimer, et al., 2018) y análisis sobre competitividad (Padilla-Bernal et al., 2008; Rodríguez Lemus et al., 2020). Se ha estudiado la dinámica de adopción de innovaciones (Mundo-Coxca et al., 2021). Se ha investigado sobre la posibilidad de la agricultura protegida como un modelo de negocio inclusivo (Borbón-Morales, 2022). También, se han explorado las ventajas y el potencial de la agricultura protegida frente al cambio climático (Abdalla et al., 2022).

De forma más reciente están surgiendo estudios muy interesantes relacionados con la sustentabilidad y gestión ambiental (Cayambe et al., 2023; Padilla-Bernal et al., 2015; Padilla-Bernal et al., 2020), sobre la evaluación del impacto ambiental y económico (Torrellas et al., 2012, 2013), análisis de ciclo de vida e impactos ambientales (Ahmadbeyki et al., 2023; D'Amico et al., 2023) y algunos aspectos relacionados con la gobernabilidad y el poder que genera la agricultura protegida en la población rural (Moulton & Popke, 2017). En definitiva, lo que podría pensarse como más reciente es el estudio de la relación existente entre la información generada a través de la investigación sobre la agricultura protegida, los sesgos que se dan en la información que recibe el consumidor y los efectos nocivos que perciben la sociedad relacionados con la salud (Pérez-Mesa et al., 2023).

Es cierto que se ha estado desarrollando una amplia variedad de investigación sobre estos sistemas de producción. Sin embargo, la mayoría se está enfocando a cuestiones técnicas y económicas relacionadas con los métodos de producción. En fechas más recientes es posible percibir el surgimiento del estudio de temas sobre la sustentabilidad y el impacto ambiental en menor medida. La literatura científica sobre los impactos ambientales de la agricultura protegida continúa siendo escasa y de los efectos y relaciones con la salud de la población es prácticamente inexistente. Además, los estudios que se realizan de las diversas temáticas relacionadas con la agricultura protegida aparecen aislados y hay pocas comparaciones con otros sistemas de producción, es decir, carecen de un enfoque de análisis integral en donde se trate de comprender de forma sistémica los impactos y los efectos en los territorios de los sistemas de producción agrícola tradicionales y la agricultura protegida.

## Perspectivas teóricas para el análisis

Las perspectivas teóricas desde las que se plantea abordar los impactos de los sistemas agrícolas tradicionales y de la agricultura protegida son la económica, social, ambiental y de salud (Alomoto et al., 2022; Brennan et al., 2023; Fusco et al., 2023; Post et al., 2020; Sellare et al., 2020; Widana, 2019). Desde la dimensión económica se debe evaluar la eficiencia en el uso de los recursos, rendimientos, ingresos, rentabilidad y competitividad. La perspectiva social se enfoca a determinar la calidad de vida, bienestar, así como la cohesión social de la población que ha adoptado estos sistemas tecnológicos. Desde la perspectiva ambiental se debe considerar evaluar la generación de desechos y contaminación como son las descargas de aguas residuales, producción de desechos, residuos plásticos, degradación del suelo, salinización, el uso de agua y la diversidad genética, así como el cumplimiento de las regulaciones ambientales.

De forma más reciente se ha estado incorporando a las investigaciones la dimensión de la salud. Lo anterior originado por un cambio en el paradigma en el desarrollo de la investigación científica que se está dando a nivel global derivado principalmente de la reciente pandemia ocasionada por el SARS-CoV-2. En ese sentido, es conveniente mencionar que los sistemas agroalimentarios están estrechamente vinculados con la salud y con las enfermedades modernas crónico degenerativas. En consecuencia, desde la perspectiva de la salud se plantea evaluar las acciones que los agronegocios implementan para garantizar la inocuidad física, química y biológica de los alimentos como por ejemplo el uso de agroquímicos, acreditaciones, certificaciones, entre otros. La evaluación de impactos se debe llevar a cabo a través de un análisis

comparativo de los sistemas agrícolas tradicionales y de los diferentes esquemas de agricultura protegida (invernaderos, túneles, casas sombra).

## Definición de las unidades de análisis

La definición de las unidades de análisis es uno de los puntos más críticos cuando se trata de evaluación de políticas públicas y se analizan los impactos en el sector agroalimentario. Esto debido a que en el sector agroalimentario las unidades de análisis presentan trayectorias y características muy heterogéneas y pueden tener efectos significativos en el muestreo y en los análisis estadísticos. Adicionalmente, la agricultura protegida ha presentado una difusión y adopción muy diferente en todo el país. En México es posible identificar algunas regiones en donde la agricultura protegida está teniendo un crecimiento mayor en cuanto a superficie de producción y otras en las cuales las unidades de producción se encuentran abandonadas.

En este caso la investigación se debe realizar en las regiones en donde aún se practique estos dos sistemas de producción y los adoptantes mantienes características similares. Además, que se trate de regiones que ha mantenido un crecimiento constante en cuanto a superficie bajo agricultura protegida. Para ello se deben ubicar a los principales cultivos producidos bajo agricultura protegida en cómo puede ser jitomate, pepino, chile, pimiento morrón y chile poblano. Además, cultivos como la fresa y las berries también se han incorporado al sistema de producción de agricultura protegida de forma más reciente.

## Elección del método de análisis

Para la evaluación de impactos por lo general los métodos más factibles para la construcción del contra-factual se pueden dividir en dos grupos: experimental y cuasi experimental. Siempre con la idea de comparar dos grupos que comúnmente son un testigo y uno de control, es decir, se trata de métodos de *benchmark* de evaluación de impacto (Consejo Nacional de la Evaluación de la Política de Desarrollo Social (CONEVAL), 2008). El objetivo de los métodos de *benchmark* es estimar este efecto causal comparando la situación de los beneficiarios o adoptadores del programa o tecnología con la de personas que no se han beneficiado o no han adoptado estos sistemas tecnológicos, pero cuyas características son tan similares que les hubiera sido posible beneficiarse del mismo (Givord, 2023). Un supuesto básico de este método es que no existe sesgo de selección por factores no observables (Blundell & Costa Dias, 2009).

En este caso por la naturaleza del diseño de la investigación lo más conveniente es utilizar el de tipo cuasi experimental. Este método construye de manera indirecta el contra-factual cuando este no se ha construido de manera experimental, como es el caso. Los métodos de *benchmark* se encuentran entre los principales métodos cuantitativos para la evaluación ex post, cuyo objetivo es medir el efecto de una herramienta y programa de política pública sobre la situación de los beneficiarios (Givord, 2023) y en este caso se utilizarán para evaluar la adopción de tecnología en los sistemas agroalimentarios. Se trata específicamente del método de comparaciones apareadas (*Matching methods*). Este método es de utilidad cuando no se cuenta con un grupo de control. En éste se aparea participantes y no participantes de un programa con las mismas características observables (Blundell & Costa Dias, 2009).

Es conveniente mencionar que en estos métodos el contra-factual es un punto crucial para la evaluación de impactos. Esto debido a que definir al grupo hipotético con el cual se comparara con la realidad actual para determinar los efectos de un programa o de una tecnología es muy difícil. Sin embargo, la selección correcta permitirá definir con claridad los efectos de no ver realizado ninguna intervención. En el sector agroalimentario definir correctamente el contra-factual es difícil porque no se tiene los datos correctos de la población, la generación de sesgos en la selección puede afectarse por cambios fuertes en los contextos durante el periodo de análisis y en el largo plazo siempre se generan muchos efectos externos que modifican las situaciones. Derivado de lo anterior, es importante poner énfasis especial en su definición y selección.

Para implementar el método de comparación apareadas (*Matching methods*) es conveniente seguir los cuatro pasos sugeridos por Stuart (2010):

1. Definir la distancia, cercanía o similitud entre individuos. Se trata de la medida de distancia utilizada para determinar si un individuo es compatible con otro.
2. Implementar un método de comparación, dada esa medida de cercanía o similitud.

3. Evaluar la calidad de las muestras coincidentes resultantes y tal vez iterar con los pasos 1 y 2 hasta que se obtengan muestras bien coincidentes. Este es uno de los pasos más importantes en el uso de métodos de comparación.
4. Análisis del resultado y estimación del efecto del tratamiento, dado el emparejamiento realizado en el paso 3.

### Colecta de la información

La colecta información se puede realizar mediante distintas formas. Las más comunes son las encuestas, entrevistas, los grupos focales, entre otros. La elección de un mecanismo u otro dependerá del objeto, del sujeto de estudio y del objetivo de la investigación. Para este caso lo propuesta es aplicar una encuesta semiestructurada a empresas dedicadas a la agricultura protegida, funcionarios públicos, actores clave, trabajadores y habitantes de las regiones de estudio. Es conveniente mencionar que será una entrevista cara a cara entre el entrevistador y el entrevistado. La cual consiste en una conversación en la que se responde a preguntas específicas (cerradas y abiertas) previamente definidas de acuerdo con los objetivos de la investigación. Esto, permite improvisar y profundizar en algunos aspectos que el investigador considera importantes (Añorve Guillén, 1991).

La encuesta semi estructurada como mínimo debe estructurarse en tres secciones: la primera sección estará dirigida a obtener información relacionada con las características generales de los entrevistados como edad, escolaridad, ocupación, años de experiencia en la actividad; la segunda sección se relacionará con los datos de las unidades productivas (solo para empresas dedicadas a la agricultura protegida) como área de producción, rendimientos obtenidos, precios de venta e ingresos. Estos dos apartados son cruciales porque permitirán definir con claridad la distancia, cercanía o similitud entre individuos y con ello definir con mayor precisión la comparación entre grupos.

El tercer apartado se debe enfocar a identificar los impactos económicos, sociales, ambientales y de salud de los sistemas agrícolas tradicionales y de la agricultura protegida. Es conveniente mencionar que se tiene que profundizar en el diseño de indicadores para evaluar impactos con base en la literatura científica existente. De forma general se presenta un esquema de la conceptualización de algunos indicadores en la Figura 1.

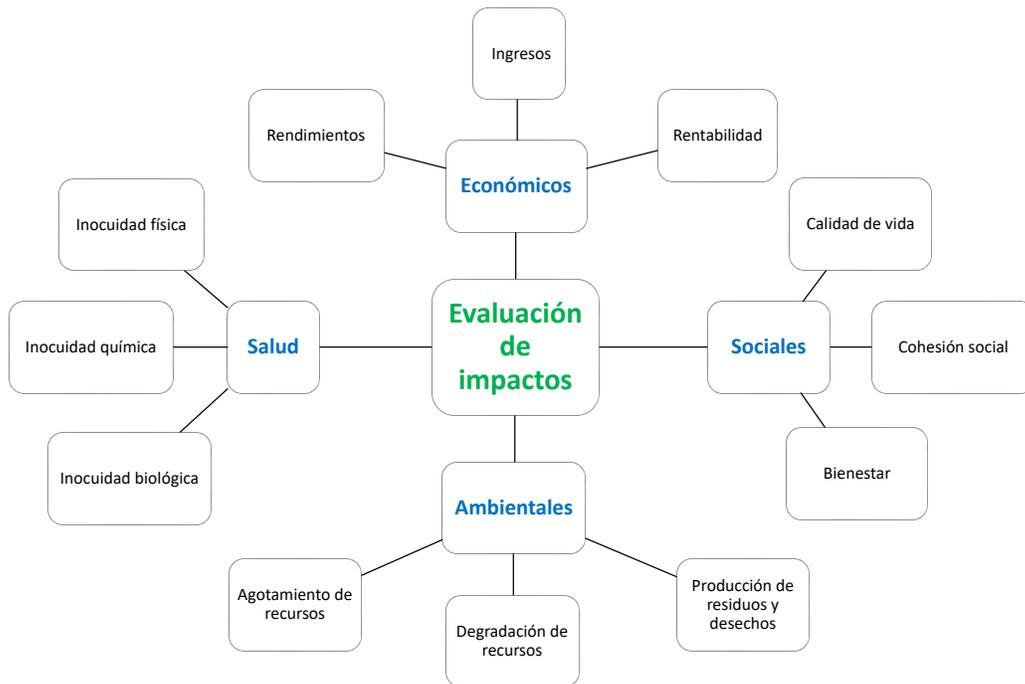


Figura 1. Propuesta inicial de indicadores para la evaluación integral de impactos de la tecnología en sistemas agroalimentarios.

## Muestreo, análisis y procesamiento de la información

Existen varios tipos de muestreo que se utilizan para realizar investigaciones en el sector agroalimentarios. Por ejemplo, muestreo aleatorio simple, muestreos estratificados, muestreos por conglomerados, entre otros. Claro que la elección del método dependerá de distintos factores como el tipo de investigación, el objetivo de investigación, el tamaño y diversidad de la población, etcétera. En este caso la propuesta para la selección de las unidades de información es a partir de un muestreo no probabilístico según el criterio del experto; en función de determinadas características (Muñoz et al., 2004; Pimienta, 2000). Es conveniente mencionar que este es considerado menos riguroso, aunque, si se tiene un buen conocimiento del sujeto de estudio se pueden obtener resultados muy precisos.

Los investigadores utilizan ampliamente esta técnica para seleccionar unidades o proporciones representativas o típicas cuando falta información sobre el universo de la muestra. En este caso, se buscarán muestrear unidades representativas con alguna variante de agricultura protegida y se buscarán individuos con gran similitud que continúen practicando sistemas agrícolas tradicionales. Para tener mayor exactitud en el estudio se definirá como criterio de selección una permanencia en la actividad de al menos 5 años. Además, se intentará analizar el mayor número posible de emprendimientos y/o hasta lograr el punto de saturación de información.

Para el análisis de la información como primer paso es necesario generar una base de datos sobre los resultados obtenidos de las encuestas semi estructuradas. Posteriormente, realizar una depuración, selección y ajuste de los datos y las variables cuantitativas de interés para realizar los análisis estadísticos correspondientes. Por otra parte, la mayoría de los análisis estadísticos tienen supuestos concretos derivados de las características de los datos con los que contamos y en función de ellos se debe tomar la decisión sobre qué tipo de análisis son más convenientes realizar. En ese sentido, se deben realizar los análisis a las variables con la finalidad de verificar si cumplen con los supuestos para realizar análisis estadísticos paramétricos. Se recomienda analizar la normalidad, la homocedasticidad y la independencia de los errores (Orozco Cirilo & Vargas Canales, 2021).

En caso de que no cumplan con los supuestos es necesario utilizar la estadística no paramétrica (Orozco Cirilo, 2022). El siguiente paso es realizar el análisis de los estadísticos descriptivos de las variables analizadas con la finalidad de obtener un panorama general del comportamiento de los datos. Posteriormente, se debe realizar un análisis de varianza (ANOVA) y pruebas de Scheffe de comparación de medias entre grupos. Este procedimiento se aplica a modelos no equilibrados como seguramente será el caso. Para realizar los análisis estadísticos se puede utilizar cualquier paquete estadístico que permita realizar este tipo de análisis.

## Consideraciones finales

La propuesta para analizar impactos de los sistemas tradicionales y la agricultura protegida tiene un enfoque integral con la idea de identificar con claridad los efectos de los sistemas tecnológicos en las cuestiones económicas, sociales, ambientales y de salud. Es conveniente aclarar que se trata de una propuesta desarrollada en función de la experiencia y el conocimiento de las características de estos sistemas de producción en algunos estados y se trata de pautas generales que deben ser ajustadas de acuerdo con los contextos, fines y objetivos particulares de cada investigación.

Uno de los puntos en los que se debe tener especial cuidado es en el muestreo. Si el muestreo no se realiza de forma correcta es posible obtener importantes sesgos. En ese sentido, es conveniente determinar correctamente si los grupos son comparables de acuerdo con los objetivos de la investigación, definir con mucho rigor la temporalidad del estudio, el tipo de muestreo más adecuado y siempre es necesario tratar de identificar los efectos indirectos de factores externos. Lo anterior, ayudará a determinar de mejor manera los efectos que se pueden tener del tipo de intervención que se esté analizando.

Esta propuesta podría ser una guía de evaluación de impactos en el sector agroalimentario si se aplica y ajusta de forma correcta. Sin embargo, lo más adecuado es diseñar una metodología nueva de acuerdo con las condiciones específicas del sujeto y objeto de estudio, así como de los objetivos de la investigación que se pretenda realizar. Para lo cual se requiere un conocimiento profundo sobre el programa o tecnología que se quiere evaluar y sobre las características y evolución de la región de estudio. Además, es importante definir con claridad como se interpretarán los indicadores y la forma como se debe medir las variables.

## Referencias

- Abdalla, Z., Bayoumi, Y., El-Bassiony, A. E.-M., Shedeed, S., Shalaby, T., Elmahrouk, M., Prokisch, J., & El-Ramady, H. (2022). Protected Farming in the Era of Climate-Smart Agriculture: A Photographic Overview. *Environment, Biodiversity and Soil Security*, 6(2022), 237–259. <https://doi.org/10.21608/jenvbs.2022.158187.1188>
- Ahmadbeyki, A., Ghahderijani, M., Borghaee, A., & Bakhoda, H. (2023). Energy use and environmental impacts analysis of greenhouse crops production using life cycle assessment approach: A case study of cucumber and tomato from Tehran province, Iran. *Energy Reports*, 9, 988–999. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2022.11.205>
- Alomoto, W., Niñerola, A., & Pié, L. (2022). Social Impact Assessment: A Systematic Review of Literature. *Social Indicators Research*, 161(1), 225–250. <https://doi.org/10.1007/s11205-021-02809-1>
- Añorve Guillén, M. A. (1991). La fiabilidad en la entrevista: la entrevista semi estructurada y estructurada, un recurso de la encuesta. *Investigación Bibliotecológica*, 5(10), 29–37. <https://doi.org/10.22201/iibi.0187358xp.1991.10.3793>
- Blanco, I., Luvisi, A., De Bellis, L., Schettini, E., Vox, G., & Scarascia Mugnozza, G. (2022). Research Trends on Greenhouse Engineering Using a Science Mapping Approach. *Horticulturae*, 8(9), 833. <https://doi.org/10.3390/horticulturae8090833>
- Blundell, R., & Costa Dias, M. (2009). Alternative Approaches to Evaluation in Empirical Microeconomics. *Journal of Human Resources*, 44(3), 565–640. <https://doi.org/10.1353/jhr.2009.0009>
- Borbón Morales, C. G., & Arvizu Armenta, M. (2015). Contraste empírico de modelos de transferencia de tecnología: Los casos de tres empresas de agricultura protegida en México. *Nova Scientia*, 7(15), 364. <https://doi.org/10.21640/ns.v7i15.99>
- Borbón-Morales, C. G. (2022). Negocio Inclusivo en Agricultura Protegida: Intervención del CPI en la Cadena de Valor Social. *Scientia et PRAXIS*, 2(04), 35–65. <https://doi.org/10.55965/setp.2.coed.a2>
- Brennan, M., Hennessy, T., Dillon, E., & Meredith, D. (2023). Putting social into agricultural sustainability: Integrating assessments of quality of life and wellbeing into farm sustainability indicators. *Sociologia Ruralis*, 63(3), 629–660. <https://doi.org/10.1111/soru.12417>
- Cayambe, J., Heredia-R, M., Torres, E., Puhl, L., Torres, B., Barreto, D., Heredia, B. N., Vaca-Lucero, A., & Diaz-Ambrona, C. G. H. (2023). Evaluation of sustainability in strawberry crops production under greenhouse and open-field systems in the Andes. *International Journal of Agricultural Sustainability*, 21(1). <https://doi.org/10.1080/14735903.2023.2255449>
- Consejo Nacional de la Evaluación de la Política de Desarrollo Social (CONEVAL). (2008). *Guión del Análisis de Factibilidad para llevar a cabo una Evaluación de Impacto*. 1–17.
- Costa, P., & Giacomelli, G. (2005). Los planes del éxito. Agricultura protegida: productividad basada en el nivel tecnológico. *Productores de Hortalizas Para Centroamérica (USA)*, 7(1), 42–44.
- Cuesta Roble. (2019). *Cuesta Roble releases 2019 global greenhouse statistics*.
- D'Amico, A., De Boni, A., Ottomano Palmisano, G., Acciani, C., & Roma, R. (2023). Environmental analysis of soilless tomato production in a high-tech greenhouse. *Cleaner Environmental Systems*, 11(September), 100137. <https://doi.org/10.1016/j.cesys.2023.100137>
- Enoch, H. Z., & Enoch, Y. (1999). The history and geography of the greenhouse. In G. Stanhil & H. Z. Enoch (Eds.), *Greenhouse Ecosystems. Ecosystems of the World 20*. (pp. 1–15).
- Fusco, G., Campobasso, F., Laureti, L., Frittelli, M., Valente, D., & Petrosillo, I. (2023). The environmental impact of agriculture: An instrument to support public policy. *Ecological Indicators*, 147(February), 109961. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2023.109961>
- García-Sánchez, E. I., Vargas-Canales, J. M., Palacios-Rangel, M. I., & Aguilar-Ávila, J. (2018). Sistema de innovación como marco analítico de la agricultura protegida en la región centro de México. *Cuadernos de Desarrollo Rural*, 15(81), 1–24. <https://doi.org/10.11144/Javeriana.cdr15-81.sima>
- García-Sánchez, I. E., Aguilar-Ávila, J., & Bernal-Muñoz, R. (2011). La agricultura protegida en Tlaxcala, México: La adopción de innovaciones y el nivel de equipamiento como factores para su categorización. *Teuken Bidikay*, 2, 193–212.

- Givord, P. (2023). Matching methods. In A. Revillard (Ed.), *Policy Evaluation: Methods and Approaches* (pp. 67–77). Science and the Common Good Association. <https://doi.org/10.5281/zenodo.8327161>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2023). *Resultados definitivos del censo agropecuario 2022*. Comunicado de Prensa Número 667/23. [https://www.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/boletines/2023/CA\\_Def/CA\\_Def2022.pdf](https://www.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/boletines/2023/CA_Def/CA_Def2022.pdf)
- Liu, X., Yang, M., Arnó, J., Kriticós, D. J., Desneux, N., Zalucki, M. P., & Lu, Z. (2023). Protected agriculture matters: Year-round persistence of *Tuta absoluta* in China where it should not. *Entomologia Generalis*, May. <https://doi.org/10.1127/entomologia/2023/1784>
- Mexican Association of Protected Horticulture (AMH-PAC). (2017). *Agricultura protegida en México*.
- Moulton, A. A., & Popke, J. (2017). Greenhouse governmentality: Protected agriculture and the changing biopolitical management of agrarian life in Jamaica. *Environment and Planning D: Society and Space*, 35(4), 714–732. <https://doi.org/10.1177/0263775816679669>
- Mundo Coxca, M., Jaramillo Villanueva, J. L., Jimenez, J. M., Macías López, A., & Ocampo Mendoza, J. (2020). Caracterización tecnológica de las unidades de producción de tomate bajo invernadero en Puebla. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 11(5), 979–992. <https://doi.org/10.29312/remexca.v11i5.2010>
- Mundo-Coxca, M., Jaramillo-Villanueva, J., & Barrera-Rodríguez, A. I. (2021). Dinámica de innovaciones en la producción de jitomate (*Solanum lycopersicum*) bajo invernadero en Puebla, México. *Agricultura Sociedad y Desarrollo*, 18, 431–444.
- Muñoz, R. M., Rendón, M. R., Aguilar, A. J., García, M. J., & Altamirano, C. J. (2004). *Redes de Innovación: un acercamiento a su identificación, análisis y gestión para el Desarrollo Rural*. Universidad Autónoma Chapingo.
- Negra, C., Pratt, L., Ortega, J. M., House, K., & Qadir, U. (2019). *Protected Agriculture: Mexico* (Issue May).
- Nemali, K. (2022). History of Controlled Environment Horticulture: Greenhouses. *HortScience*, 57(2), 239–246. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI116160-21>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2023). *El estado mundial de la agricultura y la alimentación 2023. Revelar el verdadero costo de los alimentos para transformar los sistemas agroalimentarios*. FAO. <https://doi.org/https://doi.org/10.4060/cc7724es>
- Orona-Castillo, I., Del-Toro-Sánchez, C. L., Fortis-Hernández, M., Preciado-Rangel, P., Espinoza-Arellano, J. de J., Rueda-Puente, E., Flores-Vázquez, M., & Cano-Ríos, P. (2022). Indicadores técnico-económicos de la producción del cultivo de tomate bajo agricultura protegida en la Comarca Lagunera, México. *Biotecnia*, 24(3), 70–76. <https://doi.org/10.18633/biotecnia.v24i3.1721>
- Orozco Cirilo, S. (2022). *Estadística no paramétrica, con ejemplos en SPSS*. (Primera ed). Plaza y Valdés S. A. de C. V.
- Orozco Cirilo, S., & Vargas Canales, J. M. (2021). *Estadística paramétrica fácil. Incluye problemario con respuestas*. (Primera ed). Plaza y Valdés S. A. de C. V.
- Padilla-Bernal, L. E., Lara-Herrera, A., Reyes-Rivas, E., & González-Hernández, J. R. (2015). Assessing environmental management of tomato production under protected agriculture. *International Food and Agribusiness Management Review*, 18(3), 193–210.
- Padilla-Bernal, L. E., Lara-Herrera, A., & Vélez-Rodríguez, A. (2020). Sustentabilidad y desempeño ambiental de la agricultura protegida: el caso de Zacatecas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 11(2), 289–302. <https://doi.org/10.29312/remexca.v11i2.1766>
- Padilla-Bernal, L. E., Pérez, V. O., Rumayor, R. A. F., & Reyes, R. E. (2008). Competitividad sistémica de la industria del tomate de invernadero en Zacatecas. *Investigación Científica*, 4(2), 1–8.
- Pérez-Mesa, J. C., García Barranco, M. C., Serrano Arcos, M. M., & Sánchez Fernández, R. (2023). Agri-food crises and news framing of media: an application to the Spanish greenhouse sector. *Humanities and Social Sciences Communications*, 10(1), 901. <https://doi.org/10.1057/s41599-023-02426-y>
- Perilla, G. A., & Mas, J.-F. (2019). High-resolution mapping of protected agriculture in Mexico, through remote sensing data cloud geoprocessing. *European Journal of Remote Sensing*, 52(1), 532–541. <https://doi.org/10.1080/22797254.2019.1686430>
- Pimienta, L. R. (2000). Encuestas probabilísticas vs. no probabilísticas. *Política y Cultura*, 13, 263–276.

- Post, P. M., Hogerwerf, L., Bokkers, E. A. M., Baumann, B., Fischer, P., Rutledge-Jonker, S., Hilderink, H., Hollander, A., Hoogsteen, M. J. J., Liebman, A., Mangen, M.-J. J., Manuel, H. J., Mughini-Gras, L., van Poll, R., Posthuma, L., van Pul, A., Rutgers, M., Schmitt, H., van Steenbergen, J., ... de Boer, I. J. M. (2020). Effects of Dutch livestock production on human health and the environment. *Science of The Total Environment*, 737, 139702. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139702>
- Pratt, L., & Ortega, J. M. (2019). Agricultura protegida en México. *Banco Interamericano de Desarrollo*, 1–57.
- Qasim, W., Xia, L., Lin, S., Wan, L., Zhao, Y., & Butterbach-Bahl, K. (2021). Global greenhouse vegetable production systems are hotspots of soil N<sub>2</sub>O emissions and nitrogen leaching: A meta-analysis. *Environmental Pollution*, 272, 116372. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.116372>
- Rocha, G. A. O., Pichimata, M. A., & Villagran, E. (2021). Research on the Microclimate of Protected Agriculture Structures Using Numerical Simulation Tools: A Technical and Bibliometric Analysis as a Contribution to the Sustainability of Under-Cover Cropping in Tropical and Subtropical Countries. *Sustainability*, 13(18), 10433. <https://doi.org/10.3390/su131810433>
- Rodríguez Lemus, C., Escamilla Santana, C., Ríos Castro, M. del S., López Bedolla, M. G., & López Ramírez, B. C. (2020). Competitividad y asimilación de tecnologías de la información y la comunicación (TIC) en pequeños productores de agricultura protegida en Guanajuato, México. *Ciencia & Tecnología Agropecuaria*, 21(3), 1–21. [https://doi.org/10.21930/rcta.vol21\\_num3\\_art:1499](https://doi.org/10.21930/rcta.vol21_num3_art:1499)
- Secretaría de Desarrollo Agroalimentario y Rural (SDAyR). (2020). *Evaluación Específica de Desempeño y Resultados Ejecicio 2019. Programa de Invernaderos GTO*.
- Sellare, J., Meemken, E.-M., & Qaim, M. (2020). Fairtrade, Agrochemical Input Use, and Effects on Human Health and the Environment. *Ecological Economics*, 176(February), 106718. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2020.106718>
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). (2022). *Superficie Agrícola Protegida*. <https://www.agricultura.gob.mx/siap/superficie-agricola-prottegida>
- Stuart, E. A. (2010). Matching Methods for Causal Inference: A Review and a Look Forward. *Statistical Science*, 25(1), 754–768. <https://doi.org/10.1214/09-STS313>
- Terrones Cordero, A., & Sánchez Torres, Y. (2011). Análisis de la rentabilidad económica de la producción de jitomate bajo invernadero en Acaxochitlán, Hidalgo. *Revista Mexicana de Agronegocios*, 15(29), 752–761.
- Torrellas, M., Antón, A., & Montero, J. I. (2013). An environmental impact calculator for greenhouse production systems. *Journal of Environmental Management*, 118, 186–195. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2013.01.011>
- Torrellas, M., Antón, A., Ruijs, M., García Victoria, N., Stanghellini, C., & Montero, J. I. (2012). Environmental and economic assessment of protected crops in four European scenarios. *Journal of Cleaner Production*, 28, 45–55. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2011.11.012>
- Vargas Canales, J. M. (2016). *Cambio tecnológico e innovación en agricultura protegida en Hidalgo, México*. Universidad Autónoma Chapingo.
- Vargas Canales, J. M., Palacios Rangel, M. I., Camacho Vera, J. H., Aguilar Ávila, J., & Ocampo Ledesma, J. G. (2015). Factores de innovación en agricultura protegida en la región de Tulancingo, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 6(4), 827–840.
- Vargas-Canales, J. M., Palacios-Rangel, M. I., Aguilar-Ávila, J., Ocampo-Ledesma, J. G., Kreimer, P., & Ortiz-Martínez, G. (2018). Technological innovation in a case of protected agriculture in Mexico. *Revista de Geografía Agrícola*, 61(2), 9–38. <https://doi.org/10.5154/r.rga.2017.61.02>
- Vargas-Canales, J. M., Palacios-Rangel, M. I., Aguilar-Ávila, J., Ocampo-Ledesma, J. G., Medina-Cuellar, S. E., Camacho-Vera, J. H., Ocampo-Ledesma, J. G., & Medina-Cuellar, S. E. (2018). Efficiency of small enterprises of protected agriculture in the adoption of innovations in Mexico. *Estudios Gerenciales*, 34(146), 52–62. <https://doi.org/10.18046/j.estger.2018.146.2811>
- Vargas-Canales, J. M., Orozco-Cirilo, S., Estrada, S., del Carpio-Ovando, P. S., Camacho-Vera, J. H., López-Carmona, D., García-Melchor, N., Rodríguez-Haros, B., Valdés-Cobos, A., Sánchez-Torres, Y., Fresno-Ramírez, J., Palacios-Rangel, M. I., Ocampo-Ledesma, J. G., Barrera-Perales, O. T., Pineda-Pineda, J., Kreimer, P., García-Cruz, J. C., Reyes-Barrera, D. M., Montiel-Flores, J. C., ... de Gortari-Rabiela, R. (2024). Science, technology, agri-food systems, health, and wellbeing: logic, dynamics, and relationships. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 8, 1–14. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2024.1344357>

- Vargas-Canales, J. M., Palacios-Rangel, M. I., García-Cruz, J. C., Camacho-Vera, J. H., Sánchez-Torres, Y., & Simón-Calderón, C. (2023). Analysis of the impact of the regional innovation system of protected agriculture in Hidalgo, Mexico. *The Journal of Agricultural Education and Extension*, 29(2), 269–294. <https://doi.org/10.1080/1389224X.2022.2039246>
- Widana, A. (2019). The Impacts of Mining Industry: Socio-Economics and Political Impacts. *SSRN Electronic Journal*, 4(4), 1–30. <https://doi.org/10.2139/ssrn.3423562>
- Wu, F., Guan, Z., & Huang, K.-M. (2022). Protected Agriculture in Mexico. *EDIS*, 2022(6), 1–7. <https://doi.org/10.32473/edis-fe1124-2022>
- Yuan, Q., Mi, S., Meng, F., Hou, J., Sun, Y., Li, H., & Shah, A. M. (2023). An emergy analysis of environmental sustainability in urban agriculture: evidence from protected agriculture in Beijing, China. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 7(October), 1–9. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2023.1288136>

