Revista Colombiana de Computación
Vol. 26, No. 2 Julio – Diciembre 2025, pp. 31-43
e-ISSN: 2539-2115, https://doi.org/10.29375/25392115.5536

REVISTA COLOMBIANA DE COMPUTACIÓN

Explicando las barreras de apropiación tecnológica desde la perspectiva de las características de diseño empleadas en la interacción campesino-innovaciones agrícolas

Explaining the barriers to technology adoption from the perspective of design characteristics used in farmer-agricultural innovation interactions

María Alexandra Espinosa Carreño[1,2], Maria Fernanda Mantilla Arango[1], Doris Amparo Barreto Osma[1,3], Román Eduardo Sarmiento Porras[2,4]

[1] Proyecto SembrandoBits, Universidad Autónoma de Bucaramanga – UNAB, Colombia
[2] Grupo PRISMA, Programa de Ingeniería de Sistemas, Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Bucaramanga – UNAB, Colombia
[3] Grupo Violencia, Lenguaje y Estudios Culturales, Centro UTransforma, Dirección de Transformación Social, Universidad Autónoma de Bucaramanga – UNAB, Colombia
[4] Facultad de Economía y Negocios, Universidad Autónoma de Bucaramanga – UNAB, Colombia

mespinosa3@unab.edu.co, mmantilla456@unab.edu.co, dbarreto@unab.edu.co, rsarmiento@unab.edu.co

(Recibido: 16 Noviembre 2025; aceptado: 29 Diciembre 2025; publicado en línea: 31 Diciembre 2025)

Resumen. Ante la imperante necesidad de salvaguardar la seguridad alimentaria mundial, diversos sectores académicos, gubernamentales y empresariales han dedicado esfuerzos para optimizar la producción agrícola a pequeña escala mediante tecnologías como la agricultura de precisión. No obstante, la creciente brecha tecnológica, explicada principalmente por las capacidades digitales y la deficiencia de infraestructura propia de las zonas rurales, entorpece la implementación de dichas tecnologías en dicho sector. Este artículo propone una causa adicional relacionada con las características de diseño empleadas en el manejo campesino-solución, resultado de una revisión sistemática de la literatura de 101 artículos científicos publicados entre 2015 y 2021, así como de una vigilancia tecnológica de cuatro empresas reconocidas a nivel mundial por el desarrollo de soluciones de riego. Se identificaron ocho características de interacción en las distintas soluciones seleccionadas para el estudio, lo que facilitó la comparación de los diseños implementados en el ámbito académico y en el industrial. Dichas características contribuyeron a identificar las deficiencias en el desarrollo de innovaciones agrícolas digitales para el sector agrícola de pequeña escala y a analizar su influencia en las barreras de apropiación tecnológica.

Palabras clave: manipulación humano-máquina, pequeños productores campesinos, diseño de interfaces.

Abstract. Given the pressing need to safeguard global food security, various academic, governmental, and business sectors have devoted efforts to optimizing small-scale agricultural production through technologies such as precision agriculture. However, the growing technological gap, mainly explained by digital capabilities and the lack of infrastructure in rural areas, hinders the implementation of these technologies in this sector. This article proposes an additional cause related to the design characteristics employed in farmer-led solutions, based on a systematic literature review of 101 scientific articles published between 2015 and 2021, as well as a technology watch of four companies recognized globally for the development of irrigation solutions. Eight interaction characteristics were identified across the various solutions selected for the study, which facilitated a comparison of the designs implemented in academic and industrial settings. These characteristics helped identify shortcomings in the development of digital agricultural innovations for the small-scale agricultural sector and analyze their influence on barriers to technology adoption.

Keywords: human-computer interaction, smallholder farmer, interface design.

1 Introducción

De acuerdo con los resultados compartidos por Springmann y otros (2018) y con estudios que demuestran la importancia de los Pequeños Productores Agricultores Campesinos – PPAC en la seguridad alimentaria mundial (FAO, IFAD, UNICEF, WFP y WHO, 2018; OCDE y FAO, 2019), se hace imperativa la necesidad de tecnificar procesos agrícolas que optimicen y aumenten la producción obtenida mientras se consuma la menor cantidad de recursos (Rajeswari y otros, 2018). Es así como el Internet de las Cosas – *IoT*, la inteligencia artificial y el *big data* (Čolaković & Hadžialić, 2018; Narmilan, 2017) convergen en lo que se conoce como agricultura de precisión, la

©2025 Universidad Autónoma de Bucaramanga. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY-NC-SA 4.0) license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

cual ha demostrado que, gracias a su monitoreo continuo puede solventar problemas alrededor del uso del agua dulce, uso de abonos, y control preventivo de pestes (Lopez-Ridaura y otros, 2018; Pivoto y otros, 2018; Rose & Chilvers, 2018; Westermann y otros, 2018) mostrándose como una solución pertinente a las necesidades del contexto.

No obstante, la creciente brecha tecnológica dificulta la adecuada apropiación de estas tecnologías en contextos rurales (Ziegler, 2021). Entre las diversas causas identificadas, la academia ha documentado las insuficientes capacidades producto de la deficiencia de infraestructura propia de las zonas rurales, la dificultad en la accesibilidad geográfica a regiones lejanas del casco urbano y la disponibilidad limitada de dispositivos, así como la capacidad de pago de los servicios (Ziegler, 2021).

Por ello, el presente documento propone una nueva causa, resultado de una revisión sistemática de la literatura de 101 artículos científicos publicados entre 2015 y 2021 y de una vigilancia tecnológica de cuatro oferentes tecnológicos desarrolladores de soluciones para el riego en el sector agrícola de pequeña escala, con presencia en Latinoamérica. De forma específica, el propósito de este estudio se centra en extraer e identificar los elementos asociados a la interacción entre prototipos e innovaciones y los agricultores, considerados en el diseño de la solución. De las 43 características identificadas en la revisión, ocho se refieren a la interacción del campesino con la tecnología, en la que los diseñadores, desde su óptica, evaluaban cualitativamente los resultados de la manipulación.

2 Metodología y resultados

La metodología propuesta fue validada en Espinosa C. y otros (2021), y tuvo como propósito identificar los diferentes elementos de diseño empleados en la construcción de soluciones *IoT* de riego para el sector agrícola de pequeña escala. Consta de tres partes: una revisión de la literatura centrada en identificar aspectos de diseño aplicados a innovaciones agrícolas; una revisión sistemática de la literatura que permitió seleccionar las mejores soluciones de riego para la agricultura; y una vigilancia tecnológica enfocada en identificar las empresas representativas en el desarrollo de soluciones de riego basadas en *IoT*. Debido a la cantidad limitada de artículos alrededor de la experiencia de usuario, se emplea la revisión de la literatura, mientras que para la búsqueda de soluciones *IoT* para agricultura a pequeña escala se emplea DANDELION (Espinosa C. y otros, 2021), que es una metodología que emplea herramientas propias de la revisión sistemática de la literatura y la complementa con la bibliometría. La Figura 1 muestra cómo se recopilaron los 101 artículos que se analizarán posteriormente.

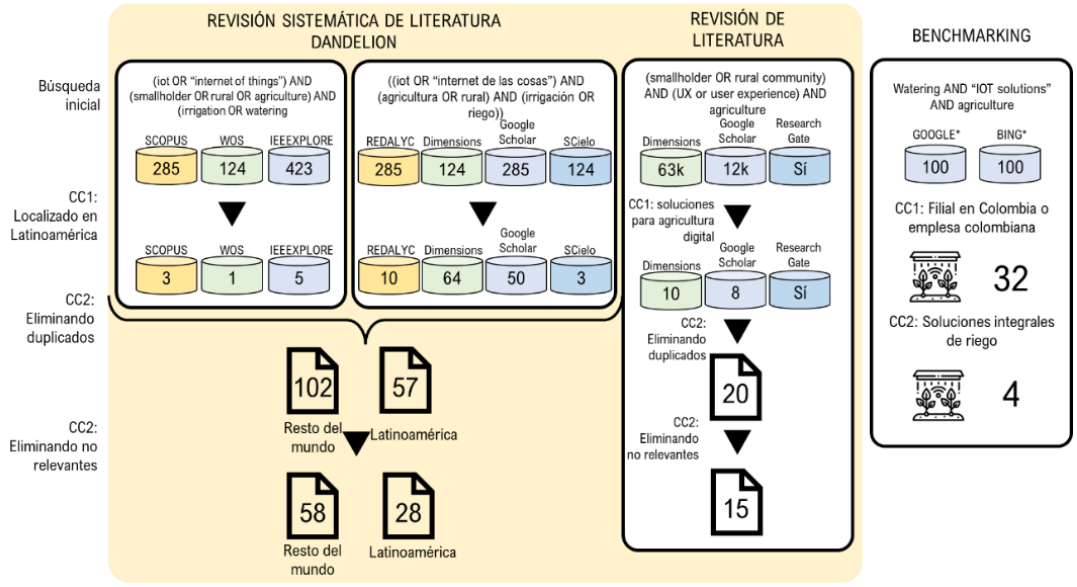

Figura 1. Metodología para búsqueda de información alrededor de soluciones

Con el fin de contrastar los elementos y características a nivel de Latinoamérica y del mundo, se decide realizar la búsqueda en bases de datos reconocidas en cada ámbito. A nivel mundial, se seleccionan *SCOPUS*, *Web of Science – WOS* y *IEEEXplore*, mientras que a nivel latinoamericano se buscan artículos en REDALYC, *Dimensions*, Google Académico y *SciELO*. La ventana temporal recomendada por DANDELION se establece entre 2015 y 2021, y se identifican a India, 30% del total; Colombia, 15% del total; y México, Ecuador y España, 12% cada uno; como los países con mayor número de publicaciones sobre esta temática. Se seleccionan los elementos y características con mayor frecuencia de aparición en los artículos, identificándose 24 características

en el entorno académico asociado a soluciones de riego *IoT*, 20 en la revisión relacionada con la experiencia de usuario y 30 a nivel empresarial. Dependiendo de sus características, se clasificaron en tres dimensiones, como se muestra en la Figura 2. No obstante, este artículo tiene como propósito centrarse en las 8 características de la dimensión de manejo por parte del usuario –pequeño productor, agricultor campesino, PPAC–.

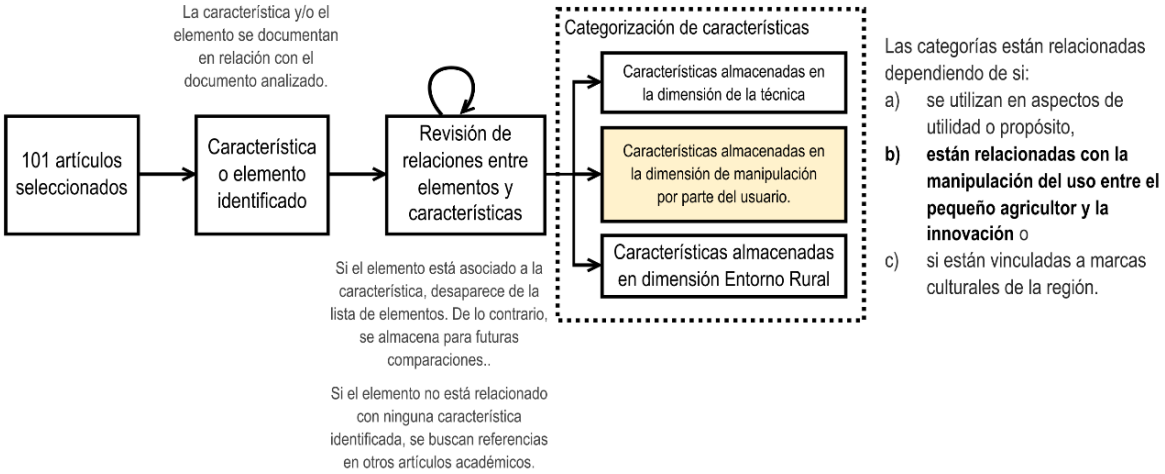

Figura 2. Identificación de elementos y su clasificación en características

No obstante, el presente artículo tiene como propósito centrarse en las ocho (8) características de la dimensión de manejo por parte del usuario –pequeño productor, agricultor campesino, PPAC–, por lo que los criterios de selección empleados en la identificación de los diferentes elementos y características fueron los siguientes:

1. Por mención directa: el diseñador evidencia la característica en el artículo científico. Ejemplo: "El prototipo ha demostrado ser de fácil uso".
2. Los elementos están relacionados con una o varias características debido a una mención del autor. Ejemplo: Se reconoce que las tecnologías *low tech* son una característica de las tecnologías maduras, ya que varios autores llegaron a ese consenso en sus artículos y las incluyen en la categoría de accesibilidad.
3. Por asunción: El autor menciona ciertas características propias de las identificadas en la característica; por ejemplo: "Se establecen espacios de co-creación". Su incorporación presupone la adquisición de información para implementar marcas culturales y metáforas.
4. Para el sector empresarial, se seleccionan compañías a nivel mundial que desarrollan soluciones de riego y tienen presencia en Latinoamérica, eligiéndose para el estudio *CropX*, Israel; *Libelium*, España; *Netafim*, Israel; y *Progrés*, España, respectivamente. Para su análisis, se toman las soluciones disponibles en la página web, las características y los elementos recopilados del estudio académico y se contrastan con las características publicadas.

Luego de identificar los elementos y clasificarlos según sus características, se retomaron los artículos seleccionados para contabilizar sus apariciones; véase la Figura 3. Debido a que una característica comparte uno o más elementos con otras, se considera que una característica está presente si el conjunto de elementos que la conforman, o al menos la mayoría de ellos, se menciona en el artículo. Con el objetivo de observar el comportamiento de las consideraciones de los diseñadores en países hispanohablantes en comparación con el resto del mundo, se distinguen ambos contextos. Así, por el lado de Hispanoamérica, se elige a Colombia, con 4 publicaciones, y a Ecuador, México y España, cada uno con 3. Para el resto del mundo, únicamente se consideró la India, con 27 publicaciones, dado que el aporte de los demás países no es significativo, 3 o menos artículos.

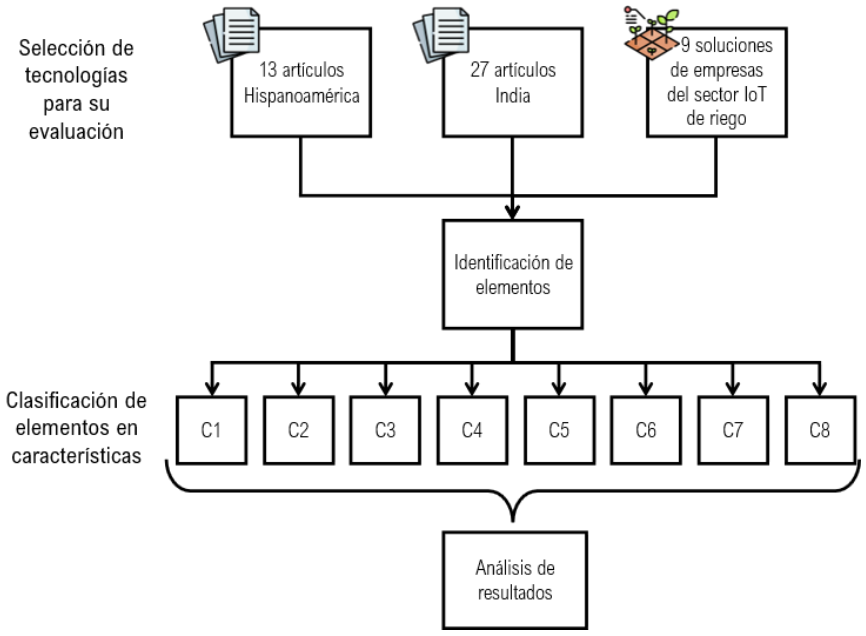

Figura 3. Identificación de características empleadas en la academia y en el sector industrial en torno a soluciones de riego para el sector agrícola de pequeña escala.

Con los datos normalizados, se emplea un gráfico combinado para observar el comportamiento de los cinco países seleccionados. Se observa que India lleva un avance significativo alrededor de las consideraciones empleadas en la dimensión de manejo por parte del usuario, siendo su fortaleza las características asociadas a la interacción que tiene el PPAC con la tecnología, C1, el esfuerzo por implementar elementos reconocibles en sus innovaciones para una fácil apropiación, C2, el uso de estrategias para facilitar la apropiación tecnológica, C3, el reconocimiento puntual de los problemas regionales y las soluciones diseñadas, C7, y las diferentes estrategias empleadas para que los PPAC puedan acceder a la tecnología, C8. Hispanoamérica, por otro lado, ha demostrado avances significativos –superando a la India– en el desarrollo de prototipos para comunidades rurales que, a partir de estudios de caso, demuestren su utilidad, C6. No obstante, se evidencia una falencia en el sentido de evaluar las apreciaciones descritas por los diseñadores: si bien la metodología contiene elementos como observación directa (Gutiérrez Padierna y otros, 2018; Mora Holguín, y otros, 2017; Ramirez-Villegas y otros, 2012; Vergara-Buitrago, 2018) es innegable observar su carácter cualitativo, que impide identificar elementos puntuales y validarlos mediante heurísticas que les permitan asignarles un valor a la luz de las características reconocidas como usables. La Figura 4 muestra la comparación entre ambos comportamientos. No obstante, los atributos asociados a la Validación emocional, C4, y la Ergonomía, C5, son los menos estudiados en ambos contextos.

Entre los problemas asociados al desarrollo de los prototipos, se identifican el aumento de pestes y hongos producto de un riego inadecuado, la gestión de recursos –agua dulce, plaguicidas y abono– (Talavera y otros, 2017; Narmilan, 2017), pero no se ha explorado cómo la tecnología podría abordar los problemas ergonómicos asociados al uso de las herramientas tradicionales del PPAC.

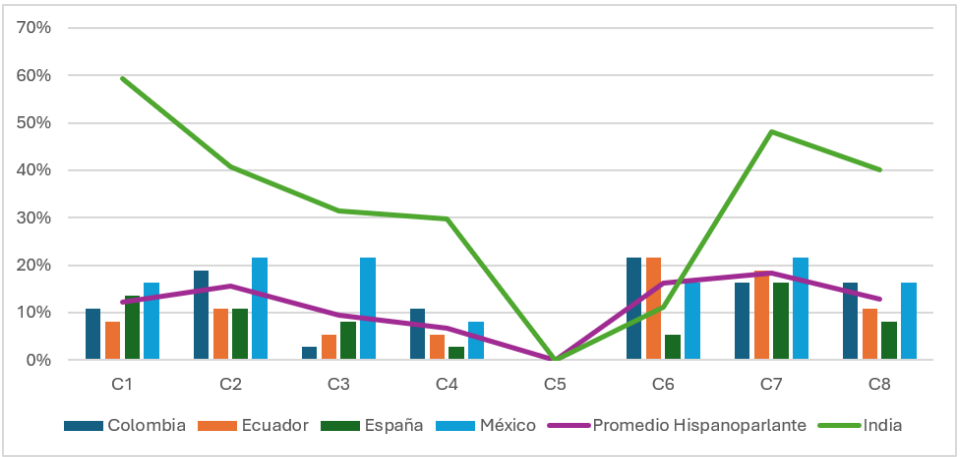

Figura 4. Comparativas de las características de la dimensión de manejo por parte del usuario en países de habla hispana vs. India

Para el análisis de vigilancia tecnológica de las empresas seleccionadas, se eligen soluciones orientadas a resolver problemas asociados al riego en la pequeña escala agrícola. Para ello, debe haber un estudio de caso asociado y deben mencionarse aspectos mínimos, como el bajo costo – o, en su defecto, el sistema modular– y su implementación para el uso de PPAC. Los resultados obtenidos se muestran en la Figura 5, la Figura 6 y en la Tabla 1. Observar que se emplean cuatro posibles valores para la medición de atributos:

1. Sí: si todos los elementos están identificados.
2. Sí*: si todos los elementos se identifican, pero de forma distinta a lo identificado en la academia, o si se identifican como consecuencia.
3. */-: los elementos no son fácilmente identificables, pero surgen como consecuencia de su instalación.
4. No: no se identifican elementos.

Tabla 1. Evaluación de resultados de características alrededor de oferentes tecnológicos de soluciones de riego *IoT* para el sector agrícola de pequeña escala

Compañía	Nombre de la solución	Componentes de la solución	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
CropX	*Irrigation Planning*	Planificador de irrigación, Medición de variables de tierra *Sensor CropX*	Sí	Sí*	Sí*	Sí*	+/-	Sí	Sí	Sí
CropX	*Effluent irrigation*	Sistema de decisión *Sensor CropX* Gestión de reportes Medición de niveles de tanques y actividad de bombeo	Sí	Sí*	Sí*	Sí*	Sí	Sí	Sí	Sí
CropX	*Crop Nutrition Monitoring*	Medición de variables del suelo *Sensor CropX*	Sí	Sí*	Sí*	Sí*	+/-	Sí	Sí	Sí
CropX	Gestión de datos de campo	Diario de campo *Sensor CropX* Medición de variables de crecimiento Medición de índices de salud de vegetales - drones Medición de condiciones climáticas	Sí	Sí	Sí	Sí	No	Sí	Sí	Sí
Progrés	*Agrónic Smart*	*Agrónic APP 2.0* Sensores Controlador de caudal, golpe de ariete, fertilización Programadores	Sí	Sí	Sí	Sí	+/-	Sí	Sí	Sí
Libelium	*Plug & Sense! Smart Agriculture PRO*	Sensor de suelo, hoja, aire y presión atmosférica y meteorológica. Modelos predictivos de IA Controladores, tabla de comparación de datos	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
Libelium	*farmB*	Monitoreo y análisis en tiempo real Acceso a datos desde *PC*, tableta, smartphone Almacenamiento de datos Tabla de comparación de datos Mapa integrado	Sí	Sí*	Sí*	Sí*	+/-	Sí	Sí	Sí
Netafim	Uso eficiente del agua	Ofrece soluciones modulares en torno a técnicas de riego y de fertirriego.	Sí	Sí*	Sí*	Sí*	+/-	Sí	Sí	Sí
Netafim	*Precision Irrigation Academy*	Cursos sobre el uso de sus soluciones	Sí	Sí*	Sí*	Sí*	+/-	Sí	Sí	Sí

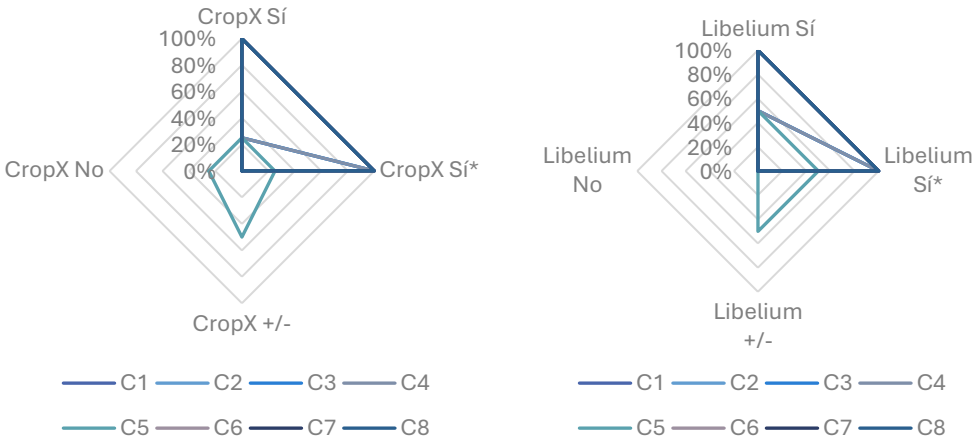

Figura 5. Comparativa de uso de características en soluciones de riego empleadas por oferentes tecnológicos –comparación *CropX* y *Libelium*–

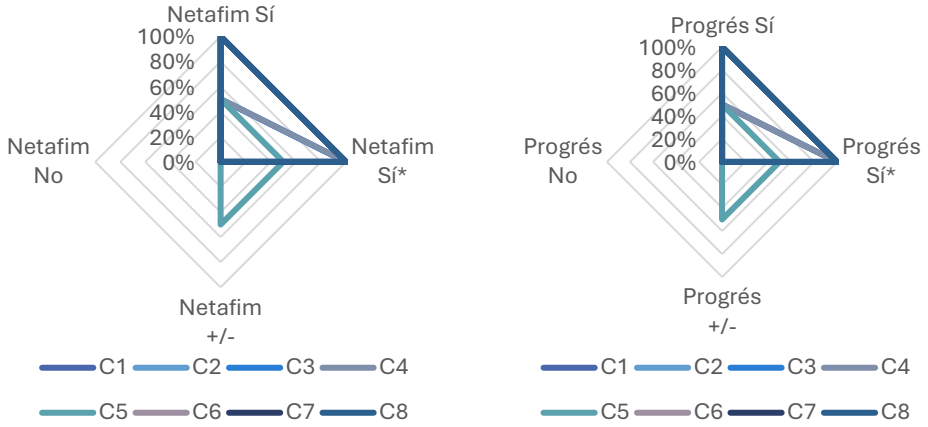

Figura 6. Comparativa de uso de características en soluciones de riego empleadas por oferentes tecnológicos –comparación *Netafim* y *Progrés*–

Como resultado del ejercicio de clasificación, se obtienen ocho características categorizadas en la manipulación del usuario, *Decision-Making Unit – DMU*, la cual fue mencionada en Espinosa C. y otros (2021) y mostrada en la Figura 2.

La Tabla 2 muestra los diferentes elementos identificados en la dimensión de manejo por parte del usuario, definida como la capacidad de los PPAC para interactuar y evaluar de manera efectiva la solución tecnológica, junto con su definición, dónde se ubicó la característica, Academia –AC– o sector empresarial –E– y los elementos que la integran.

Tabla 2. Características identificadas asociadas a la dimensión manipulación por parte del usuario – DMU

Atributo	C	AC	E	Definición	Elementos identificados en la categoría
Interacción humano-máquina	C1	D	C–	El diseño toma en cuenta aspectos de usabilidad, utilidad y culturabilidad, lo que facilita la interacción entre los usuarios y la tecnología (IxDF, 2020).	Elementos reconocibles (Tendolkar & Ramya, 2020), preferencias de entrada (Mayorova y otros, 2019), configuraciones de entrada (Holzworth y otros, 2015), fácil uso (Hernández-Salazar y otros, 2017; Naresh & Munaswamy, 2019), diversas estrategias de comunicación y redes sociales (Ray, 2017), edad, género, hábitos (Badotra y otros, 2020), velocidad de respuesta (Cherukullapurath Mana, 2019).

Atributo	C	AC	E	Definición	Elementos identificados en la categoría
Incorporación de marcas culturales y metáforas.	C2	E	D	Inclusión de elementos culturales y símbolos propios de la región, con facilidad para su adopción y uso (Azeem y otros, 2015).	Elementos reconocibles (Tendolkar & Ramya, 2020), espacios de co-creación y co-diseño (Satamraju y otros, 2017), participación de la comunidad (Cambra Baseca y otros, 2019), colores, uso de imágenes y de extensionistas agrícolas (Yaakub y otros, 2025).
Sensibilización y capacitación	C3	E	D	Espacios comunitarios para fortalecer la cultura de uso de la tecnología y sensibilizar a los usuarios sobre su importancia (Smith y otros, 2019).	Espacios de co-creación, co-diseño (Satamraju y otros, 2017; Smith y otros, 2019), prevención a desastres (Ramirez Izolan y otros, 2020), sensible a la comunidad (Tendolkar & Ramya, 2020), extensionismo agrícola, trabajo con comunidad (Mora Holguín, y otros, 2017; Yaakub y otros, 2025), capacitación, seguimiento.
Validación emocional	C4	E	D	Métricas que evalúan la experiencia emocional de los campesinos al interactuar con la tecnología	Nivel de satisfacción (Mora Holguín, y otros, 2017), encuestas de satisfacción, evaluación de usabilidad y experiencia de usuario (Sheikh y otros, 2014), factor costo-beneficio (Ramirez Izolan y otros, 2020), validación mediante extensionistas agrícolas.
Ergonomía	C5	E	D	Optimización de la interacción entre el trabajador y su entorno de trabajo, evitando dispositivos que puedan perjudicar su salud.	Conocimiento local (Badotra y otros, 2020), prevención de enfermedades mecánicas, problemas cardíacos.
Usabilidad	C6	E	C-	Facilidad de uso que puede generar placer y emociones positivas en el usuario, sin suponer un esfuerzo significativo.	*Habitus*, fácil uso (Holzworth y otros, 2015; Tendolkar & Ramya, 2020), diseño intuitivo, sencillo y asequible (Shamrat y otros, 2021).
Eficacia	C7	D	C-	Satisfacción de las necesidades o expectativas del agricultor y efectividad en el cumplimiento de su propósito.	Aumento de la productividad percibida (Mayorova y otros, 2019; Narmilan, 2017), bienestar, prevención de desastres (Pattnaik y otros, 2020), reducción del personal, disminución del tiempo (Nuvvula y otros, 2017).
Accesible para la comunidad	C8	E	C-	El uso de la tecnología por los PPAC debido a su adaptabilidad	Tecnología madura, conocimiento del contexto (Badotra y otros, 2020; Čolaković & Hadžialić, 2018; Narmilan, 2017; Shamrat y otros, 2021), elementos regionales, fácil implementación (Ananthi y otros, 2017; Badotra y otros, 2020; Reghunadhan, 2020).

Para la evaluación de las características empleadas en el diseño de las innovaciones tanto en el entorno académico como en el empresarial, se adopta una escala alfabética con subniveles, ampliamente utilizada en sistemas de calificación internacionales. En esta escala, el desempeño se clasifica en once categorías: A+, que corresponde a puntuaciones entre el 95 % y el 100 %; A, entre el 90 % y el 94,99 %; A−, entre el 85 % y el 89,99 %; B+, entre el 80 % y el 84,99 %; B, entre el 75 % y el 79,99 %; B−, entre el 70 % y el 74,99 %; C+, entre el 65 % y el 69,99 %; C, entre el 60 % y el 64,99 %; C−, entre el 50 % y el 59,99 %; D, entre el 30 % y el 49,99 %; y E, que agrupa los puntajes inferiores al 30 %. Esta estructura permite discriminar con mayor precisión el nivel de desempeño de los participantes.

Si bien el sector empresarial presupone un avance significativo en comparación con el sector académico, ofrece una oportunidad de estudio para todas las características identificadas en el estudio. El análisis de los hallazgos se abordará en profundidad en el siguiente apartado.

3 Observaciones y conclusiones

Este estudio presenta varios elementos a considerar, que podría afectar de forma negativa a la apropiación de una tecnología, de acuerdo a diferentes *frameworks* como el diseñado por Martínez Pinzón y Villamizar Calderón (2020) donde el comportamiento de uso está determinado por características relacionadas con la cultura regional, la demografía del usuario, los efectos de red, la usabilidad, el afecto y el valor del usuario, las cuales pueden estar vinculadas a las características identificadas en la dimensión de manejo por parte del usuario, *DMU*. La

Figura 7 presenta una comparación derivada del análisis, en la que se observa que la capacidad económica, la protección intelectual y el acceso a canales académicos explican el comportamiento de los resultados.

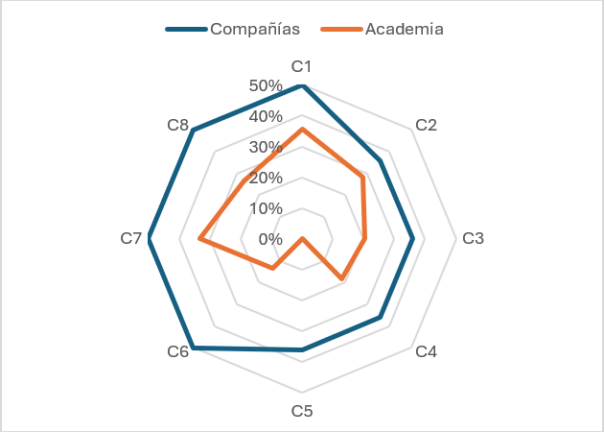

Figura 7. Comparativa de uso de las diferentes categorías: sector académico vs. oferentes tecnológicos

Los diferentes hallazgos relacionados con las características identificadas, así como varios aspectos comparativos entre el enfoque académico y los oferentes tecnológicos, se presentan a continuación:

1. **Falta de consenso entre los autores al abordar la interacción humano-máquina, C1, y usabilidad, C6:** aunque hay componentes estandarizados como la capacidad de aprendizaje, eficiencia, memorización, recuperación de errores y satisfacción (Nielsen, 1994) es interesante observar que, para los desarrolladores académicos, la usabilidad únicamente hace referencia a la utilidad que la innovación puede ofrecer a los PPAC y a la facilidad con la que perciben su utilización – y es por ello que la usabilidad aparece como característica de la dimensión de manejo por parte del usuario–. Por consiguiente, los instrumentos diseñados para evaluar la experiencia de usuario – UX en la característica de validación emocional se enfocan en medir aspectos relacionados con la aceptación tecnológica y en observar la facilidad percibida por el desarrollador al analizar cómo el campesino interactúa con la solución. Los estudios solo presentan las conclusiones de las observaciones sin compartir los instrumentos utilizados para respaldar los resultados. Es crucial destacar estos estudios con el fin de validar las herramientas desarrolladas para el sector agrícola de pequeña escala, ya que autores como Novák y otros (2019) demostraron la inexistencia de *frameworks* de desarrollo enfocados en generar tecnología adecuada para las comunidades rurales y, con ello, afecta directamente la intención de uso que estos usuarios tengan en relación con la tecnología. En cuanto al sector empresarial, este apartado se presenta de manera distinta, ya que se observa un esfuerzo por recopilar información contextual y afinar sus instrumentos, de modo que puedan ser empleados por los lugareños, lo cual se refleja en los resultados de los casos de estudio publicados en sus respectivos sitios web. Adicionalmente, con el propósito de destacar un aspecto diferenciador, se enfatiza la importancia de integrar elementos que ellos denominan “tradicionales” en la tecnificación agrícola, así como su compromiso de incorporar componentes relacionados con la sostenibilidad de la solución.
2. **La apuesta de la academia por un diseño universal:** Bajo la premisa de la integración tecnológica en "ambientes diversos", los desarrolladores académicos concluyen que la mayoría de sus prototipos deben componerse de un conjunto de sistemas para la operación correcta de la solución, sin considerar el aumento de costos operativos y de complejidad para quienes adquirirán el prototipo, lo que la vuelve inaccesible en el contexto rural –característica C8–. Esta propuesta de diseño adopta características de una "caja negra" que permite instalar el prototipo sin que este afecte la actividad final de los PPAC. La idea es que el campesino interactúe lo menos posible con la tecnología y se vuelva ajeno a su uso, reduciendo su experiencia al uso de la plataforma desarrollada. No obstante, también se identifica otro tipo de diseño –usado especialmente en el sector empresarial– enfocado en desarrollar tecnologías contextualizadas que puedan emplearse en territorios específicos, como el sector agrícola de pequeña escala. En este sentido, las soluciones están personalizadas a las necesidades de la región, lo que conlleva un costo elevado para el equipo de diseño. De acuerdo con la información proporcionada por cada sitio web, se entiende que la financiación proviene de fondos gubernamentales asociados a convocatorias, en las que las organizaciones se relacionan con oferentes tecnológicos para desarrollar conjuntamente soluciones personalizadas. La incorporación de marcas culturales, C2, se establece a partir de la tecnificación de "técnicas tradicionales" estudiadas por un grupo de expertos –extensionistas agrícolas e investigadores–, evaluadas mediante encuentros con la comunidad –capacitación– y un acompañamiento continuo. Esto puede observarse en la Figura 8, donde *CropX* desarrolla un sensor que puede "atornillarse" al suelo y en la solución de *Libelium*, en la que se modifican artefactos usados de forma

"tradicional" en una región de viñedo. Ambas soluciones están documentadas en sus respectivos casos de estudio.

3. **Sobre la sensibilización, la capacitación, C3, y la validación emocional, C4:** En la academia, es común encontrar la presunción de que se resuelve el problema, mas no la afectación real. Es decir, se explica el problema de estudio, pero no existe una verificación por parte de la comunidad, que es la autoridad para reconocer si el problema es pertinente y urgente. Al no ser un problema que la comunidad pueda identificar como propio –por ende, las expectativas no son cumplidas, nombrado en la característica C7– , la tecnología desarrollada no se apropia (Guereña y otros, 2017; Trigo & Elverdin, 2020). Por otro lado, resulta interesante observar los mecanismos empleados en el sector industrial para la capacitación y la validación emocional: de acuerdo con la información recopilada de sus estudios de caso, los procesos asociados a la sensibilización y validación emocional –en su mayoría– reposan sobre el socio estratégico –usualmente una organización gubernamental– que transfiere la información pertinente al oferente para el desarrollo tecnológico. Como valor adicional, estas compañías se asocian con extensionistas agrícolas e investigadores del sector, en busca de una validación que se empleará como propaganda corporativa para próximos proyectos. Adicionalmente, el acompañamiento se ofrece mediante servicios de capacitación y seguimiento continuo durante un plazo establecido como "garantía del producto". Compañías como NETAFIM, ver Figura 9, incluso han identificado oportunidades de acompañamiento y sensibilización en la formulación y la distribución de cursos alineados con los productos de venta. El hecho de que las soluciones desarrolladas por estos oferentes tecnológicos se caractericen por un carácter diferenciador frente a las soluciones académicas. Se vuelven visibles y, al poder alojarlas en sus sitios web, reconocibles para un público más amplio que el académico.
4. **¿Y qué pasa con la ergonomía, C5?:** Cuando se revisa el estudio de tecnologías para la agricultura, resulta curioso observar que dispone de un manual de ergonomía que no se utiliza en el desarrollo de los nuevos prototipos. Vale la pena aclarar que este estudio no excluyó el área de la salud, por lo que no se identificó el diseño de tecnologías *IoT* para el riego cuyo propósito sea mejorar el bienestar del PPAC mediante prácticas mecánicas habituales que, como resultado, generan lesiones y problemas de salud a largo plazo. Tanto en la academia como en el sector de los oferentes tecnológicos, afrontan este tema de forma indirecta al hablar de beneficios para comunidades rurales, como la disminución de la mano de obra calificada y la automatización de procesos que reducen las labores mecánicas. Para futuras investigaciones, se propone realizar un estudio que permita validar el bienestar del campesino al implementar estos mecanismos en sus procesos productivos.



Figura 8. Sensor tipo tornillo – *CropX* y sistemas contextualizados – *Libelium*
Fuente: *CropX* y *Libelium*



Figura 9. Soluciones ofrecidas por NETAFIM

4 Limitaciones

Este estudio presenta ciertas limitaciones que deben considerarse al interpretar sus resultados. En primer lugar, existe una escasez de investigaciones previas que se hayan centrado específicamente en la ergonomía aplicada al diseño y la adopción de tecnologías para pequeños agricultores –recordar que sólo se recopilaron aquellas tecnologías *IoT* cuyo objetivo fuera el riego en el sector agrícola de pequeña escala, en una ventana de tiempo predeterminada–, lo cual restringe la posibilidad de realizar comparaciones directas con estudios anteriores y de construir referencias consolidadas en el campo.

En segundo lugar, aunque los instrumentos empleados permitieron captar percepciones relevantes de los actores implicados, no cuentan con una validación emocional estandarizada para los contextos culturales analizados, lo que podría afectar la generalización de los hallazgos. Esta validación emocional puede obtenerse de extensionistas agrícolas o directamente mediante un trabajo con la población objetivo en ambientes de co-creación.

Estas limitaciones no invalidan los resultados obtenidos, pero sí delimitan su alcance y ponen de manifiesto la necesidad de futuras investigaciones que incorporen enfoques ergonómicos más profundos y procesos de validación emocional adaptados a contextos socioculturales específicos, así como otras características con falencia identificada.

La Figura 7 presenta oportunidades de mejora en la implementación de características de la dimensión de manejo por parte del usuario –DMU, destacando áreas de interés asociada al estudio de experiencia de usuario y usabilidad tanto en el ámbito empresarial como en el académico, que permita generar herramientas e instrumentos de validación de prototipos, y establezca un marco común de desarrollo para que los PPAC tengan la posibilidad de articular estos prototipos en su entorno, y poder evidenciar los beneficios prometidos por la agricultura de precisión.

Agradecimientos

Agradecimiento al Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación de Colombia. Convocatoria No. 948-2024, “Convocatoria Orquídeas: Mujeres en la Ciencia 2024”, Fondo Nacional de Financiamiento para la Ciencia, la Tecnología y la Innovación Francisco José de Caldas, Contrato No. 112721-234-2024, Proyecto código SIG 109276 “SembrandoBits: Empoderando a la mujer agricultora mediante la transformación digital”.

ORCID ID

María Alexandra Espinosa Carreño https://orcid.org/0000-0003-1411-0828
Maria Fernanda Mantilla Arango https://orcid.org/0009-0002-7025-3559
Doris Amparo Barreto Osma https://orcid.org/0000-0002-4542-0944
Román Eduardo Sarmiento Porras https://orcid.org/0000-0002-8647-8659

Referencias

Ananthi, N., Divya, J., Divya, M., & Janani, V. (2017). IoT based smart soil monitoring system for agricultural production. *2017 IEEE Technological Innovations in ICT for Agriculture and Rural Development - TIAR, 07-08 April 2017, Chennai, India* (págs. 209 - 214). IEEE. https://doi.org/10.1109/TIAR.2017.8273717

Azeem, M. W., Tariq, A., Sheikh, F. J., Butt, M. A., Tariq, I., & Shahid, H. M. (2015). Cultural effects on metaphor design. En A. Marcus (Ed.), *Design, User Experience, and Usability: Design Discourse. Lecture Notes in Computer Science. 4th International Conference, DUXU 2015, Held as Part of HCI International 2015, Los Angeles, CA, USA, August 2-7, 2015, Proceedings, Part I. 9186*, págs. 113 - 121. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-20886-2_11

Badotra, S., Panda, S. N., Bath, K. S., Pattnaik, P. K., Rani, R., Tanwar, S., & Sundas, A. (2020). e-device for the protection of agricultural land from elephant attacks in Odisha: A review. En P. K. Pattnaik, R. Kumar, S. Pal, & S. N. Panda (Edits.), *IoT and analytics for agriculture. Studies in Big Data* (Vol. 63, págs. 69 – 86). Singapur: Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-13-9177-4_4

Cambra Baseca, C., Sendra, S., Lloret, J., & Tomas, J. (2019). A smart decision system for digital farming. *Agronomy, 9*(5), 1 - 19, Art. No. 216 . https://doi.org/10.3390/agronomy9050216

Cherukullapurath Mana, S. (2019). Contributing toward green IoT: An awareness-based approach. En M. Mittal, S. Tanwar, B. Agarwal, & L. M. Goyal (Edits.), *Energy conservation for IoT devices: Concepts, paradigms and solutions* (Vol. 206, págs. 309 – 329). Singapur: Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-13-7399-2_13

Čolaković, A., & Hadžialić, M. (2018). Internet of Things (IoT): A review of enabling technologies, challenges, and open research issues. *Computer Networks, 144*, 17 - 39. https://doi.org/10.1016/j.comnet.2018.07.017

Espinosa C., M. A., Pineda, J., Ortega, O., Jaime, A., Sarmiento, R., & Archibold Taylor, G. W. (2021). Trends, challenges and opportunities for IoT in smallholder agriculture sector: An evaluation from the perspective of good practices. En Á. Rocha, H. Adeli, G. Dzemyda, F. Moreira, & A. M. Ramalho Correia (Ed.), *Trends and Applications in Information Systems and Technologies. WorldCIST 2021. Advances in Intelligent Systems and Computing. 1365*, págs. 293 - 301. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-72657-7_28

Espinosa C., M. A., Romero R, E., Flórez G, L. Y., & Guerrero, C. D. (Abril de 2021). DANDELION: Propuesta metodológica para recopilación y análisis de información de artículos científicos. Un enfoque desde la bibliometría y la revisión sistemática de la literatura. *RISTI - Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação*(E28), 110 - 122. https://www.proquest.com/openview/e3b85a7260c758fd943bc4d5a0447f13/1?pq-origsite=gscholar&cbl=1006393

FAO, IFAD, UNICEF, WFP y WHO. (2018). *The State of Food Security and Nutrition in the World 2018. Building climate resilience for food security and nutrition. Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO.* Roma: FAO. https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/ca1354en

Guereña, A., Burgos, S., Fajardo, D., Mejía, M., Gómez, L., Matheu, M., & López Marín, D. (Mayo de 2017). *Radiografía de la desigualdad. Lo que nos dice el último censo agropecuario sobre la distribución de la tierra en Colombia.* Oxfam Internacional, Departamento de asuntos gubernamentales. Sitio web de oxfam.org. https://www-cdn.oxfam.org/s3fs-public/file_attachments/radiografia_de_la_desigualdad.pdf

Gutiérrez Padierna, L. P., Calle Velásquez, C. A., & Agudelo Viana, G. (2018). Política de transferencia tecnológica del sector agropecuario colombiano con enfoque territorial. *Lecturas de Economía, 89*, 199 – 219. https://doi.org/10.17533/udea.le.n89a07

Hernández-Salazar, J., Ramos-Fernández, J., Márquez-Vera, M., Pessel, N., & Balmat, J. (2017). Diseño y desarrollo de un sistema de telemetría para el internet de las cosas en la agricultura de precisión. *Revista de Simulación Computacional, 1*(1), 1 - 8. https://www.ecorfan.org/taiwan/research_journals/Simulacion_Computacional/vol1num1/Revista_de_Simulación_Computacional_V1_N1_1.pdf

Holzworth, D. P., Snow, V. O., Janssen, S. J., Athanasiadis, I. N., Donatelli, M., Hoogenboom, G., White, J. W., & Thorburn, P. J. (2015). Agricultural production systems modelling and software: Current status and future prospects. *Environmental Modelling & Software, 72*(1), 276 - 286. https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2014.12.013

IxDF. (19 de Septiembre de 2020). *Useful, usable, and used: Why they matter to designers*. (IxDF - Interaction Design Foundation) interaction-design.org website. https://www.interaction-design.org/literature/article/useful-usable-and-used-why-they-matter-to-designers

Lopez-Ridaura, S., Frelat, R., van Wijk, M. T., Valbuena, D., Krupnikd, T. J., & Jat, M. L. (2018). Climate smart agriculture, farm household typologies and food security: An ex-ante assessment from Eastern India. *Agricultural Systems, 159*, 57 - 68. https://doi.org/10.1016/j.agsy.2017.09.007

Martínez Pinzón, A. C., & Villamizar Calderón, K. J. (2020). *Framework conceptual para desarrollo de interfaces móviles en soluciones IoT que permitan apropiación tecnológica en zonas rurales aledañas al municipio de Bucaramanga desde la perspectiva de UX.* Trabajo de grado para optar por el título de ingeniero de sistemas, Universidad Autónoma de Bucaramanga - UNAB, Programa de ingeniería de sistemas, Facultad de ingeniería, Bucaramanga, Santander, Colombia. https://repository.unab.edu.co/handle/20.500.12749/12085

Mayorova, T., Domżał, Z., Gernego, I., & Dyba, O. (2019). *Management Theory and Studies for Rural Business and Infrastructure Development, 41*(1), 25 - 32. https://doi.org/10.15544/mts.2019.03

Mora Holguín,, H., Albis Salas, N., García, J. M., Zárate Rincón, A., Mejía, L. E., Portilla, D., & Rubiano, A. (2017). Usabilidad de TIC y consumo digital en el sector agropecuario colombiano. *ALTEC 2017, XVII Congreso Latino-Iberoamericano de Gestión Tecnológica, 16 AL 18 de Octubre de 2017*, (págs. 1-16). México. https://hdl.handle.net/20.500.13048/1566

Naresh, M., & Munaswamy, P. (Enero de 2019). Smart agriculture system using IoT technology. *International Journal of Recent Technology and Engineering - IJRTE, 7*(5). https://www.ijrte.org/wp-content/uploads/papers/v7i5/E1987017519.pdf

Narmilan, A. (2017). E-Agricultural concepts for improving productivity: A review. *Scholars Journal of Engineering and Technology, 5*(01), 11 - 17. https://doi.org/10.21276/sjet.2017.5.1.3

Nielsen, J. (1994). Enhancing the explanatory power of usability heuristics. En B. Adelson, S. T. Dumais , & J. Olson (Ed.), *CHI '94: Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, Boston, Massachusetts, USA* (págs. 152 - 158). New York, NY, USA: Association for Computing Machinery. https://doi.org/10.1145/191666.191729

Novák, J. Š., Masner, J., Vaněk, J., Šimek, P., & Hennyeyová, K. (Diciembre de 2019). User experience and usability in agriculture – Selected aspects for design systems. *AGRIS on-line Papers in Economics and Informatics, 11*(4), 75 - 83. https://doi.org/10.7160/aol.2019.110407

Nuvvula, J., Adiraju, S., Mubin, S., Bano, S., & Valisetty, V. R. (2017). Environmental smart agriculture monitoring system using internet of things. (M. Rajesh, & S. V. Manikanthan, Edits.) *International Journal of Pure and Applied Mathematics, 115*(6), 313 - 320.

OCDE y FAO. (2019). *OCDE-FAO Perspectivas Agrícolas 2019-2028. Enfoque especial: América Latina.* (U. A. (UACh), Trad.) Roma: OECD Publishing, París/Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). https://doi.org/10.1787/7b2e8ba3-es

Pattnaik, P. K., Kumar, R., Pal, S., & Panda, S. N. (Edits.). (2020). *IoT and analytics for agriculture* (Primera ed.). Singapur: Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-13-9177-4

Pivoto, D., Waquil, P. D., Talamini, E., Finocchio, C. P., Dalla Corte, V. F., & de Vargas Mores, G. (2018). Scientific development of smart farming technologies and their application in Brazil. *Information Processing in Agriculture, 5*(1), 21 - 32. https://doi.org/10.1016/j.inpa.2017.12.002

Rajeswari, S., Suthendran, K., & Rajakumar, K. (2018). A smart agricultural model by Integrating IoT, Mobile and cloud-based big data analytics. *International Journal of Pure and Applied Mathematics, 118*(8), 365 - 370. https://acadpubl.eu/jsi/2018-118-7-9/articles/8/50.pdf

Ramirez Izolan, P. L., Diniz Rossi, F., Hohemberger, R., Konzen, M. P., da Cunha Rodrigues, G., Rodrigues Saquette, L., Chaves Temp, D., Lorenzon, A. F., & Caggiani Luizelli, M. (2020). Low-cost fog computing platform for soil moisture management. *2020 International Conference on Information Networking - ICOIN, 07-10 January 2020, Barcelona, Spain* (págs. 499 - 504). IEEE. https://doi.org/10.1109/ICOIN48656.2020.9016572

Ramirez-Villegas, J., Salazar, M., Jarvis, A., & Navarro-Racines, C. E. (2012). A way forward on adaptation to climate change in Colombian agriculture: perspectives towards 2050. (M. Oppenheimer, Ed.) *Climatic Change, 115*(3-4), 611 – 628. https://doi.org/10.1007/s10584-012-0500-y

Ray, P. P. (2017). Internet of things for smart agriculture: Technologies, practices and future direction. *Journal of Ambient Intelligence and Smart Environments, 9*(4), 395 - 420. https://doi.org/10.3233/AIS-170440

Reghunadhan, R. (2020). Big data, climate smart agriculture and India–Africa relations: A social science perspective. En P. K. Pattnaik, R. Kumar, S. Pal, & S. N. Panda (Edits.), *IoT and Analytics for Agriculture. Studies in Big Data* (Vol. 63, págs. 113 - 137). Singapur: Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-13-9177-4_6

Rose, D. C., & Chilvers, J. (Diciembre de 2018). Agriculture 4.0: broadening responsible innovation in an era of smart farming. (S. J. Ramsden, Ed.) *Frontiers in Sustainable Food Systems, 2*, 1 - 7, Art. 87. https://doi.org/10.3389/fsufs.2018.00087

Satamraju, K. P., Shaik, K., & Vellanki, N. (2017). Rural Bridge: A novel system for smart and co-operative farming using IoT architecture. *2017 International Conference on Multimedia, Signal Processing and Communication Technologies - IMPACT, 24-26 November 2017, Aligarh, India* (págs. 22 - 26). IEEE. https://doi.org/10.1109/MSPCT.2017.8363966

Shamrat, F. M., Hossain, A., Roy, T., Adeeb Khan, M. A., Khater, A., & Rahman, M. T. (2021). IoT based smart automated agriculture and real time monitoring system. *2021 2nd International Conference on Smart Electronics and Communication - ICOSEC, 07-09 October 2021, Trichy, India* (págs. 47 - 53). IEEE. https://doi.org/10.1109/ICOSEC51865.2021.9591855

Sheikh, J. A., Dar, H. S., & Sheikh, F. J. (2014). Usability guidelines for designing knowledge base in rural areas. En A. Marcus (Ed.), *Design, User Experience, and Usability. User Experience Design for Everyday Life Applications and Services. DUXU 2014. Lecture Notes in Computer Science. Third International Conference, Heraklion, Crete, June 22-27, Proceedings, Part III. 8519*, págs. 462 - 469. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-07635-5_45

Smith, R., Turpin, M., & Herselman, M. (2019). Co-creating an ICT artefact with women in South Africa. En M. Baptista Nunes, P. Isaías, P. Powell, P. Ravesteijn, & G. Ongena (Ed.), *12th IADIS International Conference Information Systems 2019, Utrecht, Netherlands, 11-13 April*, (págs. 139 - 146). https://www.iadisportal.org/digital-library/co-creating-an-ict-artefact-with-women-in-south-africa

Springmann, M., Clark, M., Mason-D'Croz, D., Wiebe, K., Bodirsky, B. L., Lassaletta, L., de Vries, W., Vermeulen, S. J., Herrero, M., Carlson, K. M., Jonell, M., Troell, M., DeClerck, F., Gordon, L. J., Zurayk, R., Scarborough, P., Rayner, M., Loken, B., Fanzo, J., Godfray, H. C., . . . Willett , W. (10 de Octubre de 2018). Options for keeping the food system within environmental limits. *Nature, 562*, 519 - 525. https://doi.org/10.1038/s41586-018-0594-0

Talavera, J. M., Tobón, L. E., Gómez, J. A., Culman, M. A., Aranda, J. M., Parra, D. T., Quiroz, L. A., Hoyos, A., & Garreta, L. E. (Septiembre de 2017). Review of IoT applications in agro-industrial and environmental fields. *Computers and Electronics in Agriculture, 142, Parte A*, 283 - 297. https://doi.org/10.1016/j.compag.2017.09.015

Tendolkar, A., & Ramya, S. (2020). CareBro (personal farm assistant): An IoT based smart agriculture with edge computing. *Proceedings: 2020 Third International Conference on Multimedia Processing, Communication & Information Technology - MPCIT, 11 - 12 December 2020, Shivamogga, India* (págs. 97 - 102). IEEE. https://doi.org/10.1109/MPCIT51588.2020.9350481

Trigo, E. J., & Elverdin, P. (Junio de 2020). Los sistemas de investigación y transferencia de tecnología agropecuaria de América Latina y el Caribe en el marco de los nuevos escenarios de ciencia y tecnología. *Revista Compromiso Social. Revista de la UNAN - Managua, Extensión Universitaria, 1*(3), 116 - 127, Año 02. https://doi.org/10.5377/recoso.v2i3.13437

Vergara-Buitrago, P. A. (2018). Los saberes campesinos como estrategia de desarrollo rural en la Serranía de los Yariguíes (Santander, Colombia). *Anales de Geografía de la Universidad Complutense, 38*(2), 461 - 477. https://doi.org/10.5209/AGUC.62488

Westermann, O., Förch, W., Thornton, P., Körner, J., Cramer, L., & Campbell, B. (Septiembre de 2018). Scaling up agricultural interventions: Case studies of climate-smart agriculture. *Agricultural Systems, 165*, 283 - 293. https://doi.org/10.1016/j.agsy.2018.07.007

Yaakub, S., Joko Pranoto, W., Safitri Windiarti, I., & Priyanti, R. (Febrero de 2025). Transforming rural education with digital assessment tools: A case study of socrative in Sarolangun, Indonesia. *Jurnal Abdimas UM Jambi, 2*(1), 27 - 33. https://doi.org/10.53978/jaum.v2i1.525

Ziegler, S. (2021). *Habilidades digitales en la ruralidad: Un imperativo para reducir brechas en América Latina y el Caribe.* BID, IICA y Microsoft. IICA. https://blog.iica.int/sites/default/files/2021-08/BVE21030190e.pdf