



De la transferencia a la co-creación: protocolo de co-diseño comunitario en agricultura inteligente para el proyecto AgroHub (Magdalena, Colombia)

From transfer to co-creation: a community co-design protocol for smart agriculture in the AgroHub project (Magdalena, Colombia)

Sección PrePrint UEA
Vol. 2026. ep08–1208

| Recibido: 28/04/2026 |
| Aceptado: 03/08/2026 |
| Publicado: 03/08/2026 |

Antonio José Martínez Lengua¹, Pedro Fernández de Córdoba², Fernanda Peset², John Alexander Taborda¹, Miguel Iglesias Martínez², Antonia Ferrer-Sapena², Jose Luis Lobo Diaz¹

<https://doi.org/10.59410/PREPRINT-UEA-v2026ep08-1208>

Resumen

La incorporación de tecnologías de Inteligencia Artificial de las Cosas (IAoT) en contextos rurales enfrenta barreras estructurales del modelo tradicional de transferencia tecnológica descendente, que ignora las racionalidades socioculturales y los saberes locales de las comunidades beneficiarias. Persiste un vacío metodológico: no existen protocolos validados empíricamente para la co-creación comunitaria en proyectos agrícolas de IAoT en América Latina. Este trabajo presenta el diseño, la implementación y la validación de un protocolo de co-creación fundamentado en la Investigación Acción Participativa (IAP), desarrollado en el proyecto AgroHub (BPIN 2024000100047) en cuatro municipios del Magdalena, Colombia. El protocolo se estructuró en cuatro fases secuenciales y retroalimentadas —diagnóstico territorial, co-diseño tecnológico, implementación comunitaria y evaluación formativa— y se aplicó con 23 organizaciones comunitarias mediante dos instrumentos validados, el Índice de Apropiación Tecnológica (IAT) y el Índice de Participación Comunitaria (IPC), junto con cinco herramientas de mediación intercultural y un gradiente transferencia-co-creación de cuatro niveles inspirado en la escalera de participación de Arnstein. Los resultados evidencian avances sostenidos en ambos índices y muestran que los protocolos de co-creación estructurados constituyen una alternativa replicable para la innovación social en contextos rurales latinoamericanos con brecha digital significativa.

Palabras clave Abstract

IAoT; co-creación; comunidades rurales; protocolo metodológico; innovación social; apropiación tecnológica

The adoption of Artificial Intelligence of Things (AIoT) technologies in rural settings faces structural barriers rooted in traditional top-down technology transfer models that overlook the sociocultural rationales and local knowledge of beneficiary communities. A methodological gap persists: empirically validated protocols for community co-creation in agricultural AIoT projects remain scarce in Latin America. This paper presents the design, implementation, and validation of a co-creation protocol grounded in Participatory Action Research (PAR), developed within the AgroHub project (BPIN 2024000100047) in four municipalities of Magdalena, Colombia. The protocol was structured in four sequential and iterative phases —participatory territorial diagnosis, technological co-design, community implementation, and formative evaluation— and applied with 23 community organizations using two validated instruments, the Technology Appropriation Index (TAI) and the Community Participation Index (CPI), together with five intercultural mediation tools and a four-level transfer-to-co-creation gradient model inspired by Arnstein's ladder of participation. The results show sustained gains on both indices and indicate that structured co-creation protocols represent a replicable alternative for social innovation in Latin American rural contexts facing significant digital divides.

Keywords

AIoT; co-creation; rural communities; methodological protocol; social innovation; technology appropriation

Direcciones

¹Facultad de Ingeniería, Universidad del Magdalena, Carrera 32 #22-08, Santa Marta 470004, Magdalena, Colombia. Emails: amartinezl@unimagdalena.edu.co, jtaborda@unimagdalena.edu.co, jlobod@unimagdalena.edu.co

²Instituto Universitario de Matemática Pura y Aplicada, Universitat Politècnica de València, Camino de Vera s/n. 46022 Valencia, España. Emails: pfernandez@mat.upv.es, mpesetm@upv.es, miigmar@upv.es, anfersa@upv.es

Autor para la correspondencia Cómo citar

Antonio José Martínez Lengua. Universidad del Magdalena. Santa Marta, Colombia. Email: amartinezl@unimagdalena.edu.co

MARTÍNEZ LENGUA, Antonio José; FERNÁNDEZ DE CÓRDOBA, Pedro; PESET, Fernanda; ALEXANDER TABORDA, John; MARTÍNEZ, Miguel Iglesias; FERRER-SAPENA, Antonia; LOBO DIAZ, Jose Luis & , 2026. De la transferencia a la co-creación: protocolo de co-diseño comunitario en agricultura inteligente para el proyecto AgroHub (Magdalena, Colombia). PrePrint UEA. Vol. 2026. p. ep08–1208. <https://doi.org/10.59410/PREPRINT-UEA-v2026ep08-1208>

Editores Académicos

Amaury Pérez Martínez

Editorial

Editorial de la Universidad Estatal
Amazónica 2026

Copyright

Derechos de autor 2026 | PrePrint UEA.

Esta obra está bajo una licencia internacional Creative Commons Atribución 4.0.

Los autores del artículo autorizan a la RACYT a que este artículo sea compartido bajo las condiciones de la Licencia Creative Commons 4.0 (CC-BY 4.0).

1. Introducción

El avance acelerado de las tecnologías digitales ha generado expectativas significativas respecto a su capacidad para transformar sistemas agroalimentarios en regiones con altos índices de vulnerabilidad socioeconómica. En este escenario, la Inteligencia Artificial de las Cosas (IAoT) —convergencia operativa entre dispositivos conectados en red (IoT) y

algoritmos de aprendizaje automático— ha emergido como plataforma tecnológica de alto potencial para optimizar la gestión de cultivos, el monitoreo ambiental y la toma de decisiones en cadenas de valor agrícola (Wolfert et al. 2017; Muhammed et al. 2024). No obstante, la implementación de estas tecnologías en comunidades rurales latinoamericanas reproduce sistemáticamente patrones de exclusión propios del modelo de transferencia tecnológica descendente (top-

down), que prioriza la adopción de artefactos técnicos sin considerar las racionalidades socioculturales, los saberes locales ni las capacidades organizativas de las poblaciones destinatarias (Chambers 1994; Scoones et al. 2009; Klerkx et al. 2012).

Colombia presenta una brecha digital rural-urbana significativa: en 2022, el 67,5 % de los hogares urbanos contaba con conexión a internet frente al 32,2 % de los hogares en centros poblados y zonas rurales dispersas —una diferencia de 35,3 puntos porcentuales—, y el uso individual de internet alcanzó el 78,9 % en zonas urbanas frente al 52,6 % en zonas rurales (Departamento Administrativo Nacional de Estadística 2023). Esta brecha se agudiza en departamentos periféricos como el Magdalena, donde la economía campesina depende de cultivos tradicionales —plátano, maíz, yuca y mango— y donde, de acuerdo con el diagnóstico territorial de campo realizado en la Fase I del protocolo (véanse Metodología 2.2 y Resultados 3.1), la innovación tecnológica ha tenido una penetración limitada. En este contexto, la incorporación de sistemas IAoT bajo enfoques de transferencia unidireccional no solo reduce la efectividad técnica de las intervenciones, sino que puede profundizar asimetrías de poder y generar resistencia comunitaria frente a la tecnología (Klerkx et al. 2012; Scoones et al. 2009).

La innovación social, entendida como la generación de nuevas soluciones que responden simultáneamente a necesidades colectivas y crean relaciones y capacidades en las comunidades (Murray et al. 2010; Howaldt et al. 2010), ofrece un marco alternativo para la incorporación de tecnologías en contextos rurales. Los enfoques de co-creación —derivados de la tradición de la Investigación Acción Participativa (IAP) y de los modelos de ciencia ciudadana— postulan que las comunidades no son receptoras pasivas de conocimiento técnico, sino agentes activos en la definición de problemas, el diseño de soluciones y la apropiación territorial del conocimiento (Arnstein 1969; Fals-Borda 1987; Reason et al. 2001). Esta perspectiva es coherente con la Política Nacional de Ciencia Abierta del Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación de Colombia, que incorpora la ciencia ciudadana y la apropiación social del conocimiento como componentes estratégicos (Ministerio de Ciencia Tecnología e Innovación 2022), y con el eje de apropiación social del conocimiento e inclusión territorial del Documento CONPES 4069, que actualizó la política nacional de ciencia, tecnología e innovación del país (Departamento Nacional de Planeación 2021).

Sin embargo, a pesar de la abundante literatura conceptual sobre participación y co-creación en innovación rural, persiste un vacío metodológico notable: no existen protocolos validados empíricamente que operacionalicen el tránsito desde modelos transmisivos hacia dinámicas genuinas de co-creación en proyectos de IAoT, especialmente en regiones latinoamericanas con condiciones de alta vulnerabilidad digital y riqueza de saberes agroecológicos locales. La mayoría de los estudios disponibles documentan experiencias de participación comunitaria de forma retrospectiva o descriptiva, sin ofrecer instrumentos de medición reproducibles ni modelos de gradiente que permitan evaluar el nivel real de apropiación alcanzado (Chambers 1997; Tsan et al. 2019).

El proyecto AgroHub (BPIN 2024000100047), ejecutado en

cuatro municipios del departamento del Magdalena —Algarrobo, Fundación, Aracataca y El Retén— se configura como un laboratorio de innovación social que articula tres ejes estratégicos: la transferencia tecnológica de sistemas IAoT para la agricultura de precisión, el fortalecimiento de capacidades comunitarias para la gestión agroproductiva, y la generación de evidencia para la toma de decisiones en política pública territorial. En este marco surgió la necesidad de diseñar un protocolo metodológico explícito que garantizara que la participación comunitaria no fuera meramente instrumental, sino genuinamente co-creativa y orientada hacia la apropiación social del conocimiento (COLCIENCIAS. Grupo Apropiación Social del Conocimiento 2010).

El presente trabajo tuvo como objetivo diseñar, implementar y validar un protocolo metodológico de co-creación para la vinculación de comunidades rurales en proyectos de IAoT, tomando como caso de estudio el proyecto AgroHub en el Magdalena. La hipótesis sostuvo que la aplicación de un protocolo estructurado de co-creación, anclado en metodologías participativas y adaptado a condiciones territoriales específicas, incrementa significativamente los índices de apropiación tecnológica y participación comunitaria respecto a los modelos tradicionales de transferencia unidireccional.

2. Materiales y Métodos

2.1 Diseño de investigación

Se adoptó un diseño de Investigación Acción Participativa (IAP) con enfoque mixto (cuantitativo-cualitativo), de carácter descriptivo-correlacional y alcance transformativo (Kemmis et al. 2014). La IAP permitió integrar ciclos iterativos de planificación, acción, observación y reflexión con las comunidades participantes, en coherencia con los principios de co-creación del conocimiento (Fals-Borda 1987; Reason et al. 2001). El componente cuantitativo posibilitó la medición de indicadores de apropiación tecnológica y participación comunitaria; el componente cualitativo proveyó profundidad interpretativa sobre los procesos de negociación sociocultural en la adopción de sistemas IAoT.

2.2 Área de estudio y selección de participantes

El estudio se desarrolló en cuatro municipios del departamento del Magdalena, Colombia: Algarrobo (10°52'N, 74°22'O), Fundación (10°31'N, 74°11'O), Aracataca (10°35'N, 74°11'O) y El Retén (10°36'N, 74°16'O). Estos municipios presentan economías agroproductivas basadas en cultivos de plátano, maíz, yuca y mango, con índices de necesidades básicas insatisfechas (NBI) que, de acuerdo con el diagnóstico territorial de campo realizado en la Fase I del protocolo (cartografía social, entrevistas semiestructuradas y recorridos territoriales, agosto-septiembre de 2024; véase Resultados 3.1), se ubican entre los más altos del departamento del Magdalena. La selección respondió a criterios de focalización: presencia de organizaciones comunitarias de base agrícola, condiciones mínimas de conectividad para implementación piloto IoT, y disposición institucional de las alcaldías municipales.

Se identificaron y vincularon 23 organizaciones en el área de intervención, incluyendo asociaciones de productores, grupos de mujeres rurales, cooperativas agropecuarias y comunida-

des de práctica agrícola distribuidas en los cuatro municipios priorizados (Tabla 1). La selección garantizó representación de distintos perfiles productivos y organizativos, en coherencia con los principios de muestreo intencional de la IAP (Reason et al. 2001).

Tabla 1 | Distribución de organizaciones comunitarias por municipio.

Municipio	Perfil organizativo
Algarrobo	Asociaciones de pequeños productores hortícolas y grupos de mujeres rurales.
Fundación	Cooperativas agropecuarias y comunidades de práctica agrícola con experiencia en proyectos institucionales previos.
Aracataca	Mayor densidad organizativa; presencia de cabildos indígenas y asociaciones campesinas con saberes agroecológicos locales.
El Retén	Asociaciones de productores y grupos juveniles emprendedores en agricultura familiar.

Fuente: elaboración propia a partir del diagnóstico territorial (Fase I).

2.3 Diseño del protocolo metodológico

El protocolo de co-creación se diseñó mediante un proceso iterativo de seis meses (agosto de 2024 – enero de 2025) que incluyó: revisión sistemática de literatura (n = 47 fuentes), entrevistas exploratorias con líderes comunitarios (n = 18), un taller de co-diseño con el equipo técnico interdisciplinario (n = 12 especialistas) y validación mediante panel Delphi en dos rondas (n = 9), con un coeficiente de validez de contenido satisfactorio (Hernández-Nieto, 2022). El protocolo quedó estructurado en cuatro fases secuenciales y retroalimentadas (Figura 1).

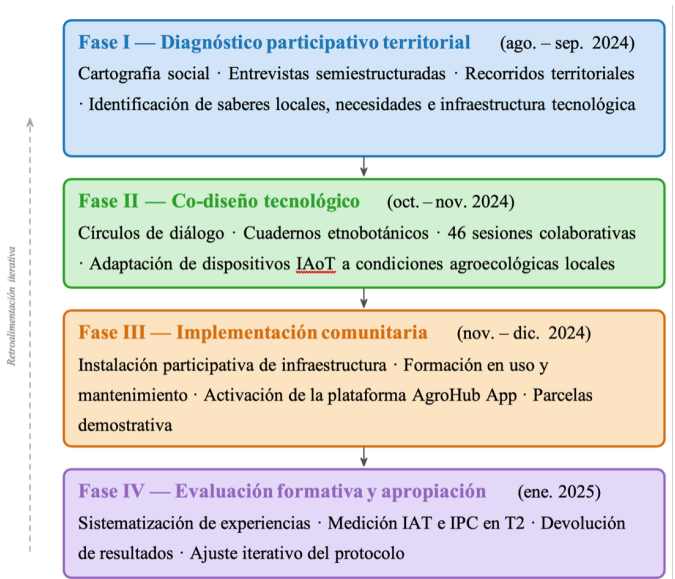


Figura 1 | Protocolo de co-creación en cuatro fases del proyecto AgroHub. La flecha discontinua indica retroalimentación iterativa entre fases. Fuente: elaboración propia.

2.4 Herramientas de apropiación del conocimiento

Se emplearon cinco herramientas adaptadas al contexto rural del Magdalena, en coherencia con los principios de apropiación social del conocimiento (COLCIENCIAS. Grupo Apropiación Social del Conocimiento 2010): (1) Cartografía social: representación participativa del territorio agroproductivo en sesiones de 3 a 4 horas; (2) Círculos de diálogo: espacios quincenales de deliberación sobre prioridades tecnológicas y gobernanza comunitaria del sistema IAoT; (3)

Cuadernos etnobotánicos: registro del conocimiento agroecológico local, diligenciados por 78 agricultores líderes y validados para calibrar los modelos predictivos; (4) Parcelas demostrativas: espacios físicos de experimentación con monitoreo compartido entre técnicos y agricultores; (5) Plataforma AgroHub App: aplicación móvil con interfaz simplificada para registro de observaciones fenológicas y alertas climáticas que retroalimenta los algoritmos del sistema IAoT.

2.5 Instrumentos de medición

Se aplicaron dos instrumentos cuantitativos contruidos y validados para el proyecto. El Índice de Apropiación Tecnológica (IAT) consta de 18 ítems en escala Likert de cinco puntos (1 = ninguna apropiación; 5 = apropiación plena), organizados en tres dimensiones: apropiación cognitiva, apropiación operativa y apropiación social. El diseño del instrumento se fundamentó en marcos de apropiación tecnológica adaptados al contexto rural (Tsan et al. 2019; von Hippel 2005).

El Índice de Participación Comunitaria (IPC) consta de 12 ítems en escala Likert de cinco puntos que evalúan cuatro niveles de participación —informativa, consultiva, colaborativa y cogestora—, siguiendo la escalera de participación de Arnstein (1969) y los enfoques de extensión rural participativa (Chambers 1997).

Ambos instrumentos se aplicaron en tres momentos: línea de base (T0, agosto de 2024), seguimiento (T1, noviembre de 2024) y evaluación final (T2, enero de 2025).

2.6 Análisis de datos

Los datos cuantitativos se analizaron con estadística descriptiva e inferencial en IBM SPSS Statistics v.26. Confirmada la distribución no normal (prueba de Shapiro-Wilk, $p < 0,05$), se utilizó la prueba de Wilcoxon para muestras relacionadas (comparación T0 vs. T2). Los datos cualitativos se analizaron mediante análisis temático inductivo-deductivo con Atlas.ti v.23.

2.7 Consideraciones éticas

Todos los participantes firmaron consentimiento informado. La investigación se adhirió a los principios de la Resolución 8430 de 1993 del Ministerio de Salud de Colombia y a los principios CARE para la gobernanza de datos comunitarios (Carroll et al. 2020).

3. Resultados y discusión

3.1 Perfil socioproductivo de las comunidades (Fase I)

El diagnóstico participativo (agosto-septiembre 2024) caracterizó el perfil socioproductivo de las 23 organizaciones mediante cartografía social, entrevistas semiestructuradas y recorridos territoriales. El perfil predominante corresponde a pequeños productores con economías familiares diversificadas —horticultura, producción de plátano, pesca artesanal y procesamiento en cadena corta—, con niveles de escolaridad heterogéneos y una estructura etaria que combina productores experimentados con jóvenes emprendedores. Esta caracterización es consistente con los perfiles socioproductivos documentados para el Magdalena por AGROSAVIA (2023) en su balance social institucional.

La cartografía social identificó como principales limitantes agroproductivas la variabilidad climática, el acceso restringido a mercados y la escasa asistencia técnica oportuna. En materia de infraestructura tecnológica, se constató una conectividad limitada e intermitente, lo que orientó el diseño de la arquitectura IAoT del proyecto hacia dispositivos con operación offline y sincronización periódica mediante Protocolos de Baja Potencia (LPWAN).

Los círculos de diálogo de la Fase I evidenciaron una actitud inicial predominantemente instrumental hacia la tecnología, concebida como un recurso externo provisto por instituciones más que como un bien apropiable colectivamente. Este hallazgo confirma la persistencia de «mentalidades receptoras» en comunidades con larga historia de intervenciones de extensión unidireccional (Scoones et al. 2009), y resalta la necesidad de protocolos explícitos de co-creación como condición previa al despliegue tecnológico.

3.2 Co-diseño tecnológico y negociación de saberes (Fase II)

Durante las 46 sesiones de co-diseño (octubre-noviembre 2024), los aportes comunitarios al diseño tecnológico incluyeron la incorporación de variedades locales en los algoritmos de predicción de rendimiento, validadas por triangulación con literatura agronómica regional; la adaptación del calendario de alertas climáticas a los ciclos de siembra según indicadores biofenológicos propios de los agricultores mayores; y la definición de umbrales de humedad del suelo basados en señales biológicas locales, integradas como variables de calibración secundaria para los sensores IoT.

El análisis temático identificó tres tipos de conflicto epistémico recurrentes: (1) discrepancias en la explicación causal de fenómenos climáticos; (2) diferencias en los lenguajes de comunicación del riesgo agroproductivo; y (3) resistencia a la automatización de decisiones consideradas situadas y artesanales. Estas tensiones se gestionaron mediante protocolos de diálogo intercultural que reconocieron explícitamente la complementariedad entre ambos sistemas de conocimiento, en línea con la ecología de saberes de Sousa Santos (2009) y los enfoques de extensión rural participativa (Chambers 1997).

La aplicación del IPC al término de la Fase II mostró una tendencia de avance desde niveles informativos-consultivos hacia niveles colaborativos, coherente con lo documentado en intervenciones de co-diseño participativo agrícola en contextos rurales de África subsahariana (Tsan et al. 2019) y en los enfoques de extensión rural participativa (Chambers 1997). Este desplazamiento refleja el efecto de los espacios formales de deliberación como mecanismos de movilización de la agencia comunitaria.

3.3 Apropiación tecnológica comunitaria (Fases III y IV)

La instalación participativa de la infraestructura IAoT involucró activamente a miembros de las comunidades en tareas de montaje, calibración y apropiación operativa de los dispositivos. La plataforma AgroHub App fue adoptada como espacio de registro de observaciones agronómicas y de comunicación interpredial durante el período de operación piloto, evidenciando una apropiación funcional coherente

con los principios de la tecnología centrada en el usuario (von Hippel 2005).

La aplicación del IAT al cierre (T2) permitió evidenciar avances en las tres dimensiones del instrumento —cognitiva, operativa y social—, con la apropiación social mostrando el mayor desplazamiento relativo, lo que refleja el peso de los mecanismos de co-diseño en la construcción de sentido colectivo sobre la tecnología. Este patrón es coherente con los modelos de apropiación tecnológica escalonada documentados en contextos rurales (von Hippel 2005; Tsan et al. 2019).

3.4 El gradiente transferencia-co-creación

Los resultados permitieron operacionalizar un modelo de gradiente de cuatro niveles para describir la transición desde la transferencia tecnológica hacia la co-creación genuina (Figura 2). Este modelo constituye el aporte conceptual central del presente trabajo.

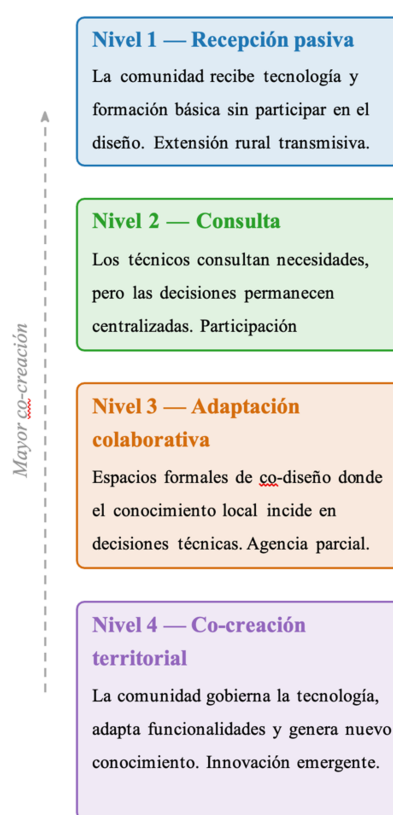


Figura 2 | Gradiente transferencia-co-creación: modelo analítico de cuatro niveles para evaluar el grado de participación comunitaria en proyectos de IAoT. Elaboración propia, basado en Arnstein (1969) y Chambers (1994).

La evaluación del gradiente mostró que la mayoría de las organizaciones inició en los Niveles 1 o 2 (recepción pasiva y consulta), y que al cierre del proyecto una parte significativa había avanzado hacia el Nivel 3 (adaptación colaborativa), con un grupo menor alcanzando el Nivel 4 (co-creación territorial). El avance al Nivel 4 implica rupturas epistemológicas profundas que requieren tiempo, confianza institucional y reconocimiento del conocimiento local como factor de innovación (Chambers 1997; Agrawal 1995)

3.5 Usos emergentes y apropiación creativa

El análisis cualitativo de los registros de la AgroHub App reveló que los agricultores la utilizaron no solo para monitoreo

individual, sino como espacio de comunicación e intercambio de conocimientos entre comunidades de distintos municipios —función no prevista en el diseño original—. Este fenómeno es coherente con el concepto de «innovación de usuario» de de (von Hippel 2005): en contextos de alta necesidad, los usuarios rurales reconfiguran los artefactos tecnológicos según sus propias lógicas relacionales y productivas.

3.6 Variaciones territoriales y factores mediadores

La comparación intermunicipal sugiere que la densidad organizativa preexistente y la experiencia en proyectos institucionales anteriores actuaron como factores mediadores del proceso de co-creación, con diferencias observables entre municipios. Esto apunta al capital social comunitario como variable clave en la efectividad de los protocolos participativos participativos (Putnam 2000; Ostrom 1990), con implicaciones directas para la priorización territorial en futuros despliegues del protocolo.

3.7 Experiencias y limitaciones

La experiencia del proyecto AgroHub ofrece evidencia sobre la viabilidad de un protocolo de co-creación como marco de vinculación comunitaria en proyectos de IAoT en contextos rurales latinoamericanos. La dirección de los cambios observados en el IAT y el IPC es coherente con lo reportado por Tsan et al. (2019) para la digitalización agrícola en África subsahariana, quienes documentaron que la participación activa en el diseño de tecnologías agrícolas mejora la adopción respecto a modelos pasivos; si bien el contexto africano no es directamente extrapolable al latinoamericano, la convergencia de dirección entre ambos hallazgos sugiere que la estructura en cuatro fases potencia los efectos participativos más allá de las intervenciones no protocolizadas.

La participación femenina observada en la muestra, notable especialmente en Aracataca, es atribuible a las herramientas que valorizan formas de conocimiento en las cuales las mujeres rurales tienen alta competencia reconocida (AGROSAVIA, 2023). El diseño del estudio no incluyó un grupo de comparación externo, por lo que este hallazgo debe entenderse como una observación propia del proyecto y no como una comparación validada frente a promedios documentados de programas convencionales de extensión agropecuaria; se recomienda contrastarlo en estudios futuros con líneas base específicas.

Los conflictos epistémicos registrados en el co-diseño ilustran las limitaciones de los enfoques tecnocéntricos en IAoT rural. La IA presupone modelos de causalidad que pueden no coincidir con las epistemologías campesinas (AGRAWAL, 1995). La gestión explícita mediante protocolos de diálogo intercultural emerge como condición necesaria —aunque no suficiente— para la co-creación efectiva (de Sousa Santos 2009).

Una limitación relevante es el corto período de seguimiento (5 meses), que no permite evaluar la sostenibilidad de los procesos de co-creación tras la finalización del acompañamiento institucional. Se requieren estudios longitudinales de al menos 18–24 meses. Adicionalmente, el estudio se circunscribió a cuatro municipios de un solo departamento, lo que restringe la generalización directa a otros contextos rurales latinoamericanos con diferentes condiciones socio-

ecológicas y culturales.

4. Conclusiones

El protocolo metodológico de co-creación diseñado, implementado y validado en el proyecto AgroHub demostró ser una estrategia efectiva para transitar desde modelos transmisivos de transferencia tecnológica hacia dinámicas genuinas de co-creación comunitaria en proyectos de IAoT, en el contexto rural del Magdalena, Colombia. Su principal aporte metodológico es un protocolo estructurado en cuatro fases secuenciales y retroalimentadas, sustentado en dos instrumentos validados —el Índice de Apropiación Tecnológica (IAT) y el Índice de Participación Comunitaria (IPC)— y en cinco herramientas de mediación intercultural adaptadas al contexto agroecológico local. Su validación mediante panel Delphi en dos rondas le confiere un rigor que trasciende la simple sistematización de experiencias y lo posiciona como un instrumento replicable en contextos rurales latinoamericanos con vulnerabilidad digital y riqueza de saberes agroecológicos similares. En el plano conceptual, el estudio propone el gradiente transferencia-co-creación como herramienta analítica de cuatro niveles para evaluar el grado real de participación comunitaria en proyectos tecnológicos, ampliando la escalera de participación con la dimensión de apropiación social del conocimiento y aportando una base empírica medible a un debate hasta ahora predominantemente normativo.

En el plano práctico, la integración de saberes locales en el diseño de los sistemas IAoT, mediada por protocolos explícitos de diálogo intercultural, mejoró la adopción tecnológica respecto a la línea de base registrada antes de la implementación del protocolo (T0, agosto de 2024) y propició innovaciones emergentes —como el uso interpredial no previsto de la aplicación AgroHub App— con potencial de escalamiento territorial. La participación femenina observada, notable en Aracataca, sugiere un efecto de equidad diferencial atribuible a las herramientas de mediación intercultural del protocolo, coherente con las formas de conocimiento en que las mujeres rurales tienen alta competencia reconocida; esta observación, al no contar con un grupo de comparación externo, debe entenderse como un hallazgo propio del proyecto que amerita validación en estudios futuros frente a líneas base de programas convencionales de extensión agropecuaria, y no como una comparación ya establecida.

El estudio tiene limitaciones que deben considerarse en la interpretación de sus resultados. El seguimiento de solo cinco meses no permite evaluar la sostenibilidad de la co-creación tras el cierre del acompañamiento institucional, y el alcance geográfico —cuatro municipios de un único departamento— restringe la generalización a otros contextos rurales con condiciones socioecológicas distintas. La ausencia de un grupo de control formal, además, impide aislar con precisión el efecto del protocolo frente a otros factores contextuales concurrentes. Estas limitaciones sugieren líneas futuras de investigación: estudios longitudinales de 18 a 24 meses sobre la sostenibilidad de la apropiación tecnológica; la réplica del protocolo en otras regiones latinoamericanas con perfiles culturales y productivos diversos para probar su transferibilidad; modelos predictivos que identifiquen, antes

de intervenir, los factores de capital social que potencian o limitan la co-creación; y la exploración del impacto económico medible de la IAoT en los sistemas agroproductivos participantes a mediano plazo.

En síntesis, la transición de la transferencia a la co-creación no es un evento técnico puntual, sino un proceso sociocul-

tural que exige tiempo, metodologías explícitas y el reconocimiento genuino del conocimiento campesino como factor constitutivo de la innovación; la experiencia de AgroHub en el Magdalena demuestra que esta transición es posible, medible y replicable en los sistemas regionales de innovación agropecuaria de Colombia.

Agradecimientos

Los autores agradecen la participación comprometida de las 23 organizaciones comunitarias y sus integrantes vinculados al proyecto AgroHub en los cuatro municipios del Magdalena. Se agradece igualmente a las alcaldías municipales de Algarrobo, Fundación, Aracataca y El Retén por su respaldo institucional.

Financiamiento

El proyecto AgroHub (BPIN 2024000100047) recibió financiamiento principal del Sistema General de Regalías (SGR) a través del Fondo de Ciencia, Tecnología e Innovación del Gobierno de Colombia. El proyecto contó adicionalmente con el apoyo de la Fundación Bancolombia como aliado del sector privado, y con la participación institucional de la Universidad del Magdalena y otras organizaciones aliadas en la ejecución, gestión y acompañamiento técnico. Los autores declaran que los financiadores y aliados no tuvieron influencia en el diseño del estudio, la recolección de datos, el análisis ni la redacción del manuscrito. Los autores agradecen el apoyo recibido de la Generalitat Valenciana (España) a través del proyecto PROMETEO CIPROM/2023/32.

Contribuciones de los autores

Antonio José Martínez Lengua: Conceptualización; Metodología; Investigación; Curación de datos; Redacción – borrador original; Supervisión; Administración del proyecto.

Pedro Fernández de Córdoba: Conceptualización; Supervisión; Redacción – revisión y edición.

Fernanda Peset: Curación de datos; Investigación; Redacción – revisión y edición.

John Alexander Taborda: Metodología; Investigación; Análisis formal; Validación; Redacción – revisión y edición.

Miguel Iglesias Martínez: Metodología; Validación; Supervisión; Redacción – revisión y edición.

Antonia Ferrer-Sapena: Conceptualización; Supervisión; Redacción – revisión y edición.

Jose Luis Lobo Diaz: Visualización; Redacción – revisión y edición.

: .

Todos los autores aprobaron la versión enviada y editada.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflictos de interés.

Disponibilidad de datos

Los datos de acceso restringido que sustentan los resultados están disponibles bajo solicitud justificada al autor para correspondencia, conforme a los acuerdos de confidencialidad establecidos con las comunidades participantes.

5. Referencias

AGRAWAL, Arun, 1995. Dismantling the Divide Between Indigenous and Scientific Knowledge. Development and Change. Online. 22 July 1995. Vol. 26, no. 3, p. 413–439. DOI: 10.1111/j.1467-7660.1995.tb00560.x. Available from <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1467-7660.1995.tb00560.x>

AGROSAVIA, 2023. Balance social 2022. . Online. 2023. Available from <https://repository.agrosavia.co/items/ef93911a-a8cd-4162-be6c-368edc3bf966> [Accessed 30 July 2026].

ARNSTEIN, Sherry R., 1969. A Ladder Of Citizen Participation. Journal of the American Institute of Planners. Online. July 1969. Vol. 35, no. 4, p. 216–224. DOI: 10.1080/01944366908977225. Available from <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/01944366908977225>

CARROLL, Stephanie Russo, GARBA, Ibrahim, FIGUEROA-RODRÍGUEZ, Oscar L., HOLBROOK, Jarita, LOVETT, Raymond, MATERECHERA, Si-meon, PARSONS, Mark, RASEROKA, Kay, RODRIGUEZ-LONEBEAR, Desi, ROWE, Robyn, SARA, Rodrigo, WALKER, Jennifer D., ANDERSON, Jane and HUDSON, Maui, 2020. The CARE Principles for Indigenous Data Governance. Data Science Journal. Online. 4 November 2020. Vol. 19. DOI: 10.5334/dsj-2020-043. Available from <http://datascience.codata.org/articles/10.5334/dsj-2020-043/>.

CHAMBERS, Robert, 1994. The origins and practice of participatory rural appraisal. World Development. Online. July 1994. Vol. 22, no. 7, p.

953–969. DOI: 10.1016/0305-750X(94)90141-4. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/0305750X94901414>.

CHAMBERS, Robert, 1997. Whose Reality Counts? Putting the First Last. London, UK: Intermediate Technology Publications.

COLCIENCIAS. GRUPO APROPIACIÓN SOCIAL DEL CONOCIMIENTO, 2010. Estrategia Nacional de Apropiación Social de la Ciencia, la Tecnología y la Innovación. . Online. 2010. Available from <https://repositorio.minciencias.gov.co/entities/publication/407dc859-268a-4941-a4df-fcaaec037b9a> [Accessed 30 July 2026].

DE SOUSA SANTOS, Boaventura, 2009. A Non-Occidental West? Theory, Culture & Society. Online. 15 December 2009. Vol. 26, no. 7–8, p. 103–125. DOI: 10.1177/0263276409348079. Available from <https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/0263276409348079>.

DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO NACIONAL DE ESTADÍSTICA, 2023. Encuesta de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones en Hogares (TIC Hogares) 2022 – Boletín técnico. . Online. 2023. Available from <https://www.dane.gov.co/files/operaciones/TICH/bol-TICH-2023.pdf> [Accessed 2 August 2026].

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PLANEACIÓN, 2021. Política de innovación para el desarrollo productivo agropecuario y rural. CONPES 4069. . Online. 2021. Available from <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Conpes/Econ/C3/B3micos/4069.pdf> [Accessed 30 July 2026].

FALS-BORDA, Orlando, 1987. The Application of Participatory Action-Research in Latin America. *International Sociology*. Online. 1 December 1987. Vol. 2, no. 4, p. 329–347. DOI: 10.1177/026858098700200401. Available from <https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/026858098700200401>.

HERNÁNDEZ-NIETO, Rafael, 2022. Contributions to Statistical Analysis. South Carolina, USA: Booksurge Publishing. ISBN 9781588987150.

HOWALDT, Jürgen and SCHWARZ, Michael, 2010. Social Innovation: Concepts, Research Fields and International Trends. Online. Germany. Available from https://sfs.sowi.tu-dortmund.de/storages/sfs-sowi/r/Publikationen/Soziale_Innovation_Publikationen/Social_Innovation_Concepts_Research_Fields_and_Trends.pdf [Accessed 30 July 2026].

KEMMIS, Stephen, MCTAGGART, Robin and NIXON, Rhonda, 2014. The Action Research Planner. Online. Singapore: Springer Singapore. ISBN 978-981-4560-66-5. Available from <https://link.springer.com/10.1007/978-981-4560-67-2>.

KLERKX, Laurens, VAN MIERLO, Barbara and LEEUWIS, Cees, 2012. Evolution of systems approaches to agricultural innovation: concepts, analysis and interventions. In: *Farming Systems Research into the 21st Century: The New Dynamic*. Online. Dordrecht: Springer Netherlands. p. 457–483. Available from https://link.springer.com/10.1007/978-94-007-4503-2_20.

MINISTERIO DE CIENCIA TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN, 2022. Política Nacional de Ciencia Abierta 2022-2031. . Online. 2022. Available from https://minciencias.gov.co/sites/default/files/politica_nacional_de_ciencia_abierta_-2022_-_version_aprobada.pdf [Accessed 30 July 2026].

MUHAMMED, Dalhatu, AHVAR, Ehsan, AHVAR, Shohreh, TROCAN, Maria, MONTPETIT, Marie-José and EHSANI, Reza, 2024. Artificial Intelligence of Things (AIoT) for smart agriculture: A review of architectures, technologies and solutions. *Journal of Network and Computer Applications*.

Online. August 2024. Vol. 228, p. 103905. DOI: 10.1016/j.jnca.2024.103905. Available from <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1084804524000821>.

MURRAY, Robin, CAULIER-GRICE, Julie and MULGAN, Geoff, 2010. The Open Book of Social Innovation. Online. London, UK: Young Foundation . Available from <https://youngfoundation.org/wp-content/uploads/2012/10/The-Open-Book-of-Social-Innovationg.pdf> [Accessed 5 July 2026].

OSTROM, Elinor, 1990. Governing the Commons: The Evolution of Institutions for Collective Action. Online. Cambridge, UK: Cambridge University Press. Available from https://www.actu-environnement.com/media/pdf/ostrom_1990.pdf [Accessed 5 July 2026].

PUTNAM, Robert D., 2000. Bowling Alone: The Collapse and Revival of American Community. New York, USA: Simon & Schuster.

REASON, Peter and BRADBURY, Hilary, 2001. The SAGE Handbook of Action Research: Participative Inquiry and Practice. Londos, UK: SAGE.

SCOONES, Ian and THOMPSON, John, 2009. Farmer First Revisited. Online. PRACTICAL ACTION PUBLISHING. ISBN 9781780440156. Available from <https://practicalactionpublishing.com/book/707/farmer-first-revisited>.

TSAN, Michael, TOTAPALLY, Swetha, HAILU, Michael and ADDOM, Benjamin K, 2019. The digitalisation of African agriculture report 2018-2019: Executive summary. . Online. 2019. Available from <https://cgspace.cgiar.org/items/84281190-5431-4abe-b606-4c1e13498a36> [Accessed 30 July 2026].

VON HIPPEL, Eric, 2005. Democratizing innovation. Cambridge. USA: MIT Press.

WOLFERT, Sjaak, GE, Lan, VERDOUW, Cor and BOGAARDT, Marc-Jeroen, 2017. Big Data in Smart Farming – A review. *Agricultural Systems*. Online. May 2017. Vol. 153, p. 69–80. DOI: 10.1016/j.agsy.2017.01.023. Available from <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0308521X16303754>.