

Factores que influyen en la adopción de biodigestores de pequeña escala en zonas rurales: una revisión

Artículo largo



Edwin Alfonso Zelaya-Benavidez^{1,2} ; Deneb Peredo-Mancilla^{2*} 

¹Universidad Autónoma Comunal de Oaxaca, Centro Universitario Comunal de San Andrés Solaga, Oaxaca, México.

²Universidad Autónoma de Baja California Sur, DAIP, La Paz, Baja California Sur, México

*dperedo@uabcs.mx

Resumen

A pesar de múltiples esfuerzos hechos por medio de programas de diseminación de biogás, la adopción de biodigestores de pequeña escala en diversas regiones del mundo ha sido más lenta de lo esperado. El objetivo de este artículo es describir los principales factores que influyen en la adopción de biodigestores de pequeña escala en zonas rurales. Se hizo una revisión de artículos científicos en la base de datos Science Direct. Los resultados mostraron que factores de tipo financiero, técnico, socioeconómicos y culturales, e institucionales influyen positiva o negativamente de acuerdo con la intensidad y la dirección de su incremento. El acceso a créditos, capacitación, desarrollo de habilidades, la eficiencia del biodigestor para suplir las necesidades de las familias, el nivel educativo y de ingresos, así como la participación de las mujeres en la toma de decisiones y la presencia de políticas públicas de apoyo para adquirir la tecnología influyen de manera positiva a medida que éstas aumentan su valor y/o presencia. Mayor tamaño del biodigestor, baja calidad de materiales de construcción, ausencia de acompañamiento técnico y costos elevados son barreras que limitan la adopción de esta tecnología en las zonas rurales.

Palabras clave:

Biogás; Transferencia de tecnología; Seguridad energética; Difusión de innovaciones.

A review of the main factors that influence the adoption of small-scale biodigesters in rural areas

Abstract

Even though there have been numerous efforts to promote small-scale biogas production systems for rural areas, its adoption has been slower than expected. This article is a comprehensive literature review on the main factors that influence the adoption rate of this technology, based on a revision of scientific documents available on the database "Science Direct". Positive and negative impacts of financial, technical, socio-economic and cultural factors were also analyzed. Some of the factors that were found to have a direct positive impact on the adoption of biodigesters include easy access to loans, a training and skills development program, the adaptation of the system to fulfill family needs and higher educational and income levels. Other interesting factors that have a positive impact are the participation of women in the decision-making process as well as public policies that promote and facilitate the acquisition of small scale biodigesters. On the other hand, over dimensioned systems, low quality of the materials and thus shorter lifetime, as well as high costs can limit the adoption of this technology in rural areas.

Keywords:

Biogas; Technology transfer; Energy security; Dissemination of innovation.

Forma de citar: Zelaya-Benavidez, E., A., Peredo-Mancilla, D. (2023). Factores que influyen en la adopción de biodigestores de pequeña escala en zonas rurales: una revisión. RedBioLAC, 7, 20-27.

Introducción

En muchos países en vía de desarrollo la pobreza energética impide el acceso a servicios básicos como cocción de alimentos y calefacción. En las zonas rurales esas necesidades se resuelven con leña, estimándose que hasta un tercio de la población mundial depende de este recurso como principal fuente de energía, lo que ha resultado en la sobreexplotación de los bosques a nivel global (Sheinbaum-Pardo *et al.*, 2012). Por otro lado, la producción de desechos orgánicos, como el estiércol de los animales, representa un problema de contaminación ambiental, resultado de la emisión de gases de efecto invernadero (Ritchie, 2020) y del saneamiento, por las repercusiones de la proliferación de enfermedades (FAO, 2021; Pinos-Rodríguez *et al.*, 2012).

Ante esa situación, por medio de sistemas como los biodigestores es posible producir biogás que puede ser utilizado para cocinar, iluminar, calentar o para producir energía eléctrica (Garfi *et al.*, 2016). El biogás es una mezcla de gases obtenida al final del proceso de digestión anaeróbica de la materia orgánica, la cual contiene en promedio entre 55 y 65 % de metano (CH_4), y entre 45 y 35 % de dióxido de carbono (CO_2), así como pequeños porcentajes de gases residuales como sulfuro de hidrógeno (H_2S), nitrógeno (N_2) e hidrógeno (H_2) (Lyu *et al.*, 2018). Por otro lado, el efluente o digestato que sale del biodigestor es un excelente fertilizante orgánico que puede ser usado para fertilizar cultivos y producir alimentos (Lansing *et al.*, 2010).

El uso del biogás contribuye a disminuir el consumo de leña y mejorar la calidad de vida para las familias al disminuir el riesgo de intoxicación y daños a la salud derivados de la presencia de humo en las casas, y además disminuir malos olores y presencia de moscas relacionados a la acumulación de estiércol de animales domésticos (Mukeshimana *et al.*, 2021). También, el uso del digestato en la agricultura disminuye los costos de producción al reemplazar la compra de fertilizantes comerciales para la agricultura, así como los impactos negativos al medio ambiente relacionados con el uso de fertilizantes sintéticos (Kelebe, Ayimut, Berhe, y Hintsu, 2017). Si bien esta tecnología fue desarrollada desde hace más de 200 años cuando se instaló el primer biodigestor en la India (Rodríguez, 2010), su diseminación por el mundo ha sido lenta, especialmente en países en vía de desarrollo.

Algunos factores que explican su lenta adopción están relacionados con aspectos financieros, técnicos, ambientales, socioculturales e institucionales (Kelebe *et al.*, 2017; Mukeshimana *et al.*, 2021; Uhumamure *et al.*, 2019; Wassie *et al.*, 2020). Para entender mejor el fenómeno de la difusión y los factores que influyen en la adopción de la tecnología

del biogás, la teoría de difusión de innovaciones de Rogers (Rogers, 1983) ofrece elementos para plantear un marco de referencia a los tomadores de decisiones, programas de desarrollo, técnicos y usuarios.

Con base en lo anterior, el objetivo de este artículo de revisión es describir los principales factores que influyen en la adopción de biodigestores de pequeña escala en zonas rurales. Los resultados de esta revisión arrojan luz sobre las causas que impiden o favorecen la propagación de esta tecnología, lo que puede ayudar a comprender mejor las fallas ocurridas en programas de difusión y transferencia, y servir para los tomadores de decisiones de programas de desarrollo dirigidos a resolver problemas de seguridad energética y alimentaria del sector rural, a los técnicos que ejecutan dichos programas y a los usuarios de la tecnología.

Metodología

Se hizo una búsqueda de artículos publicados en revistas científicas. Los criterios de búsqueda en la base de datos de Science Direct fueron los siguientes términos en inglés: “biogas”, “household biogas digesters”, “adoption of technology”, “biogas technology”, “biogas diffusion”, “biogas dissemination”, y “biogas adoption”. También, se delimitó al periodo entre 2011 y 2022. El resultado fue de 89 artículos. Posteriormente, se hizo una revisión por tema para descartar los artículos que no abordaban la temática central de esta revisión, dando como resultado 11 artículos sobre estudios del nivel de adopción de biodigestores, los cuales fueron elegidos para una revisión a profundidad y cuyos resultados fueron contrastados con el modelo de Rogers (1983).

Modelo de difusión de innovaciones de Rogers

La implementación de los biodigestores en zonas rurales en diferentes contextos socioculturales puede analizarse como un proceso de adopción tecnológica. La teoría de “Difusión de innovaciones” de Everett Rogers ha sido usada para explicar dicho proceso (Rogers, 1983), según este modelo, el proceso de innovación-decisión es aquel en el que el individuo tomador de decisiones pasa de conocer la innovación por primera vez, a formarse una opinión hacia dicha innovación, luego a la decisión de adoptarla o rechazarla, a implementar la nueva idea y a confirmar la decisión (Rogers, 1983). El proceso de adopción tecnológica es dinámico y continuo. La adopción de determinada tecnología está en permanente confirmación por parte del usuario, debatiendo su decisión entre continuar su uso o abandonarlo. En el siguiente esquema (Figura 1) se muestra el modelo como base para explicar cómo y por qué se da la difusión de las innovaciones en la sociedad.

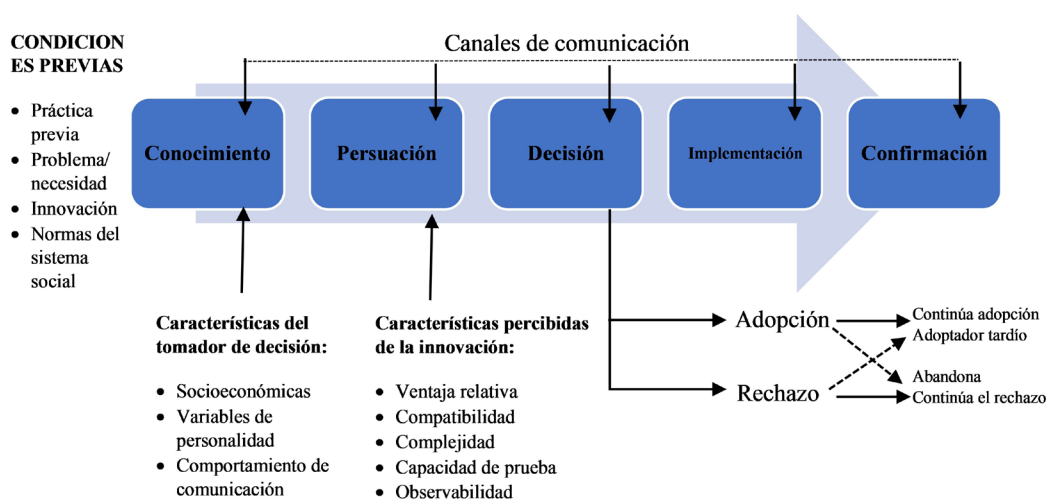


Figura 1 | Modelo de los pasos de la adopción de innovaciones propuesto por Rogers (1983).

Resultados y discusión

Factores que influyen en la adopción de biodigestores de pequeña escala

En el caso de los biodigestores, los estudios revisados coincidieron en clasificar a los factores que impactan el proceso de adopción en: aspectos financieros, técnicos, socioeconómicos y culturales, e institucionales. A continuación, se describen los principales factores identificados que influyen, de manera positiva o negativa, en la implementación de biodigestores de pequeña escala en zonas rurales:

Fase de conocimiento

Escolaridad (Socioeconómico/cultural): El nivel de escolaridad influye de manera positiva en la adopción de nuevas tecnologías gracias a la facilidad para entender términos técnicos y, por tanto, entender su funcionamiento. En diversos estudios sobre adopción de biodigestores se ha comprobado que las personas con más años de estudio tienden a adoptar más rápido esta tecnología, mientras que las iletradas tuvieron problemas para comprender términos técnicos y responder preguntas de las evaluaciones (Pilloni *et al.*, 2020). Putra *et al.* (2019) encontraron que aquellos agricultores con nivel de educación de secundaria tuvieron una probabilidad de adoptar 46 % más lento los biodigestores que los que habían alcanzado estudios universitarios, por su parte Wassie *et al.* (2020) en una encuesta a usuarios y no usuarios de biodigestores encontraron que los primeros tuvieron más años de educación con 8,68 y los segundos con 4,7, con diferencias significativas. Por su parte, Kelebe *et al.* (2017) encontraron que, por cada año de estudios del jefe de familia, la probabilidad de adoptar biodigestores aumentó por un factor de 1,14; de manera similar, Uhunamure *et al.* (2019) reportaron que las probabilidades de adoptar la

tecnología aumentaron 2 % cuando el tomador de decisiones había estudiado. La educación, según el modelo de Rogers, es un factor propio de los “conocedores tempranos” e “innovadores”, quienes tienden a ser las primeras personas en adoptar nuevas tecnologías, nuevas actitudes o emprender nuevos proyectos. En general, los adoptadores tempranos tienden a tener más años de educación que los adoptadores tardíos y no adoptadores (Rogers, 1983). Una estrategia recomendada para mejorar el proceso de transferencia tecnológica es a través de material audiovisual y el desarrollo de unidades demostrativas. Esto ha demostrado mejorar la tasa de adopción tecnológica en personas de baja escolaridad (Pilloni *et al.*, 2020).

Fase de persuasión

Observabilidad y capacidad de prueba de la tecnología (técnico): los usuarios que han probado o visto la tecnología después de recibir información sobre ella la adoptaron mucho más rápido (Putra *et al.*, 2019). Estos factores forman parte del proceso de persuasión previo a la adopción de la tecnología y tienen que ver con las características percibidas de la innovación por parte de los futuros usuarios. Este aspecto es clave en la etapa de persuasión en la que los usuarios potenciales perciben las ventajas relativas de una nueva tecnología y analizan su complejidad, su compatibilidad y ventajas relativas, así como su propia capacidad para poder utilizarla en el caso de llegar a adquirirla (Rogers, 1983). Es por ello por lo que resulta ventajoso instalar unidades demostrativas al inicio de una campaña de diseminación de biodigestores. Se recomienda que sean los pares de los agricultores quienes expliquen el funcionamiento y las ventajas de los sistemas biodigestores, especialmente para aterrizar el lenguaje técnico, probablemente poco comprensible, a un lenguaje con el que los futuros usuarios estén familiarizados.

Fase de decisión

Acceso a créditos y subsidios (financiero): este factor afecta directamente la etapa de la toma de decisión respecto a la adopción, o no, de la tecnología, pues quienes no cuentan con créditos financieros tienen menos probabilidades de adoptar biodigestores, por ejemplo, [Wassie et al. \(2020\)](#) encontraron una diferencia significativa en la adopción de biodigestores entre quienes tenían créditos (62,5 %) y quienes no (34,0 %). Así mismo, en un estudio sobre la duración de la adopción de biodigestores en Indonesia, se encontró que los agricultores con apoyo financiero adoptaron 86 % más rápido los biodigestores que aquellos sin financiamiento ([Putra et al., 2019](#)). En otro estudio similar en Sudáfrica encontraron que las probabilidades de adoptar esta tecnología aumentaban por un factor de 1,87 cuando créditos y subsidios estaban presentes ([Uhunamure et al., 2019](#)); mientras que hubo casos en los que ese factor aumentó hasta 7,68 cuando se disponía de créditos ([Kelebe et al., 2017](#)). Usualmente los agricultores enfrentan dificultades para acceder a créditos por considerarse clientes de alto riesgo debido a sus actividades productivas poco rentables. Al mismo tiempo, los intereses de los créditos otorgados suelen tener tasas altas. Por otro lado, el acceso a crédito con tasas bajas y subsidios empodera a los agricultores más pobres y aumenta su capacidad para acceder a nuevas tecnologías. En la teoría de difusión de innovaciones se menciona el término “paradoja innovación-necesidad”, el cual explica que las barreras que impiden el acceso a una innovación que puede resolver un problema, son las mismas barreras que se pretenden eliminar con dicha innovación ([Rogers, 1983](#)).

Costo de la tecnología (financiero): la mayoría de los agricultores hacia quienes va dirigida la tecnología viven por debajo del umbral de la pobreza (menos de 1,9 dólares al día) para quienes el costo de un biodigestor de tamaño estándar de 6 m³, puede costar alrededor de US\$ 650 ([Wassie et al., 2020](#)), lo que en algunas regiones representa más de su ingreso anual ([Mukeshimana et al., 2021](#)). Esto impide que destinen dinero para adquirir tecnología para satisfacer necesidades energéticas, lo cual pueden resolver con recursos locales de manera gratuita como el uso de leña, residuos agrícolas, carbón y pasta de estiércol seco ([Wassie et al., 2020](#)). Este aspecto al igual que el acceso a créditos y subsidios, tiene que ver; además, con las características socioeconómicas del usuario, las cuales influyen en las fases tempranas del proceso de adopción en las que el usuario potencial puede llegar a conocer el funcionamiento y compatibilidad de determinada innovación con sus necesidades, lo que a su vez da paso a la persuasión y posible decisión de adoptar ([Rogers, 1983](#)). Ante esta situación es necesario la implementación de subsidios financieros y créditos blandos o con tasas de interés bajas para facilitar el acceso a esta tecnología.

Número de cabezas de ganado (técnico/financiero): Este factor tiene relación con aspectos técnicos y económicos. El número de animales está relacionado con la disponibilidad de estiércol para alimentar al biodigestor, con el nivel de ingresos de la familia y con su capacidad para invertir en adquirir esta tecnología; o bien, en pagar para realizar reparaciones o recibir capacitación. En estudios sobre adopción de biodigestores en diferentes países, se comprobó que, en promedio al aumentar el hato ganadero en un animal, aumentaron las probabilidades de adoptar biodigestores por un factor de 1,2 ([Kelebe et al., 2017](#); [Uhunamure et al., 2019](#)). Por su parte, [Wassie et al. \(2020\)](#) compararon los usuarios vigentes de biodigestores de los no usuarios o que habían abandonado su uso, en promedio los primeros tenían más ganado que los segundos (4,52 y 2,72 cabezas de ganado, respectivamente). Las características de una innovación deben ser compatibles con las condiciones en las que se va a implementar y viceversa ([Rogers, 1983](#)). Este factor debería ser un criterio estricto de elegibilidad de los usuarios durante el estudio de factibilidad en los programas de disseminación de biodigestores.

Nivel de ingresos (Socioeconómico/cultural): del mismo modo, el nivel de ingresos afecta el proceso de adopción y está correlacionado positivamente. En un estudio sobre la adopción de biodigestores en Indonesia ([Putra et al., 2019](#)), los agricultores con ingresos medios adoptaron 50 % más lento que aquellos con ingresos altos. Por su parte [Wassie et al. \(2020\)](#), encontraron que quienes habían adoptado biodigestores tenían mayores ingresos por año (US\$2270) que los no adoptadores (US\$810), aunque en este caso no se explica la relación de causa-efecto de las variables. No obstante, [Kelebe et al. \(2017\)](#), sugieren que el nivel de ingresos como un factor determinante en la adopción deja de tener significancia cuando el costo de inversión es soportado por subsidios del gobierno o instituciones de ayuda. De esta manera, el riesgo de la inversión recae sobre programas de gobierno y por tanto deja de ser una barrera que impida la adopción, especialmente en los agricultores más pobres. Estos incentivos para los estratos más pobres ayudan a resolver lo que Rogers denomina “la paradoja “de la innovación y las necesidades”, que explica que quienes más necesitan una innovación, enfrentan más limitaciones para acceder a ella. En ese mismo sentido, la innovación y la riqueza están relacionadas. Quienes tienen más ingresos enfrentan menos limitaciones para acceder a las innovaciones que, a la vez, permiten aumentar sus ingresos gracias a alguna ventaja productiva de dicha innovación ([Rogers, 1983](#)). Para aminorar la brecha entre ricos y pobres en el acceso a beneficios de tecnologías como los biodigestores, es fundamental que los programas de disseminación de esta tecnología ofrezcan subsidios a los más pobres para acceder a ella y a sus beneficios.

Percepción hacia los desechos (Socioeconómico/cultural): el rechazo a utilizar el biogás debido a que se origina de las heces de los animales limita la adopción de biodigestores. Existe una presión social por evitar el contacto con los residuos o sus derivados (Uhunamure *et al.*, 2019). Es frecuente escuchar inquietudes sobre si se genera la emisión de malos olores en la cocina o en los alimentos al cocinar con biogás. También, en muchos casos persiste la idea de que los alimentos cocinados con leña tienen mejor sabor (Uhunamure *et al.*, 2019).

Participación de las mujeres en la toma de decisiones (Socioeconómico/cultural): los agricultores que involucraron a sus mujeres en la toma de decisiones adoptaron la tecnología más rápido que aquellos que no lo hicieron (Putra *et al.*, 2019). En un contexto patriarcal, en el que el rol de las mujeres se ve limitado en el proceso de toma de decisiones en las actividades productivas, esto podría ser un factor que disminuya el potencial de adopción de biodigestores, por ejemplo, Pilloni *et al.* (2020) observaron que en sistemas sociales patriarcales de oriente medio, en el que es notorio el rol de las mujeres en las actividades domésticas como cocinar, calentar y limpiar la casa, la adopción del biogás depende fuertemente de su participación. Incluso, el rol de los hombres llegó a crear obstáculos para el desarrollo de estas iniciativas, especialmente en las etapas iniciales del proceso de adopción tecnológica. En cambio, cuando las mujeres son quienes toman las decisiones, la adopción de biodigestores se ha visto favorecida por un factor de 1,6 (Uhunamure *et al.*, 2019), y desfavorecida por un factor de 0,09 cuando los hombres son quienes toman las decisiones (Kelebe *et al.*, 2017). Esto se debe a que las mujeres son las que se dedican a cuidar de los niños y a realizar actividades domésticas como cocinar, recolectar leña y manejar los desechos; por lo tanto, una tecnología que les ayude a disminuir sus esfuerzos es bien recibida. Estos resultados contrastan con lo reportado por Mengistu *et al.* (2016), quienes encontraron que las probabilidades de adoptar el biodigestor se redujeron por un factor de 12,99 cuando los jefes de hogar fueron mujeres. Sin embargo, en dicho estudio la proporción de mujeres encuestadas fue menor del 10 % de la muestra total, lo que probablemente haya influenciado el resultado. Además, no queda claro cuáles fueron las razones que explican dichos hallazgos por lo que más estudios deberían hacerse teniendo en cuenta mayor representatividad de este segmento demográfico.

Políticas públicas y capacidad institucional (Institucional): en muchos países donde se promueve el uso de biodigestores de escala familiar no hay reglas específicas ni regulaciones para el sector de biogás (Wassie *et al.*, 2020). Los programas de biogás usualmente están a cargo de personal con otras responsabilidades mayores que impiden su dedicación para lograr el éxito de dichos programas. También, el servicio de asistencia técnica gubernamental es ineficiente o no está contemplado para dar

seguimiento al funcionamiento de los biodigestores (Kelebe *et al.*, 2017; Mukeshimana *et al.*, 2021; Uhunamure *et al.*, 2019; Wassie *et al.*, 2020) o porque los técnicos encargados de dar la asistencia técnica no son suficientes para abarcar de manera más eficiente a los usuarios de los biodigestores (Tigabu *et al.*, 2015a). Los actores políticos juegan un rol importante en la diseminación de esta tecnología debido a que ellos pueden articular esfuerzos con otros sectores y la sociedad en general para mostrar los retos y bondades de los biodigestores (Tigabu *et al.*, 2015b).

Tamaño de la familia (Socioeconómico/cultural): al aumentar el tamaño de la familia en una persona, aumentan las probabilidades de adoptar biodigestores por un factor de 1,3 (Kelebe *et al.*, 2017). Las familias que tienen más mano de obra para las actividades de construcción, operación y mantenimiento del biodigestor adoptan con más facilidad los biodigestores y por más tiempo.

Fase de implementación

Calidad de la construcción (técnico): materiales usados de baja calidad, y contruidos por albañiles (en el caso de los modelos de concreto) inexpertos ha dado como resultado baja calidad de los digestores y el desempeño pobre, lo que condujo a su abandono (Wassie *et al.*, 2020).

Eficiencia del biodigestor (técnico): diversos estudios reportaron resultados diferentes en cuanto al impacto de la producción de biogás en las familias adoptadoras. Wassie *et al.* (2020) encontraron que solamente el 37,5 % de los usuarios de biogás reportaron usar el biogás como fuente principal de energía; mientras que para el 62 % el biogás constituía una fuente de energía secundaria debido a la baja eficiencia del biodigestor debido al malfuncionamiento y disminución de las fuentes de estiércol de muchas plantas de biogás instaladas. En algunos casos el 43 % de los biodigestores se encontraron inactivos después de haber sido instalados (Mukeshimana *et al.*, 2021). Estos problemas de funcionamiento de los equipos provocan el esparcimiento de rumores negativos sobre esta tecnología entre los vecinos, lo que contribuye a disminuir el interés por adoptar la. Según Wassie *et al.* (2020), para una unidad de biodigestor familiar de 6 m³, que es el tamaño estándar, se esperarían 1,6-2,4 m³ de biogás por día, lo observado en el estudio fue de 0,61 m³día⁻¹. Por lo tanto, la eficiencia fue de 25-38 % sobre el potencial de producción de los biodigestores. Igualmente, la sustitución del consumo de energía de biomasa y keroseno para iluminación se ha visto disminuido al usar biogás, pero el impacto en mejorar este aspecto no ha sido significativo (Wassie *et al.*, 2020). De lo anterior se desprende que la diseminación de la tecnología no es el único reto que enfrentar, sino también mejorar la eficiencia del uso del biogás haría el proceso de adopción más eficiente. En cambio, Buysman *et al.* (2013) en un análisis sobre el mercado de biogás en Camboya definen al programa nacional de biogás en ese país como exitoso. Mencionan que los biodigestores familiares aportaron

beneficios anuales alrededor de U\$168 por ahorro en energía y U\$52 por el ahorro en fertilizantes químicos. El consumo de leña se redujo de 195 a 13,3 kg por familia, y todas las familias usaron el biogás para cocinar. Según estos autores, esto se debe al desarrollo de un mercado de biogás en el que se crearon empresas dedicadas a dar mantenimiento y seguimiento a esta tecnología aún después de haber acabado los subsidios y el apoyo del gobierno. Estos actores garantizan el mantenimiento de los canales de comunicación en el proceso de adopción y su confirmación a lo largo del tiempo (Rogers, 1983).

Fase de confirmación

Entrenamiento y desarrollo de habilidades técnicas (técnico): la falta de conocimiento de los usuarios y la ausencia de técnicos especialistas en la tecnología ha llevado al mal funcionamiento de los biodigestores y a su posterior abandono. En el estudio de Wassie y Adaramola, solamente el 32 % de los usuarios recibió entrenamiento básico posterior a la instalación de las unidades. En promedio, se les brindó una breve explicación de 10-15 minutos por parte de albañiles o supervisores (Wassie *et al.*, 2020). Esta es una de las principales razones por las que los usuarios abandonan el uso de biodigestores debido a que no llegan a entender el funcionamiento del sistema ni saben cómo hacer el mantenimiento. La decisión de adoptar una innovación puede ser abandonada si los canales de comunicación establecidos no funcionan correctamente. El flujo de información para capacitación y resolución de dudas sobre la complejidad de determinada tecnología debe estar presente para garantizar la continuidad del adoptador (Rogers, 1983).

Servicios de mantenimiento, monitoreo y seguimiento (técnico): cuando los equipos técnicos que instalan los equipos no dan seguimiento ni servicios de mantenimiento de esta tecnología, la adopción falla. Algunos servicios frecuentemente demandados son para reparar fugas en la tubería de gas, válvulas defectuosas o corroídas, lámparas y estufas inoperativas; y para reactivación del proceso de digestión anaeróbica paralizado en un periodo corto de tiempo, desbloquear la salida del digestato, reconstruir biodigestores y reparaciones menores que necesitan atención profesional (Uhunamure *et al.*, 2019; Wassie *et al.*, 2020). Sin embargo, en muchos casos este servicio es inexistente, por ejemplo, Uhunamure *et al.* (2019), reportaron que el 74 % de los usuarios de biogás encuestados no contaban con asistencia técnica para dar mantenimiento a las unidades. En el modelo de Rogers, este factor constituye lo que denomina “canales de comunicación” que interconectan todas las etapas del proceso de adopción, desde el primer contacto cuando se da a conocer la innovación hasta la confirmación de la decisión de adoptarla a lo largo del tiempo (Rogers, 1983). En este sentido, la asistencia técnica especializada debería ser un elemento constante en los programas de

diseminación de esta tecnología para garantizar el éxito en la adopción.

Tamaño del sistema (técnico/financiero): este factor también juega un rol importante en la duración de la adopción. Por ejemplo, en el estudio reportado por Wassie *et al.* (2020) el modelo de 6 m³ fue el más adoptado y el que se mantuvo operando más tiempo (52,2 %) versus el de 8 m³ (43,5 %), esto debido a que el segundo demandaba más trabajo y mayor cantidad de estiércol para ser operado. Este factor también se relaciona con la compatibilidad de la innovación respecto a las condiciones del usuario mencionadas en el esquema de arriba (Rogers, 1983).

Apropiación del propietario (Socioeconómico/cultural): aunque el gobierno subsidió el 43 % del costo de los biodigestores, los usuarios de bajos ingresos tuvieron que tomar créditos para pagar el restante 57 %; sin embargo, una mala percepción por tener nuevas responsabilidades llevó al abandono de biodigestores (Wassie *et al.*, 2020). En este caso, la apropiación de la tecnología no fue bien fundamentada debido a la percepción de que fue un proyecto donado por el gobierno. Por otro lado, debido al limitado aporte de energía del biodigestor, el costo relativo de la inversión es muy alta para ser afrontada por una familia promedio, menos en una sociedad en donde la leña está disponible y gratuita en los bosques cercanos, por lo que invertir en esta tecnología se vuelve una opción poco atractiva. En algunos casos, usuarios no pagaron el crédito incluso después de varios años. Algunos, deliberadamente evitaron operar el biodigestor para atribuirle fallas y así evadir su responsabilidad crediticia (Wassie *et al.*, 2020).

Demanda de trabajo y competencia con otras actividades (Socioeconómico/cultural): la alimentación del biodigestor en promedio requiere 5,42 horas de trabajo a la semana, lo que desalienta el uso del biodigestor aún más cuando la eficiencia de producción de biogás es baja (Wassie *et al.*, 2020). Esto compete directamente con otras actividades de las familias como recolección de cosechas, pastoreo de animales, trabajo domésticos o esparcimiento.

Evaluación de viabilidad (Institucional): en muchos casos los criterios de elegibilidad para los usuarios fueron ignorados, la diseminación de biodigestores estuvo condicionada por factores políticos y sociales y no por la demanda real de los usuarios, lo que condujo al abandono de los biodigestores por parte de usuarios no empoderados de la tecnología (Wassie *et al.*, 2020).

Conclusiones y recomendaciones

Se identificaron y describieron los principales factores que influyen en la adopción de biodigestores en zonas rurales y se categorizaron de acuerdo con el modelo de Rogers

especificando además su clasificación como factores financieros, técnicos, socioeconómicos y culturales, o institucionales.

Los factores de tipo financieros están relacionados con el acceso a créditos y subsidios para adquirir la tecnología. Mayor acceso incrementa las probabilidades de adopción; y el costo de la tecnología que influye negativamente debido al bajo poder adquisitivo del segmento al que esta tecnología va dirigida. Se recomienda desarrollar un esquema de financiamiento a los agricultores más pobres y generar capacidad de innovación local para disminuir el costo de la tecnología.

Los factores de tipo técnicos se refieren a la observabilidad y capacidad de prueba de la tecnología, con el acceso a entrenamiento y desarrollo de habilidades técnicas, acceso a servicios de mantenimiento y monitoreo, al número de cabezas de ganado, la calidad de la construcción y a la eficiencia de del biodigestor para satisfacer las necesidades. Estos factores se relacionan de manera positiva con las probabilidades de adopción. También, el tamaño del sistema influye de manera inversa con la adopción a medida que las dimensiones aumentan. Se debe contemplar la inclusión de un programa de capacitación y acompañamiento técnico de los usuarios antes, durante y después de la instalación de los biodigestores para aumentar la capacidad técnica de resolver los problemas que se presenten y que garanticen la continuidad de la adopción.

Los factores socioeconómicos y culturales que influyen en la adopción de manera positiva a medida que aumentan son: el nivel de escolaridad, el nivel de ingresos, la apropiación o percepción del usuario, el tamaño de la familia y la participación de las mujeres en la toma de decisiones. De manera inversa influyen: la percepción hacia los desechos, la demanda de trabajo que implica operar un biodigestor y la competencia con otras actividades. Se recomienda facilitar el acceso a talleres, demostraciones y documentos técnicos, acompañamiento en la gestión de subsidios, acompañamiento técnico para mejorar la percepción de los usuarios y enfocar las campañas de divulgación y apropiación de la tecnología hacia las mujeres jefas de hogar.

Los factores institucionales son principalmente los relacionados con las políticas públicas y la capacidad institucional, y la evaluación de la viabilidad antes de introducir la tecnología. En este aspecto, se recomienda establecer incentivos a las universidades y centros de investigación para que desarrollen tecnología apropiada a las zonas de intervención cercanas, así como facilitar el acceso a incentivos fiscales a quienes accedan a esta tecnología.

Referencias

- Buysman, E., & Mol, A. P. J. (2013). Market-based biogas sector development in least developed countries-The case of Cambodia. *Energy Policy*, 63, 44–51. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2013.05.071>
- FAO. (2021). Eliminación de excrementos. Retrieved January 13, 2023, from <http://www.fao.org/3/t0690s/t0690s0g.htm>
- Garfi, M., Martí-Herrero, J., Garwood, A., & Ferrer, I. (2016). Household anaerobic digesters for biogas production in Latin America: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 60, 599–614. <https://doi.org/10.1016/J.RSER.2016.01.071>
- Kelebe, H. E., Ayimut, K. M., Berhe, G. H., & Hintsu, K. (2017). Determinants for adoption decision of small-scale biogas technology by rural households in Tigray, Ethiopia. *Energy Economics*, 66, 272–278. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2017.06.022>
- Lansing, S., Martin, J. F., Botero, R. B., Nogueira da Silva, T., & Dias da Silva, E. (2010). Wastewater transformations and fertilizer value when co-digesting differing ratios of swine manure and used cooking grease in low-cost digesters. *Biomass and Bioenergy*, 34(12), 1711–1720. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2010.07.005>
- Rodríguez, F. J. (2010). Puesta en marcha de un Laboratorio para la producción de biogás en Nicaragua. Universidad Carlos III de Madrid. Retrieved from <https://e-archivo.uc3m.es/handle/10016/9951#preview>
- Lyu, Z., Shao, N., Akinyemi, T., & Whitman, W. B. (2018). Methanogenesis. *Current Biology*, 28(13), R727–R732. <https://doi.org/10.1016/J.CUB.2018.05.021>
- Mengistu, M. G., Simane, B., Eshete, G., & Workneh, T. S. (2016). Factors affecting households' decisions in biogas technology adoption, the case of Ofra and Mecha Districts, northern Ethiopia. *Renewable Energy*, 93, 215–227. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2016.02.066>
- Mukeshimana, M. C., Zhao, Z. Y., Ahmad, M., & Irfan, M. (2021). Analysis on barriers to biogas dissemination in Rwanda: AHP approach. *Renewable Energy*, 163, 1127–1137. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.09.051>
- Pilloni, M., Hamed, T. A., & Joyce, S. (2020). Assessing the success and failure of biogas units in Israel: Social

- niches, practices, and transitions among Bedouin villages. *Energy Research and Social Science*, 61, 101328. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2019.101328>
- Pinos-Rodríguez, J. M., García-López, J. C., Peña-Avelino, L. Y., Rendón-Huerta, J. A., González-González, C., & Tristán-Patiño, F. (2012). Impactos y regulaciones ambientales del estiércol generado por los sistemas ganaderos de algunos países de América. Retrieved January 13, 2023, from http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952012000400004
- Putra, A. R. S., Pedersen, S. M., & Liu, Z. (2019). Biogas diffusion among small scale farmers in Indonesia: An application of duration analysis. *Land Use Policy*, 86, 399–405. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2019.05.035>
- Ritchie, H. (2020). Sector by sector: where do global greenhouse gas emissions come from? - Our World in Data. Retrieved January 13, 2023, from <https://ourworldindata.org/ghg-emissions-by-sector>
- Rogers, E. M. (1983). *Diffusion of Innovations*. Diffusion of innovations (Third edition). New York: The free press. Retrieved from <http://hollis.harvard.edu/?itemid=%7Clibrary/m/aleph%7C006256656>
- Sheinbaum-Pardo, C., & Ruiz, B. J. (2012). Energy context in Latin America. *Energy*, 40(1), 39–46. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2011.10.041>
- Tigabu, A. D., Berkhout, F., & van Beukering, P. (2015a). Technology innovation systems and technology diffusion: Adoption of bio-digestion in an emerging innovation system in Rwanda. *Technological Forecasting and Social Change*, 90(PA), 318–330. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2013.10.011>
- Tigabu, A. D., Berkhout, F., & van Beukering, P. (2015b). The diffusion of a renewable energy technology and innovation system functioning: Comparing bio-digestion in Kenya and Rwanda. *Technological Forecasting and Social Change*, 90(PA), 331–345. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2013.09.019>
- Uhunamure, S. E., Nethengwe, N. S., & Tinarwo, D. (2019). Correlating the factors influencing household decisions on adoption and utilisation of biogas technology in South Africa. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 107, 264–273. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.03.006>
- Wassie, Y. T., & Adaramola, M. S. (2020). Analysing household biogas utilization and impact in rural Ethiopia: Lessons and policy implications for sub-Saharan Africa. *Scientific African*, 9, e00474. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2020.e00474>