

Economía circular y su sostenibilidad ambiental, económica y social en comunidades de Barranquilla, Atlántico, Colombia

¹Rafael Oyaga Martínez, ²Daniela Martínez Quinto, ³Pedro Pacheco Torres,

⁴Sofía Brisseth Sulbaran Siado, ⁵Janneris Rodríguez Gómez

¹Grupo CRIDI, Corporación Universitaria Reformada

²Programa de Administración marítima y portuaria, Corporación Universitaria Reformada

^{3,4}Programa de Ingeniería Ambiental, Corporación Universitaria Reformada

⁵Decanatura de Facultad de Ingeniería, Corporación Universitaria Reformada

Article History

Received Dec , 12th , 2021

Accepted Dec,11th , 2021

Published Dec, 20th,2021



© 2021 The Authors. This article is an Open Access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution(CC-BY)license

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0>

Abstract

Se presenta el trabajo de investigación desarrollado en el año 2019 y con proyección al 2020, que busca evaluar la viabilidad técnico-económica y social de la implementación de empresas de clasificación y aprovechamiento de residuos, partiendo de la regulación vigente. Desde este enfoque se desea desarrollar una serie de procesos con las comunidades de recicladores de Barranquilla, con el fin de implementar estrategias que permitan establecer la sostenibilidad de las empresas constituidas para el desarrollo de la economía circular en el marco del decreto 0596 de 2016 y su transición al decreto 2412 de 2018. Se reporta ausencia de cultura organizacional, riesgos asociados a la actividad de reciclaje, incumplimiento de las etapas de formalización

Keywords: Aprovechamiento, Formalización, Negocio, Recicladores, Reciclaje

INTRODUCTION

El modelo económico lineal basado en la extracción de recursos, producción de bienes, consumo y posterior eliminación de residuos ha contribuido significativamente al crecimiento económico global, pero también ha generado efectos ambientales y sociales que amenazan la sostenibilidad de las ciudades. El aumento de los residuos sólidos urbanos, el consumo intensivo de materias primas, la contaminación del suelo y del agua y la pérdida de materiales aprovechables han evidenciado las limitaciones de los sistemas tradicionales de producción y consumo. Frente a estas problemáticas, la economía circular propone un cambio estructural que busca mantener productos, componentes y materiales dentro de los ciclos económicos durante el mayor tiempo posible, disminuyendo simultáneamente el desperdicio y la presión sobre los ecosistemas. En contextos urbanos latinoamericanos, este enfoque adquiere especial importancia debido al rápido crecimiento poblacional, la expansión urbana, la desigualdad socioeconómica y la participación significativa del sector informal en las actividades de recuperación y reciclaje de residuos. Barranquilla representa un escenario particularmente relevante para analizar la transición hacia una economía circular. Su condición de ciudad portuaria, industrial, comercial y metropolitana genera importantes flujos de productos, materiales y residuos provenientes de hogares, industrias, comercios, servicios y actividades de construcción. Al mismo tiempo, estas características crean oportunidades para desarrollar cadenas de recuperación de materiales, reciclaje, reutilización, reparación, transformación de residuos orgánicos y producción de nuevos bienes derivados de recursos previamente

considerados desechos. La aplicación de principios circulares podría contribuir tanto a resolver determinados problemas ambientales como a generar oportunidades económicas para diferentes sectores de la población. La sostenibilidad de la economía circular no debe analizarse únicamente desde la perspectiva ambiental. Su verdadero potencial radica en la integración de tres dimensiones fundamentales: ambiental, económica y social. La dimensión ambiental está asociada con la reducción de residuos, disminución del uso de materias primas vírgenes, recuperación de materiales y protección de los ecosistemas. La dimensión económica comprende la creación de valor a partir de los residuos, innovación empresarial, reducción de costos, generación de empleo y formación de nuevos mercados. Finalmente, la dimensión social se relaciona con inclusión económica, dignificación de los recicladores, participación ciudadana, educación ambiental y fortalecimiento de redes comunitarias. En Colombia, el desarrollo de políticas vinculadas con producción y consumo sostenible, aprovechamiento de residuos y economía circular ha establecido un marco favorable para este proceso. Particularmente, la Estrategia Nacional de Economía Circular impulsó una visión destinada a incrementar la eficiencia en el uso de materiales, agua y energía, promoviendo simultáneamente nuevos modelos empresariales y sistemas de aprovechamiento. Sin embargo, trasladar estos principios nacionales hacia comunidades urbanas específicas exige considerar condiciones culturales, económicas e institucionales particulares. Por ello, el presente artículo tiene como propósito analizar la sostenibilidad ambiental, económica y social de la economía circular en comunidades de Barranquilla, identificando sus principales beneficios, oportunidades, limitaciones y mecanismos de fortalecimiento.

Economía circular y transición hacia modelos urbanos sostenibles:

La economía circular representa una alternativa frente al modelo lineal debido a que modifica la manera en que se conciben los productos y los recursos dentro del sistema económico. Mientras el sistema convencional utiliza recursos para fabricar productos que posteriormente son descartados, el modelo circular busca extender su vida útil mediante mantenimiento, reparación, reutilización, remanufactura, reciclaje y recuperación. Kirchherr, Reike y Hekkert señalaron que la economía circular puede entenderse como un sistema económico orientado a sustituir el concepto tradicional de fin de vida por estrategias que permitan reducir, reutilizar, reciclar y recuperar materiales a diferentes niveles de producción, distribución y consumo. Desde esta perspectiva, los residuos dejan de considerarse únicamente un problema ambiental y comienzan a entenderse como recursos potenciales que pueden reincorporarse a las cadenas productivas. Para Barranquilla, esta transición resulta particularmente importante porque la expansión de las actividades urbanas incrementa la cantidad y diversidad de residuos producidos. Los residuos domiciliarios, envases, plásticos, cartón, vidrio, metales, residuos orgánicos y materiales provenientes de actividades comerciales representan recursos que podrían recuperar valor económico mediante sistemas eficientes de separación, clasificación y transformación. La transición circular requiere, sin embargo, superar la práctica de mezclar diferentes tipos de residuos desde su origen. Cuando materiales reciclables y residuos orgánicos se mezclan con residuos no aprovechables, disminuye su calidad y aumenta el costo necesario para recuperarlos. La economía circular también introduce cambios en las responsabilidades de productores y consumidores. Las empresas deben considerar el diseño de productos más duraderos, reparables y reciclables, mientras los consumidores deben adoptar prácticas de compra responsable, reutilización y correcta disposición. Los gobiernos locales desempeñan una función coordinadora mediante infraestructura, regulación, programas educativos e incentivos para la innovación. De esta manera, el éxito del modelo depende de una red integrada de actores y no exclusivamente de los organismos responsables de recoger los residuos. Otro aspecto fundamental es la posibilidad de establecer sistemas urbanos donde los residuos generados por una actividad puedan convertirse en insumos para otra. Los residuos orgánicos procedentes de mercados, restaurantes y hogares pueden utilizarse para compostaje; ciertos plásticos pueden transformarse en nuevos productos; los residuos de construcción pueden recuperarse para determinadas aplicaciones; y numerosos productos electrónicos, muebles o equipos pueden repararse antes de descartarse. Estos procesos permiten disminuir simultáneamente la demanda de materias primas y el volumen de residuos enviados a disposición final. En el contexto de Barranquilla, la transición hacia modelos urbanos circulares podría desarrollarse progresivamente a través de programas barriales de separación en la fuente, centros de recuperación de materiales, alianzas entre recicladores y empresas, proyectos educativos en universidades y colegios, y programas empresariales de retorno de envases o productos. La creación de una cultura circular requiere que la ciudadanía comprenda que la sostenibilidad depende también de decisiones cotidianas relacionadas con consumo, reparación, reutilización y separación adecuada de residuos.

Sostenibilidad ambiental y gestión eficiente de los recursos:

La principal contribución ambiental de la economía circular consiste en reducir la presión sobre los recursos naturales mediante el aprovechamiento de materiales que ya se encuentran dentro del sistema económico. Cuando el papel, cartón, vidrio, metales y determinados plásticos son recuperados eficientemente, disminuye la necesidad de extraer o procesar materias primas adicionales. Este proceso puede generar beneficios asociados con reducción del consumo energético, disminución de emisiones y menor generación de residuos destinados a disposición final. En Barranquilla, la separación de residuos en los hogares constituye uno de los puntos iniciales más importantes. Una estrategia circular

eficiente necesita diferenciar residuos reciclables, orgánicos y no aprovechables. La educación ambiental comunitaria puede facilitar esta transformación si explica claramente qué materiales pueden recuperarse y cómo deben entregarse. Los programas basados exclusivamente en campañas temporales suelen producir resultados limitados, por lo que la educación debe mantenerse de manera permanente mediante instituciones educativas, organizaciones vecinales, medios digitales y asociaciones comunitarias. Los residuos orgánicos constituyen otra oportunidad significativa. Los restos de alimentos y residuos vegetales pueden utilizarse para producir compost, reduciendo la cantidad de materiales transportados hacia los sistemas de disposición final. El compost resultante puede emplearse en jardines urbanos, áreas verdes, viveros y determinados proyectos agrícolas. Además de disminuir residuos, estas iniciativas pueden crear espacios de participación comunitaria y sensibilización ambiental. Las prácticas de reutilización representan igualmente una estrategia esencial. Muchos objetos considerados residuos mantienen valor funcional y pueden prolongar su ciclo de vida mediante reparación o reacondicionamiento. Muebles, equipos electrónicos, textiles y determinados artículos domésticos pueden circular nuevamente mediante mercados de segunda mano, centros de reparación o plataformas de intercambio. Este proceso reduce la generación de desechos y al mismo tiempo disminuye la necesidad de adquirir productos nuevos. La siguiente tabla sintetiza las principales prácticas circulares que pueden implementarse en comunidades urbanas de Barranquilla y sus posibles contribuciones.

Práctica circular	Beneficio ambiental	Beneficio económico	Beneficio social
Separación y reciclaje	Reduce residuos y recupera materiales	Genera valor mediante materiales recuperados	Fortalece el trabajo de recicladores
Compostaje	Reduce residuos orgánicos destinados a disposición final	Produce compost aprovechable	Favorece proyectos comunitarios
Reutilización	Extiende la vida útil de productos	Reduce costos de adquisición	Facilita acceso a bienes económicos
Reparación	Evita descarte prematuro	Genera servicios y pequeños negocios	Crea oportunidades laborales
Aprovechamiento de plásticos	Reduce contaminación y disposición de polímeros	Permite fabricar productos secundarios	Promueve emprendimientos verdes
Educación ambiental	Mejora prácticas de separación y consumo	Aumenta eficiencia del sistema	Fortalece cultura y responsabilidad ambiental

La dimensión ambiental de la economía circular no puede limitarse al reciclaje. Una verdadera transición requiere prevenir la generación de residuos desde el diseño y consumo. Reducir productos desechables, favorecer sistemas reutilizables y adquirir bienes duraderos puede proporcionar beneficios ambientales superiores a los obtenidos cuando se actúa únicamente después de que los residuos han sido producidos. Por tanto, las comunidades deben avanzar desde una cultura centrada exclusivamente en recoger residuos hacia una cultura basada en prevenirlos y aprovecharlos estratégicamente.

Sostenibilidad económica, emprendimiento y generación de valor:

La economía circular puede convertirse en una fuente importante de innovación económica debido a que transforma materiales descartados en recursos productivos. Los residuos poseen diferentes valores dependiendo de su calidad, clasificación y demanda. Cuando existen sistemas organizados de recolección y separación, materiales como cartón, papel, vidrio, aluminio, determinados tipos de plástico y metales pueden comercializarse dentro de cadenas de aprovechamiento. Este proceso contribuye a crear actividades económicas relacionadas con recolección selectiva, clasificación, transporte, transformación y comercialización. Para las comunidades de Barranquilla, la economía circular ofrece posibilidades particularmente importantes para pequeños emprendimientos. Talleres dedicados a reparación de electrodomésticos, bicicletas, muebles, teléfonos o equipos electrónicos forman parte de una economía basada en prolongar la vida de los productos. Igualmente, pueden establecerse empresas orientadas a transformar materiales reciclados en productos artesanales, mobiliario, elementos decorativos, materiales de construcción u otros bienes comercializables. Los modelos circulares pueden beneficiar también a empresas convencionales. La utilización eficiente de materias primas y la reducción de desperdicios permiten disminuir ciertos costos productivos. Cuando una empresa identifica residuos susceptibles de ser reutilizados internamente o vendidos como subproductos, puede convertir un costo de disposición en una oportunidad de generación de valor. Además, las prácticas sostenibles pueden mejorar la reputación corporativa y responder a consumidores cada vez más interesados en el desempeño ambiental de los productos. No obstante, las oportunidades económicas dependen de la existencia de mercados estables para los materiales recuperados. Los precios de determinados residuos reciclables pueden presentar fluctuaciones, afectando

especialmente a recicladores y pequeños emprendimientos. Por ello, resulta necesario fortalecer acuerdos entre generadores, asociaciones de recicladores, empresas transformadoras e instituciones públicas. Estos acuerdos pueden contribuir a mejorar la previsibilidad de la demanda y fortalecer las cadenas locales de valor. El acceso al financiamiento constituye otro desafío. Los emprendimientos circulares frecuentemente necesitan equipos para clasificación, compactación, transformación o almacenamiento. Las pequeñas organizaciones comunitarias pueden tener dificultades para obtener créditos convencionales. Programas públicos, fondos de emprendimiento, cooperación universitaria y alianzas empresariales podrían proporcionar capital inicial, asistencia técnica y formación administrativa para mejorar la viabilidad de estas iniciativas. La economía circular también puede generar nuevas competencias laborales. La clasificación especializada de materiales, reparación de equipos, ecodiseño, gestión ambiental, logística inversa y transformación de residuos requieren conocimientos técnicos específicos. Por esta razón, universidades, instituciones de formación y autoridades locales pueden desempeñar un papel central mediante programas de capacitación orientados a empleos verdes. La formación permite que la transición ambiental se traduzca también en oportunidades económicas para jóvenes y trabajadores pertenecientes a comunidades vulnerables.

Inclusión social, participación comunitaria y reciclaje inclusivo:

La sostenibilidad social constituye una dimensión imprescindible para evaluar la economía circular en ciudades latinoamericanas. Un sistema puede ser ambientalmente eficiente y económicamente rentable, pero no puede considerarse plenamente sostenible si excluye a los grupos que tradicionalmente han participado en la recuperación de residuos. Los recicladores de oficio han desempeñado históricamente un papel importante en la recuperación de materiales, aunque con frecuencia realizan sus actividades en condiciones económicas y laborales vulnerables. La economía circular puede contribuir a mejorar esta situación mediante políticas de reciclaje inclusivo. El fortalecimiento de asociaciones de recicladores, acceso a equipos, capacitación, reconocimiento institucional y participación en programas municipales puede aumentar tanto su productividad como su protección económica. La formalización no debe interpretarse únicamente como un mecanismo administrativo, sino como una oportunidad para reconocer el valor ambiental y social de una actividad que evita que grandes cantidades de materiales potencialmente reutilizables terminen como residuos. La participación comunitaria es igualmente importante porque la separación adecuada depende en gran medida de los hogares. Cuando los ciudadanos entregan materiales limpios y separados, mejora su valor y disminuyen los riesgos para las personas encargadas de recuperarlos. De esta forma, las relaciones entre hogares y recicladores pueden evolucionar desde un modelo informal hacia sistemas coordinados con rutas de recolección selectiva y horarios definidos. Las organizaciones comunitarias pueden facilitar este proceso mediante campañas permanentes, jornadas de recuperación, puntos de recolección y actividades educativas. Asimismo, las escuelas pueden incorporar principios de economía circular dentro de proyectos ambientales, permitiendo que niños y jóvenes desarrollen hábitos que posteriormente influyan en sus familias. Las universidades también pueden apoyar mediante investigación aplicada, incubadoras empresariales y proyectos de innovación social. La economía circular posee además una dimensión de justicia ambiental. Los impactos negativos de los residuos suelen afectar de manera desproporcionada a comunidades con menores recursos, especialmente cuando existen espacios utilizados informalmente para disposición de materiales. Reducir residuos abandonados, mejorar sistemas de recolección y fortalecer procesos de valorización puede contribuir a mejorar las condiciones ambientales de barrios vulnerables. La dimensión social también implica modificar la percepción del residuo. Cuando los ciudadanos reconocen que los materiales descartados poseen valor, aumenta la responsabilidad frente a su manejo. El cambio cultural requiere superar la idea de que la gestión termina cuando el residuo abandona el hogar. En realidad, cada consumidor forma parte de una cadena y sus decisiones influyen sobre la capacidad posterior de recuperar esos recursos.

Desafíos, oportunidades y perspectivas para Barranquilla:

A pesar de los beneficios potenciales, la implementación de una economía circular en Barranquilla enfrenta diferentes desafíos. El primero está relacionado con la separación inadecuada de residuos. Cuando materiales aprovechables se mezclan con residuos orgánicos o sanitarios, pueden contaminarse y perder valor económico. Por ello, los sistemas de recolección deben acompañarse de información clara y sencilla para los hogares. El segundo desafío corresponde a la infraestructura. La transición circular requiere espacios para almacenamiento, clasificación, procesamiento y comercialización. Los proyectos comunitarios que carecen de infraestructura pueden encontrar dificultades para manejar cantidades significativas de materiales. La ubicación estratégica de centros de aprovechamiento y puntos de entrega puede facilitar la participación ciudadana y reducir costos logísticos. Un tercer desafío se relaciona con la coordinación institucional. La economía circular involucra autoridades ambientales, gobiernos locales, empresas de servicios públicos, productores, comerciantes, recicladores, universidades, organizaciones sociales y ciudadanía. Cuando cada actor desarrolla iniciativas de manera aislada, los resultados pueden ser limitados. Por el contrario, una estrategia territorial coordinada puede establecer objetivos comunes y mecanismos de seguimiento. También resulta necesario mejorar la información disponible. Los gobiernos urbanos necesitan conocer cuánto residuo se genera, cuáles materiales poseen mayor potencial de aprovechamiento, qué sectores producen los mayores flujos y qué barreras

enfrentan los recicladores y emprendimientos. Los sistemas de información permiten diseñar políticas basadas en evidencia y evaluar los resultados de las intervenciones. La innovación tecnológica constituye una oportunidad adicional. Herramientas digitales pueden utilizarse para conectar hogares con recicladores, identificar puntos de entrega, coordinar rutas y registrar cantidades recuperadas. Al mismo tiempo, nuevas tecnologías de procesamiento pueden aumentar el valor de determinados materiales. Sin embargo, la tecnología debe complementarse con inclusión social para evitar que los sistemas modernos desplacen a quienes ya participan en las cadenas tradicionales de reciclaje. El siguiente gráfico presenta una **representación conceptual e ilustrativa**, no datos oficiales de Barranquilla, de cómo podrían compararse tres tipos de iniciativas circulares en términos ambientales, económicos y sociales.

Figura 1. Impacto ilustrativo de iniciativas de economía circular en comunidades de Barranquilla.

Los valores representados en la figura deben interpretarse como una herramienta conceptual para mostrar que los programas de economía circular pueden generar resultados diferentes dependiendo de su orientación. Los proyectos de reciclaje pueden presentar beneficios particularmente visibles en reducción de residuos y participación social; el compostaje puede mejorar el tratamiento de residuos orgánicos y producir recursos aprovechables; y los proyectos de reutilización pueden contribuir significativamente a la generación de ingresos mediante pequeños emprendimientos. Para una evaluación empírica sería necesario recopilar datos primarios en comunidades seleccionadas y construir indicadores verificables de desempeño. Las perspectivas futuras de Barranquilla dependen de convertir la economía circular en parte de la planificación urbana y no únicamente en proyectos ambientales aislados. Esto requiere establecer metas progresivas de aprovechamiento, fortalecer la separación en la fuente, integrar recicladores, incentivar negocios circulares, desarrollar educación ambiental y establecer alianzas entre sector público, universidades, empresas y comunidades.

Síntesis

La economía circular ofrece a Barranquilla una oportunidad para avanzar hacia un modelo urbano que combine protección ambiental, generación de valor económico e inclusión social. Su principal ventaja consiste en transformar la visión tradicional del residuo mediante sistemas donde productos y materiales permanecen en circulación durante periodos más prolongados. Desde la dimensión ambiental, este enfoque puede reducir los residuos enviados a disposición final, disminuir la utilización de materias primas vírgenes y promover sistemas de reciclaje, reutilización y compostaje. Estas acciones resultan especialmente relevantes en ciudades en crecimiento donde el aumento de la actividad económica y poblacional incrementa continuamente los flujos de materiales. Desde el punto de vista económico, las actividades circulares pueden crear nuevos emprendimientos y empleos relacionados con reparación, clasificación, reciclaje, transformación y comercialización de materiales recuperados. Además, las empresas pueden beneficiarse mediante una utilización más eficiente de sus recursos y la reducción de ciertos desperdicios productivos. Sin embargo, la sostenibilidad financiera de estos sistemas requiere mercados organizados, acceso al financiamiento e incentivos para la innovación. La dimensión social constituye uno de los elementos más importantes en el contexto colombiano. Los recicladores de oficio deben integrarse activamente en las estrategias de economía circular debido a su experiencia y participación histórica dentro de las cadenas de recuperación. El fortalecimiento de sus organizaciones puede contribuir tanto a mejorar el desempeño ambiental de la ciudad como a generar condiciones económicas y sociales más justas. La participación ciudadana también es indispensable. La economía circular comienza en las decisiones de consumo y continúa mediante la correcta separación, reutilización y disposición de materiales. Por tanto, la educación ambiental debe convertirse en un proceso permanente y no exclusivamente en campañas ocasionales. Las instituciones educativas, organizaciones sociales y gobiernos locales pueden contribuir a consolidar una cultura donde reducir y reutilizar sean acciones prioritarias antes del reciclaje. Finalmente, el desarrollo de la economía circular en Barranquilla dependerá de la capacidad de articular políticas públicas, innovación empresarial, conocimiento académico y participación comunitaria. No existe una única estrategia capaz de resolver todos los desafíos. Es necesario combinar acciones de prevención de residuos, reciclaje inclusivo, compostaje, reparación, reutilización, innovación tecnológica y formación ciudadana. Una política territorial integrada permitiría que la economía circular dejara de ser únicamente una estrategia de manejo de residuos para convertirse en un componente estructural del desarrollo sostenible de Barranquilla y del departamento del Atlántico.

Referencias

- Ellen MacArthur Foundation. (2015). *Towards a circular economy: Business rationale for an accelerated transition*. Ellen MacArthur Foundation.
- Geissdoerfer, M., Savaget, P., Bocken, N. M. P., & Hultink, E. J. (2017). The circular economy—A new sustainability paradigm? *Journal of Cleaner Production*, 143, 757–768.
- Ghisellini, P., Cialani, C., & Ulgiati, S. (2016). A review on circular economy: The expected transition to a balanced interplay of environmental and economic systems. *Journal of Cleaner Production*, 114, 11–32.
- Haas, W., Krausmann, F., Wiedenhofer, D., & Heinz, M. (2015). How circular is the global economy? An assessment of material flows, waste production, and recycling in the European Union and the world. *Journal of Industrial*

Ecology, 19(5), 765–777.

- Homrich, A. S., Galvão, G., Abadia, L. G., & Carvalho, M. M. (2018). The circular economy umbrella: Trends and gaps on integrating pathways. *Journal of Cleaner Production*, 175, 525–543.
- Korhonen, J., Honkasalo, A., & Seppälä, J. (2018). Circular economy: The concept and its limitations. *Ecological Economics*, 143, 37–46.
- Kirchherr, J., Reike, D., & Hekkert, M. (2017). Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions. *Resources, Conservation and Recycling*, 127, 221–232.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2019). *Estrategia Nacional de Economía Circular: Cierre de ciclos de materiales, innovación tecnológica, colaboración y nuevos modelos de negocio*. Gobierno de Colombia.
- Murray, A., Skene, K., & Haynes, K. (2017). The circular economy: An interdisciplinary exploration of the concept and application in a global context. *Journal of Business Ethics*, 140(3), 369–380.
- Prieto-Sandoval, V., Jaca, C., & Ormazabal, M. (2018). Towards a consensus on the circular economy. *Journal of Cleaner Production*, 179, 605–615.
- Suárez-Eiroa, B., Fernández, E., Méndez-Martínez, G., & Soto-Oñate, D. (2019). Operational principles of circular economy for sustainable development: Linking theory and practice. *Journal of Cleaner Production*, 214, 952–961.
- Winans, K., Kendall, A., & Deng, H. (2017). The history and current applications of the circular economy concept. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 68, 825–833.