

Sumario

Editorial

Tribuna de debate +

Aula abierta +

Investigación +

Entrevista

Innovaciones de éxito y
transferencias de tecnología +

La I+D en cifras

La I+D en la red

Línea directa con madri+d +

Bibliografía +

Con otro aire

Tribuna de debate

Propuesta de un modelo integral basado en criterios estratégicos de evaluación y priorización para soporte a la toma de decisiones en la electrificación rural con energías renovables de los países en vías de desarrollo

Con objeto de servir de guía de referencia a las empresas eléctricas y a las ONG, en sus programas y proyectos de electrificación rural sostenible de regiones geográficas desfavorecidas económicamente, se ha desarrollado un modelo estratégico integral de selección y priorización de binomios geográfico-energéticos. Su aplicación está orientada a garantizar el interés social y la viabilidad energética, económica, financiera y medioambiental, en aras de propiciar el desarrollo económico y humano sostenible con carácter global.

Luis Rebollo

Profesor Titular del
Departamento de
Ingeniería Energética
Escuela Técnica Superior
de Ingenieros Industriales
Universidad Politécnica de
Madrid



1. Introducción.

Este artículo es producto de un proyecto de investigación realizado sobre el proceso de la toma de decisiones asociado a los programas de electrificación, con energías renovables, de zonas rurales aisladas y deprimidas económicamente en países en vías de desarrollo. Se trata de proponer un modelo de evaluación integral basado en criterios estratégicos que abarcan, de forma conjunta, tanto cualitativa como cuantitativamente, las distintas facetas involucradas, como son el potencial energético natural, el mercado tecnológico de energías renovables disponible, los efectos medioambientales producidos y evitados, la viabilidad económica y financiera de los programas y proyectos de electrificación rural, los condicionantes sociológicos, y las orientaciones derivadas de la planificación en política energética.

En estos programas, los agentes electrificadores, normalmente empresas eléctricas, y ocasionalmente ONG's, precisan analizar las zonas geográficas en donde resulte de interés acometer estas inversiones, con tecnología de energías renovables, evaluando tanto el potencial renovable natural como la viabilidad socio-económica del programa de electrificación, en sí mismo, analizando las oportunidades y los riesgos que tiene asociados. Por ello, se ha entendido que puede resultar de interés desarrollar una propuesta de modelo integral para elaborar la selección de países y tecnologías de energías renovables que permita configurar la lista definitiva y priorizada de regiones rurales candidatas a la electrificación, así como de las tecnologías óptimas a emplear.

Partiendo de un conjunto de *países candidatos a ser electrificados*, por su atractivo para la inversión privada, ya sea con espíritu de lucro o con orientación solidaria, se precisa establecer su priorización, configurando la lista de *países definitivos a electrificar*, así como

identificar la tecnología idónea de energías renovables a implantar en cada caso. El modelo desarrollado (véase figura 1) permite la evaluación de las grandes zonas geográficas no electrificadas en el mundo que dispongan de atractivo para la inversión privada, clasificando los diferentes países y las diferentes alternativas de tecnologías de energías renovables que potencialmente podrían emplearse en la electrificación de sus zonas rurales. Como resultado se obtiene la clasificación final (*ranking*) de países a electrificar, ordenada en función de su interés comercial, por la oportunidad de negocio que ofrece, o de su interés solidario, por la oportunidad de desarrollo humano que propicia, junto con la tecnología de energías renovables a implantar.



2.Desarrollo del modelo.

El modelo de evaluación propuesto, que se presenta en la figura 1, tiene un doble enfoque conceptual:

- a) clasificar aquellos proyectos que contribuyan al desarrollo social y económico de los países en donde se implanten,
- b) seleccionar aquellos proyectos que resulten más atractivos para las empresas privadas o para las ONG's.

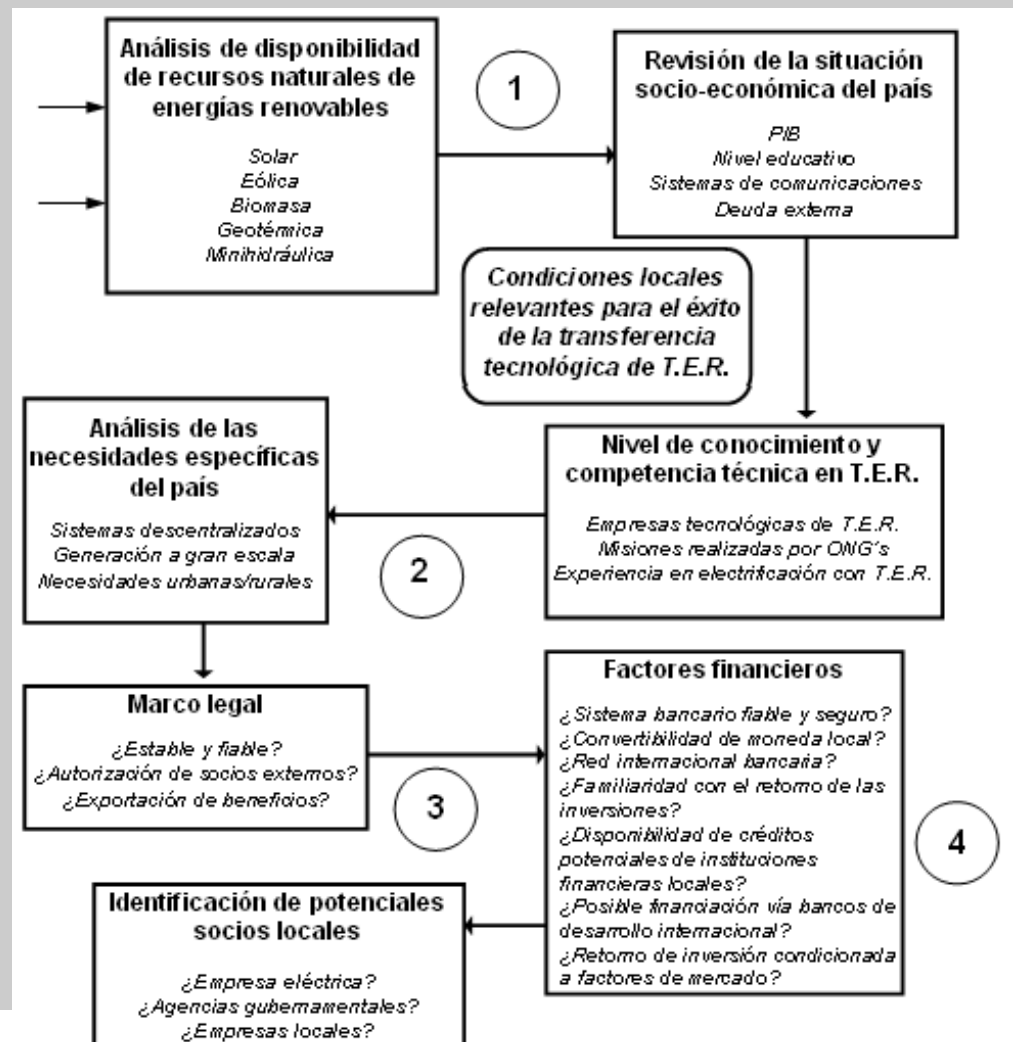
Con objeto de conseguir este doble enfoque, se combinan criterios cuyo análisis permite que ambos propósitos resulten compatibles.

Para el desarrollo conceptual del modelo, se ha estructurado la evaluación en tres fases consecutivas, como sigue:

- La *primera fase* clasifica los países en función de su atractivo, teniendo en cuenta los factores de evaluación que en su desarrollo se han identificado como críticos, y que por orden de importancia son los siguientes:
 - Atractivo por existencia de *recurso energético* de energías renovables.
 - Atractivo del país por su seguridad frente al *riesgo-país*.

- Atractivo del país por el papel que la electrificación puede ejercer para compensar las *desventajas sociales*, el *déficit eléctrico* y el *déficit de energía primaria*.
- Atractivo del país por las facilidades que aporte a la campaña de electrificación el hecho de disponer de *regulación y normativa* relativa al suministro de electricidad, la existencia de un *Organismo regulador*, así como la existencia de *regulación específica sobre energías renovables*.
- La *segunda fase* clasifica por su interés, para cada país, las distintas opciones de tecnologías de energías renovables que se pueden emplear en las campañas de electrificación rural, valorando el atractivo de cada opción energética, para lo que se tienen en cuenta los siguientes factores:
 - *Potencial de cada tecnología de energías renovables*, considerando su potencial energético renovable, la experiencia del país respecto a dichas tecnologías, y la estrategia de desarrollo futuro de las energías renovables, así como la capacidad local de ingeniería aplicable a proyectos de electrificación con dichos recursos energéticos.
 - *Posibilidades de financiación* de los proyectos de energías renovables, incluyendo la factibilidad de la financiación internacional y local.
- La *tercera fase* integra los resultados de las dos fases previas, generando el *ranking* final País-Tecnología que se empleará a modo de tabla de referencia para identificar sinergias de interés en determinadas regiones geográficas, facilitando la orientación de futuras inversiones asociadas a las operaciones de transferencia de tecnología, tanto de tipo comercial (empresas eléctricas) como solidario (ONG).

A continuación, se describen, con mayor detalle, cada una de las tres fases citadas de la evaluación metodológica.



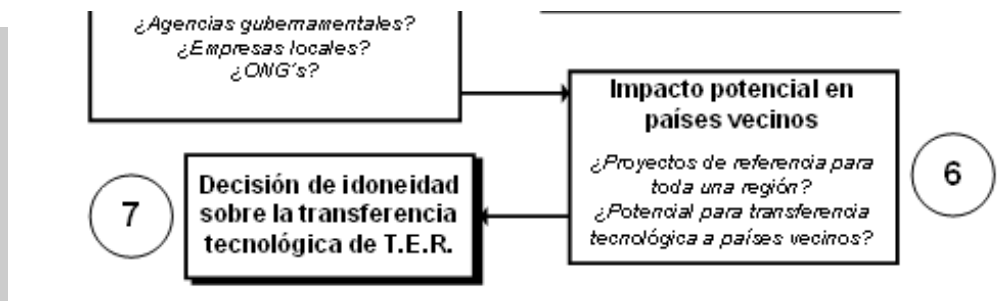


Figura 1: Diagrama modular de la herramienta de evaluación.

Fase I: Clasificación básica de países

Para evaluar y clasificar cada país, se analizan, de forma independiente, los diversos factores de evaluación, asignándoles una valoración cualitativa (neutra, positiva, o muy positiva), y después se cuantifica cada factor mediante puntuación, de forma que pueda establecerse un "*Ranking Básico de Países Seleccionados*", clasificados por su atractivo. A continuación, se describe brevemente cada uno de los parámetros a analizar:

- **Atractivo por existencia de recurso energético de energías renovables:** Se determina por las características energéticas naturales propias de cada emplazamiento.
- **Atractivo por la seguridad frente al "riesgo-país":** El atractivo por la seguridad que ofrece un país frente al riesgo (riesgo-país) se determina en función de su estabilidad política y económica, su desarrollo social e institucional, así como su posible influencia en el desarrollo e implantación del proyecto de electrificación.
- **Atractivo por las desventajas sociales:** Se consideran una serie de factores conectados con el desarrollo del país, con el propósito de potenciar la posición en el *ranking* de aquellos países en los que un proyecto de electrificación mediante energías renovables pueda contribuir mejor al desarrollo económico. La valoración del atractivo se obtiene de la evaluación de los dos subcriterios siguientes:
 - a) contexto socio-económico actual (desventajas existentes en las condiciones de vida),
 - b) potencial de desarrollo agrícola, industrial y turístico del país.
- **Atractivo por el déficit eléctrico:** Teniendo en cuenta el tipo de proyecto planteado, y el doble enfoque del modelo, los países resultarán tanto más atractivos cuanto mayor sea el déficit eléctrico presenten. La valoración de este concepto se obtendrá de la evaluación de los tres subcriterios de que consta:
 - a) evaluación del crecimiento de la demanda y análisis de la situación actual de cobertura de la demanda,
 - b) porcentaje de población con suministro eléctrico,
 - c) número de horas al año en que se ve interrumpido el suministro eléctrico.
- **Atractivo por el déficit energético:** Se evalúa el grado de dependencia energética exterior del país y, por tanto, las necesidades de nuevas fuentes de energía, comenzando a partir de datos relativos a la producción, y a la importación y exportación de productos energéticos. Para ello, en cada país, se analizará el balance energético general para cada tipo de energía primaria, considerando las importaciones y las exportaciones de productos energéticos, de forma que se pueda disponer así de una medida de su dependencia energética exterior. En este contexto, las energías renovables, que pueden emplear recursos locales y contribuir a reducir dicha dependencia, resultarían tanto más interesantes para el país cuanto

mayor fuese su dependencia energética externa.

- *Atractivo por el Marco Regulatorio eléctrico:* Para determinar el nivel de regulación del sector eléctrico de que dispone el país, que propiciará el correspondiente nivel de atractivo para inversiones en proyectos de electrificación basados en energías renovables, este modelo analiza los tres factores siguientes:
 - a) existencia de una Ley General del Sector Eléctrico,
 - b) existencia de un Organismo Regulador,
 - c) existencia de una Regulación específica sobre energías renovables.

En consecuencia, la valoración de este concepto corresponde a la de los tres criterios que lo conforman.

Tras calcular la puntuación acumulada por cada país, sumando la puntuación asignada por los diversos atractivos, se dispone de una puntuación individualizada, por lo que el ordenamiento de la tabla, conforme a dicha puntuación total, conformará el *Ranking Básico de Países para Inversiones de Electrificación Rural*.

Fase II: Clasificación de Energías Renovables en cada país

Esta segunda fase de la evaluación metodológica parte de los resultados obtenidos en la primera fase, en la que se descartan los países sin atractivo y se agrupan los países con atractivo, debidamente categorizados, y está orientada a la cuantificación en cada país de los dos criterios siguientes:

- *Atractivo por el potencial energético renovable disponible:* Se analizan las distintas tecnologías de energías renovables (TER) aplicables a cada país, seleccionando las más adecuadas y priorizándolas conforme a su nivel de importancia.
- *Atractivo por las posibilidades de financiación disponibles:* Se evalúa la factibilidad de financiación de los proyectos de electrificación con cada una de las tecnologías de energías renovables aplicables, considerando las opciones de fondos locales y de fondos internacionales.

Como resultado se dispone de la priorización de cada una de las opciones tecnológicas de energías renovables en cada uno de los países candidatos, en función de su potencial presente y futuro, así como considerando sus posibilidades de financiación privada o institucional, tanto local como internacional.

Fase III: Clasificación final de binomios País-TER

El objetivo final de la aplicación del modelo, que es la obtención de una lista priorizada, en función de su atractivo, de los binomios País-TER, se alcanza integrando las valoraciones obtenidas en las fases I y II. A continuación, mediante la ordenación sistemática del conjunto de puntuaciones obtenidas para todos los binomios País-TER, se obtiene un listado que se denomina *Ranking Básico de Proyectos Tipo (País-TER)* que servirá a las empresas eléctricas y a las ONG, en primera aproximación, como guía orientativa para seleccionar las zonas geográficas de interés para sus inversiones, así como las TER a emplear en cada zona, priorizando los proyectos de electrificación rural en función de su interés socio-económico, de su viabilidad tecnológica, de su factibilidad financiera, y de las sinergias que implique.

Buscando la rentabilidad económica, y partiendo del *ranking* obtenido, las empresas eléctricas concluirán el interés de realizar proyectos específicos con alguna tecnología concreta de energía renovable en alguno de los "*países preferentes*" identificados, en función del atractivo global que ofrezcan, y seleccionarán la zona geográfica de referencia para posteriores programas y proyectos de electrificación, con transferencia de tecnología

de energías renovables, considerando su potencial de desarrollo futuro y sus sinergias. Complementariamente, para seleccionar los proyectos de electrificación a emprender por las ONG, que tienen como objetivo la rentabilidad solidaria y el desarrollo humano, y asumen una parte importante de la inversión a realizar, tratándola como un coste hundido, del análisis del *ranking se* identificarán los "*países desvaforecidos*", excluidos para aplicaciones de rentabilidad económica, procediendo a su clasificación final en función de su índice de penuria socio-económica.

3. Resultados del modelo.

Con los resultados obtenidos de la aplicación del modelo desarrollado a un conjunto de países preseleccionados por su potencial interés, se abordarán los análisis conducentes a la clasificación de binomios País-TER por su atractivo rentable (empresas eléctricas) o por su atractivo solidario (ONG); a la clasificación de tecnologías de energías renovables, por su atractivo para la zona rural analizada; así como al establecimiento de los distintos *ranking*:

- *Ranking básico de Países* y de *Regiones geográficas*, tras contabilizar su potencialidad integral en recursos energéticos renovables.
- *Ranking* básico de *Tecnologías de Energías Renovables*, derivado del análisis de su aplicabilidad a distintas zonas geográficas.
- *Ranking* básico de binomios *Países-TER* y de binomios *Regiones-TER*, considerando el atractivo sociológico, energético, económico, financiero y tecnológico.
- *Ranking* ponderado de binomios *Países-TER* y de binomios *Regiones-TER*, pesando los resultados previos con factores de viabilidad geográfico-tecnológica.

Complementariamente, resulta de interés analizar tanto la *versatilidad tecnológica* de un país frente a la implantación de distintas opciones de energías renovables, como la *versatilidad geográfica* de una tecnología de energías renovables frente a su implantación en los distintos países y zonas geográficas en que se pueda explotar, lo que permite el establecimiento de los dos *ranking* finales ponderados de binomios *Países-TER* y *Regiones-TER*, a emplear como referencia soporte en el proceso de toma de decisiones.

4. Valoración global y conclusiones.

Como valoración global, cabe destacar la importancia de determinar la *contribución potencial* de los sistemas energéticos renovables al desarrollo rural sostenible, con el fin de lograr un mayor compromiso económico y político con los programas y proyectos de electrificación, perfeccionando su elaboración y su explotación. Además, como resultado de lo investigado, desarrollado y aplicado en el trabajo de I+D realizado, se concluye la relación relevante existente entre la energía y la prosperidad económica; la importancia de los mercados eléctricos rurales emergentes; el papel prioritario a desempeñar por las energías renovables en los programas y proyectos de electrificación rural en los países en vías de desarrollo; la función activadora y dinamizadora que desempeñan las tecnologías de energías renovables en la economía rural de las zonas deprimidas económicamente; así como la necesidad de establecer una metodología multidisciplinar para propiciar su enfoque racional óptimo.

Una de las enseñanzas más importantes del estudio realizado es que el éxito de los programas de electrificación rural con recurso energético renovable mejora considerablemente con el empleo de una *estrategia integral* que considere todos los aspectos del problema y no se limite a la mera optimización técnico-económica. Por ello, la principal conclusión derivada de la I+D desarrollada es que se requiere emplear un *modelo integral robusto basado en criterios estratégicos consolidados de evaluación y priorización*, para orientar la toma de decisiones en los programas y proyectos de electrificación con tecnologías de energías renovables en las zonas rurales de los países en vías de desarrollo, de forma que se garantice su interés social, su viabilidad financiera, económica y

técnica, incluyendo la planificación eléctrica a medio y largo plazo, y se potencie la eficiencia energética y el control y la protección del medio ambiente, en aras de propiciar el desarrollo económico y humano sostenible, con carácter global.

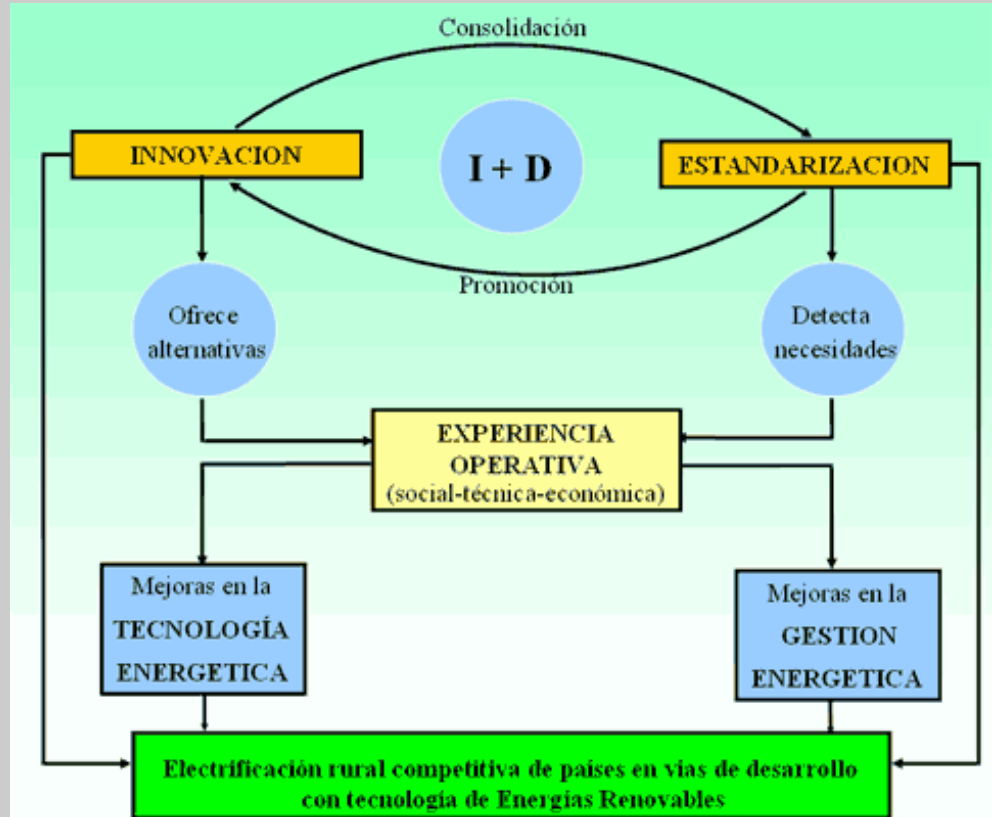


Figura 2: Innovación y estandarización en la electrificación rural con T.E.R.

Finalmente, se puede concluir que la propuesta de modelo que se ha desarrollado en la investigación puede ser un buen punto de partida para su posterior desarrollo, verificación y validación, aplicando la técnica combinada de innovación y estandarización, conforme se presenta en la figura 2, de forma que pueda consolidarse como una herramienta útil, de propósito general, para los gestores de las propias comunidades rurales de los países en vías de desarrollo; sus Administraciones locales, nacionales y regionales -entendiendo por región la zona geográfica que integra varios países vecinos de características similares- ; las empresas eléctricas locales; las empresas eléctricas extranjeras que estén interesadas en implantarse en la región geográfica para iniciar el negocio de la electrificación rural, como servicio básico; las empresas suministradoras de los bienes de equipo que precisan las aplicaciones tecnológicas de las energías renovables; las empresas de servicios de ingeniería energética, locales o extranjeras; y las ONG orientadas a la eliminación de la pobreza a través del desarrollo humano solidario.

