

SISTEMAS INTEGRADOS DE SUMINISTRO ELÉCTRICO AISLADO Y CONECTADO A LA RED: INNOVACIÓN Y GOBERNANZA ORGANIZATIVA PARA EL ACCESO UNIVERSAL

ANDRÉS GONZÁLEZ GARCÍA

IGNACIO PÉREZ ARRIAGA

Universal Energy Access Lab IIT-Comillas & MIT

El Acceso Universal a Electricidad y Calor Moderno en 2030 (ONU SG, 2015; SG AGECC, 2010; SG High-Level Group on Sustainable Energy for All, 2012) que satisfaga hoy niveles esenciales de servicio, y acompañe el logro de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) (UN General Assembly, 2015) de nuestras comunidades, es hoy un logro al alcance de nuestra sociedad.

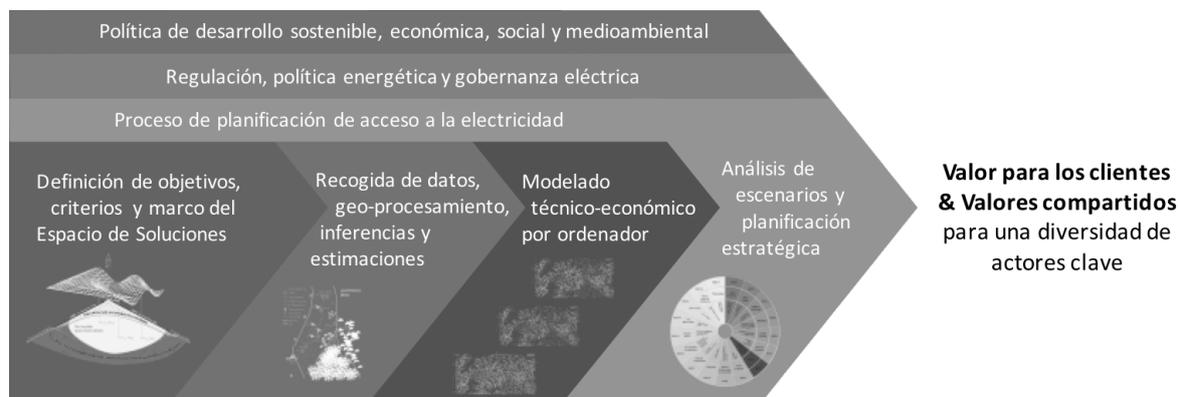
La búsqueda de soluciones a la falta de acceso a la electricidad, con más de mil cien millones de personas que aún dependen de las lámparas de queroseno, las velas o el fuego para iluminarse (*International Energy Agency*, 2017), a las que hay que añadir a aquellas personas que tienen un suministro eléctrico insuficiente y de muy baja calidad, supone la necesidad de profundizar en la diversidad de situaciones en las que los distintos países afrontan este problema. Mientras en Latinoamérica el problema se centra en la electrificación de zonas rurales aisladas, en amplias zonas del África Subsahariana y de Asia el reto está en cómo satisfacer la necesidad de energía de un alto porcentaje de la población, asegurando asimismo la sostenibilidad económica (y medioambiental) de un sector eléctrico lastrado por altas tasas de impago, tarifas que frecuentemente no reflejan el coste real del servicio eléctrico, y una alta dependencia de las subvenciones y fondos públicos o de procedencia internacional para la expansión de la red o la electrificación con micro-redes y kits solares.

Un esfuerzo de esta magnitud (Bazilian *et al.*, 2010; Bazilian & Pielke, 2013) requiere considerar con cuida-

do un número de factores multidisciplinares a escala individual, local, regional, nacional e internacional (Balachandra, 2011; Dietrich, López-peña, & Linares, 2013; I. Pérez-Arriaga & Stoner, 2015; Schillebeeckx, Parikh, Bansal, & George, 2012). Será necesaria la participación de capital económico, humano y tecnológico a través de, muy probablemente, la implicación de grandes compañías y de enfoques innovadores, «glocales» (integrando lo global y lo local) y altamente eficientes, mediante el uso intensivo de tecnologías de la información y las comunicaciones que permitan disminuir drásticamente los costes administrativos y de servicio, adaptándose a las necesidades y capacidad de pago de los usuarios más desfavorecidos, al tiempo que también enfoques descentralizados y de abajo a arriba surgidos desde la innovación en la propia base de la pirámide pueden suponer, y están suponiendo de hecho, un impulso que además está contribuyendo al dinamismo de las propias comunidades beneficiarias.

En línea con el paradigma de la creación de valor compartido para la solución a gran escala de problemas sociales (Porter & Kramer, 2011), el éxito so-

FIGURA 1
CADENA DE VALOR DEL PROCESO DE ELECTRIFICACIÓN



Fuente: Elaboración propia

lamente será posible cuando se puedan poner en marcha modelos de negocio sostenibles y atractivos, con la participación activa de las comunidades de beneficiarios y la participación de un ecosistema de actores que incluye también a compañías privadas, organizaciones sociales, instituciones educativas y de investigación, gobiernos, agencias de cooperación, organismos financieros e instituciones internacionales.

El artículo comienza poniendo en esta perspectiva el proceso de electrificación universal, identificando sus componentes principales, y la forma en que distintas fases y niveles de decisión contribuyen a la creación de valor, no sólo para los beneficiarios directos de la electricidad, sino para todos los actores participantes.

A continuación, en respuesta a la complejidad y dimensión de este reto, el artículo presenta un marco conceptual que expone las principales lecciones aprendidas a través de las actividades de nuestro grupo de investigación en planificación del acceso a la electricidad (India, Kenia, Ruanda, Nigeria, Colombia y Perú, entre otros países); regulación de las actividades de extensión de la red a las poblaciones más desfavorecidas y del suministro con micro-redes y sistemas aislados (Guatemala, India, Ruanda, Perú y Bolivia); y el diseño de la electrificación con micro-redes (Kenia, Colombia, India y Ruanda); y del trabajo con responsables gubernamentales, empresas, organizaciones no gubernamentales, agencias de cooperación y organismos internacionales.

Finalmente, se exponen dos propuestas concretas de plasmación de este marco apoyadas sobre tres pilares fundamentales, cuyo objetivo primordial es crear las condiciones necesarias para la atracción del capital económico, tecnológico y humano necesario para lograr el acceso universal a la electricidad en la situación siempre difícil de los países, según los diferentes retos que cada uno afronta.

LA CREACIÓN DE VALORES COMPARTIDOS EN EL PROCESO DE ELECTRIFICACIÓN ↓

El conocido proceso representado por la cadena de valor puede aplicarse, más allá de la creación de valor para el cliente, en forma más amplia a la creación de valores compartidos según el marco de Michael Porter para la solución de problemas sociales (Porter & Kramer, 2011).

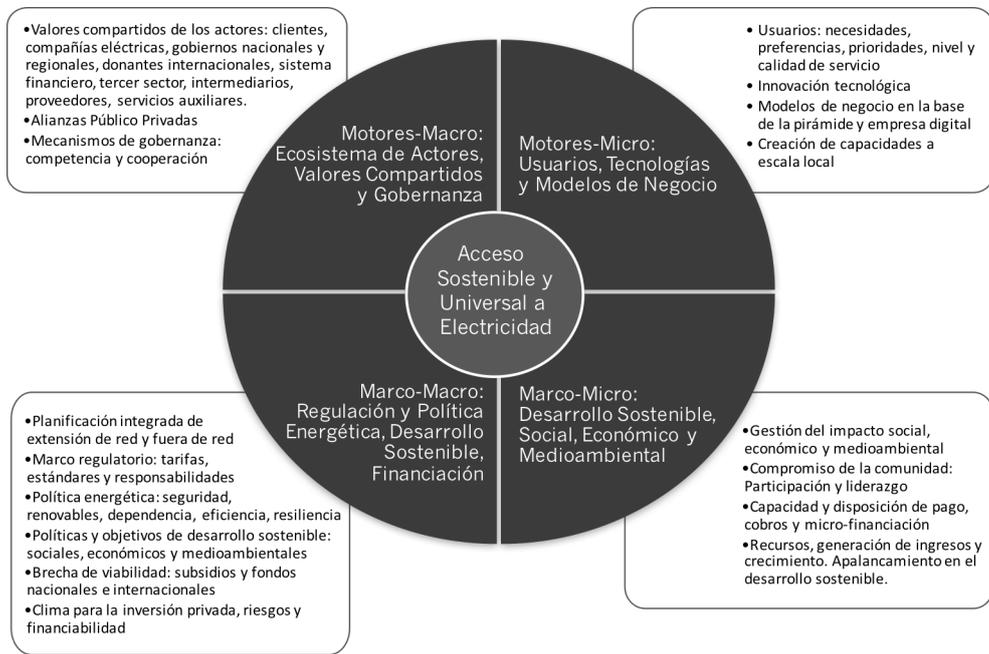
La Figura 1 muestra de forma esquemática el proceso de electrificación, y cómo sus diversos elementos y fases acompañan la creación de valor no ya sólo para los clientes (la utilidad de la electricidad), sino de valores compartidos para todos los agentes comprometidos en este proceso.

El valor para los clientes (tanto nuevos como ya existentes) está no tanto en la cantidad o calidad del suministro, sino en función de los servicios energéticos a los que los usuarios acceden a través de la electricidad, ya sean servicios domésticos, productivos o comunitarios.

Por otro lado, el valor para los diversos *stakeholders* o actores se puede analizar desde diversas perspectivas, siendo la primera la de la expansión del negocio eléctrico a un nuevo mercado de más de mil millones de usuarios y del potencial beneficio económico asociado. Este negocio supone una oportunidad tanto para las compañías distribuidoras de red como para nuevos actores distribuidos, proveedores de equipo, de servicios financieros y de microcréditos en la base de la pirámide.

Junto a este valor económico, existe un proceso de creación de valor social que la electrificación, como infraestructura esencial, aporta en muy diversas dimensiones del desarrollo humano sostenible (educación, salud, generación de ingresos, seguridad, igualdad de género, productividad...) en torno a los cuales diversos actores pueden alinear sus intereses: desde las propias comunidades hasta los gobiernos

FIGURA 2
DIAGRAMA CONCEPTUAL DE LOS ELEMENTOS CLAVE PARA UNA
ESTRATEGIA INTEGRADA PARA EL ACCESO SOSTENIBLE Y UNIVERSAL A LA ELECTRICIDAD



Fuente: Elaboración propia

nacionales, regionales y locales; agencias internacionales de cooperación y donantes; empresas, otros actores privados y el tercer sector.

HACIA UNA ESTRATEGIA INTEGRADA DE ACCESO SOSTENIBLE Y UNIVERSAL A LA ENERGÍA ↓

La implementación a gran escala de la infraestructura necesaria y de los modelos de negocio sostenibles para su operación y mantenimiento a largo plazo (Chaurey, Krithika, Palit, Rakesh, & Sovacool, 2012; IFC World Bank, 2012), ya sea para una extensión de la red de distribución eficiente, moderna y de bajo coste (NRECA International, 2000), como para la electrificación fuera de red (Alam & Bhattacharyya, 2016; Kim *et al.*, 2016; Shaahid & El-Amin, 2009) que requiere la consecución de este objetivo, demanda un acercamiento ambicioso, comprehensivo e integrado desde múltiples ángulos (Garside & Bellanca, 2013; González-García, Amatya, Stoner, & Pérez-Arriaga, 2016; Wilson, Wood, & Garside, 2012). Se inicia poniendo el foco en las necesidades de cada usuario (Schillebeeckx *et al.*, 2012) y las características de su entorno local, especialmente cuando se trata de comunidades aisladas y poblaciones en la base de la pirámide, en situación de exclusión social y económica (Harries, 2002), pasando por la planificación de la electrificación y el marco regulatorio y político nacional (Bhattacharyya, 2013; Eberhard & Tenenbaum, 2005; I. Pérez-Arriaga & Stoner, 2015) hasta llegar a los agentes que han de hacer posible este acceso. El papel que juegan estos actores puede verse desde la perspectiva de la actividad e inversión privada y del rol de los

estados (Wilson, Rai, & Best, 2014), la participación y financiación por parte de organismos internacionales y agencias de cooperación (ESMAP, 2012; Mwalenga, Amatya, Gonzalez-Garcia, Stoner, & Pérez-Arriaga, 2016; Pueyo, Orraca, & Grocery-Wood, 2015) y la gobernanza de este complejo ecosistema de actores en la lucha contra la pobreza energética (Bazilian, Nakhoda, & Van De Graaf, 2014; Trotter, 2016).

La Figura 2 muestra en cuatro cuadrantes los elementos clave de una estrategia integrada para el acceso sostenible y universal a servicios eléctricos (tanto para los consumidores conectados a la red nacional como para los que disfrutaban de un suministro aislado, ya sea por micro-redes o con solar kits o sistemas domiciliarios).

Los cuatro cuadrantes que muestra la Figura 2 son el producto de separar por un lado, mediante el eje vertical, aquellos elementos más relevantes en el ámbito local (o micro) de los más nacionales o globales (macro). Por otro lado, el eje horizontal clasifica los elementos entre aquellos agentes o motores que dan impulso al proceso de electrificación universal, y aquellas características del marco que facilitarían el logro de este objetivo.

Motores-Micro: Los beneficiarios finales, la innovación tecnológica y los modelos de negocio en la base de la pirámide ↓

Este primer cuadrante (Motores-Micro) pone el foco en el detalle de los elementos que impulsan el proceso de electrificación universal desde una escala local, concre-

ta para cada tipo de usuario en una comunidad, según las tecnologías y modelos de negocio posibles.

Empezamos por este cuadrante precisamente porque entendemos que todo el proceso de creación de valor está primordialmente dirigido hacia la satisfacción de las necesidades de los clientes (Practical Action, 2010, 2012, 2013; Schillebeeckx *et al.*, 2012) y en función de este objetivo veremos cómo se alinean el resto de elementos de la estrategia de electrificación.

El principal marco de referencia para el Acceso Universal a la satisfacción de estas necesidades energéticas es el establecido por el programa *Sustainable Energy for All*, SE4all (ESMAP, World Bank, & IEA, 2013) y por la meta 7.1 de Acceso Universal a formas modernas de energía de los Objetivos de Desarrollo Sostenible, ODS (UNDP, 2015). Establece hasta cinco escalones, o niveles de referencia (*Tiers*), que gradúan las diversas necesidades de acceso de los consumidores domésticos, para traducirlas después en cinco niveles de cantidad y calidad del suministro eléctrico (y otros cinco para acceso a calor moderno). Este marco puede asimismo aplicarse a actividades productivas (Practical Action, 2012) y comunitarias (Practical Action, 2013).

El primer impulso motor se da por la existencia de un mercado actualmente insatisfecho para la población sin acceso a energía eléctrica. Un mercado estimado por encima de los 37 mil millones de dólares anuales en todo el mundo (IFC World Bank, 2012), que es una cota inferior marcada por el importe que dedican a la iluminación con lámparas de queroseno, velas o linternas con pilas desechables, de mucha menor calidad y versatilidad que alternativas modernas y asequibles de suministro eléctrico (extensión de red, micro-redes, kits y lámparas solares).

Sin embargo, es importante hacer notar que el Acceso Universal no se garantiza solamente con lograr que todas las casas tengan un punto de suministro eléctrico, asegurándose de que los usuarios son capaces de (y quieren) pagar el coste del suministro. También han de poder afrontar la compra o uso de los aparatos necesarios para satisfacer esas necesidades (desde las bombillas, teléfonos y radios en las casas, pasando por las máquinas para coser, los frigoríficos de las tiendas de alimentación o los ordenadores de los centros de educación y oficinas, hasta las bombas de agua y maquinaria agroindustrial, por ejemplo).

El siguiente gran impulso motor que ha permitido plantear el logro del Acceso Universal a medio plazo a escala global viene de la mano de la acelerada innovación en tecnologías, especialmente a lo largo de las últimas dos décadas. En primer lugar por la extensión de redes de bajo coste como las del programa «Luz para Todos» (Slough, Urpelainen, & Yang, 2015), que por medio del establecimiento de estándares de bajo coste para el tendido de redes en zonas rurales ha permitido a Brasil aumentar su tasa de electrificación desde el 82% en 2003 al 98% en 2014. A continuación por la reducción de los costes de inversión de la generación distribuida, sobre todo solar con baterías para micro-redes y siste-

mas individuales aislados, y terminando por el auge en los últimos años de los kits solares (baratos, portátiles, de poco peso y de alta eficiencia) que por una fracción del coste de conexión a la red, pueden suministrar niveles esenciales de energía para iluminación y tecnologías de la información y las comunicaciones (principalmente carga de teléfonos móviles, pero también pequeñas radios y televisiones, o aparatos de alta eficiencia como ventiladores, entre otros).

También en cuanto a las tecnologías de suministro es necesario atender a los aspectos micro en relación con las necesidades y el entorno local. Hemos podido analizar el caso por ejemplo de comunidades rurales del estado de Uttar Pradesh en la India, donde a pesar de tener la posibilidad de conectarse a la red eléctrica en la misma aldea (opción que por lo general suele ser la preferida por los usuarios) una parte significativa de la población prefiere no conectarse a la misma. El suministro de red en estas comunidades rurales sufre de frecuentes y largos apagones, en muchos casos durante varias horas al día, y a menudo por la tarde noche, que es cuando en las horas de mayor precio de la energía las compañías eléctricas priorizan dirigir la energía a las zonas urbanas (de menor coste de servicio y mayores ingresos) cortando el suministro selectivamente a las líneas que alimentan determinadas áreas rurales (ya sea en el pasado por la insuficiente capacidad de generación, o porque el suministro de energía en esas zonas no compensa económicamente considerando la diferencia entre la tarifa pagada por los usuarios y el precio en las horas de punta del mercado eléctrico). En estas condiciones los (pocos) usuarios conectados a la red tienen que recurrir en muchas ocasiones al uso de caros sistemas de respaldo (baterías o generadores diésel) para los apagones. Por el contrario, a pocos metros, pero todavía cerca de la red o incluso debajo de ella, hay otras casas cuyos habitantes han preferido contratar el servicio de una pequeña micro-red en corriente continua (1) con apenas 4 horas de servicio diarias, pero ajustadas a las horas de la tarde de mayor necesidad. Y aún otras en la misma comunidad recurren no ya a los kits solares sino a las tradicionales lámparas de queroseno y velas, a pesar de su baja calidad y del impacto que las micropartículas que emiten tienen sobre la salud pues, en palabras de uno de esos usuarios, es «la única luz de la que te puedes fiar».

Con este ejemplo se pone de manifiesto que las preferencias y prioridades locales, junto con las expectativas de calidad y cantidad de suministro, son claves para la selección de la tecnología de suministro. Así, el mejor modo de suministro para un usuario concreto en una comunidad, el criterio habitual de menor coste (Levin & Thomas, 2012; Nerini *et al.*, 2016; Zeyringer *et al.*, 2015) debe incorporar no sólo el coste económico o de inversión, sino también el coste social y medioambiental aparejado a cada solución tecnológica, por medio de metodologías multicriterio que permitan valorar estas preferencias locales (Santos & Linares Llamas, 2004).

También en este nivel micro, otro importante y muy necesario motor ha venido de la mano de modelos de

negocio innovadores, descentralizados muchos de ellos, que enraizados muy cerca de las comunidades beneficiarias, dan servicios muy ajustados a sus necesidades. Para un análisis más extenso de los modelos de negocio y tecnologías que permiten el acceso universal, puede consultarse (Gonzalez-Garcia, Amatya, Stoner, & Perez-Arriaga, 2014).

Esta innovación en modelos de negocio para la base de la pirámide, ya sean centralizados o descentralizados, públicos o privados, se ve además favorecida por el desarrollo, universalización y abaratamiento de las tecnologías de información y las comunicaciones, que permite ahora modelos digitales de gestión de los clientes, cobro de facturas e incluso gestión remota del corte de suministro en caso de impago (Action, 2016; Pueyo, 2013), tanto para clientes conectados (a la red o a micro-redes) como para usuarios de kits solares.

La combinación de estos tres elementos está suponiendo un enorme empuje dinamizador de la sociedad local, permitiendo la aparición de nuevos oficios y empleos en torno al suministro de electricidad, y haciendo necesaria también la creación de capacidades locales, tanto humanas como tecnológicas y de negocio, y por tanto la puesta en marcha de mecanismos de sensibilización, formación y capacitación.

Marco-Micro: Anclando la estrategia en el desarrollo sostenible, social, económico y medioambiental de las comunidades beneficiarias

El segundo cuadrante también mantiene la mirada en lo local, pero atendiendo a elementos clave respecto del marco o escenario en el que debe crecer el esfuerzo por la electrificación.

En este sentido, lo primero que debe ponerse en valor es el impacto (tanto positivo como negativo en algunos aspectos) que el proceso de electrificación supone para los beneficiarios.

Este cambio tecnológico, económico, social y también medioambiental necesita gestionarse junto con la comunidad debiendo ésta participar, desde etapas muy tempranas, e incluso liderar ciertos aspectos de la definición de los objetivos de suministro, tecnológicos y de modelo de negocio (Santos & Linares Llamas, 2004).

Un aspecto muy importante en este sentido es el asegurar que el coste del servicio eléctrico suministrado, considerando además cualesquier subvenciones o subsidios aplicables según el caso, sea asequible bien para cada individuo o para el conjunto de miembros de una comunidad, tanto en condiciones de mercado abierto como si se establece algún mecanismo de subsidio cruzado entre distintos miembros con mayor y menor poder adquisitivo de una misma comunidad.

Finalmente, otro de los aspectos críticos que deberán considerarse en el escenario local es la existencia de recursos en cada área concreta para la electrificación distribuida (v.g. perfil horario de radiación social directa y difusa, micro-hidráulica, viento, biomasa, o situación

y distancia de la infraestructura existente de red), pero también sociales, económicos y medioambientales (Legros, Soler, & Bakri, 2003; Maritta, 2002; Pachauri & Rao, 2013; Pueyo, 2014). Bajo una perspectiva de desarrollo integral, el proceso de electrificación puede, y debe, promover el desarrollo, la sostenibilidad, el crecimiento económico y la generación de ingresos de la comunidad local, ayudando así a anclar el modelo de negocio para el suministro en un círculo virtuoso a escala local, que apalanque la viabilidad futura del modelo de negocio por medio del beneficio inducido por el proceso de electrificación en la propia comunidad. Para esto deberá acompañarse de instrumentos e iniciativas públicos y privados en el ámbito local, especialmente en lo relativo a la consideración de los aspectos sociales más relevantes como los usos de la electricidad para la mejora de la alimentación y la agricultura, salud, educación, crecimiento económico, igualdad de género, seguridad, participación y comunicaciones, capacitación, medio ambiente saludable, entre otros (Energy Access Targets Working Group, 2016; Leung & Meisen, 2005; Pachauri & Rao, 2013) poniendo en diálogo el proceso de electrificación con la plasmación local de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (Fuso Nerini *et al.*, 2017).

Marco-Macro: La necesidad de una planificación y un marco regulatorio apropiados, dentro de una política específica de Acceso Universal para el desarrollo sostenible con objetivos asequibles

En este tercer cuadrante entramos ya en los elementos de carácter nacional o global (macro) que van a hacer posible la electrificación universal, empezando por aquellos que tienen que ver con el escenario o marco comprensivo en que se desarrolla.

Dentro de este escenario, los primeros dos elementos fundamentales son la necesidad de una planificación integrada (tanto para la electrificación por extensión de la red como por micro-redes y kits solares u otros sistemas aislados de más potencia) y de un buen marco regulatorio, sin los cuales no va a ser posible la escalabilidad ni la movilización de todos los esfuerzos necesarios para mejorar de forma significativa las vidas de tantos millones de personas (I. Pérez-Arriaga & Stoner, 2015). La regulación permitirá mitigar el riesgo del proceso de electrificación, especialmente teniendo en cuenta las dificultades de extender el servicio universal a poblaciones de bajos o muy bajos ingresos, a zonas muchas veces remotas y aisladas, facilitando así la atracción de capital privado y la «bancabilidad» de los proyectos de electrificación, entre otros beneficios. Por otro lado, una planificación adecuada que minimice el coste total de suministro asociado a los objetivos de acceso definidos por el gobierno, permitirá tanto a los gobiernos, donantes, agencias de electrificación, empresas y otros actores, determinar y planificar a su vez el mejor uso de sus recursos (siempre limitados), estableciendo así un marco comprensivo estable para la inversión y la sostenibilidad de los modelos de negocio asociados a cada modo de electrificación.

RECUADRO 1 EL MODELO DE ELECTRIFICACION DE REFERENCIA (REM) PARA LA PLANIFICACIÓN DEL ACCESO UNIVERSAL A LA ELECTRICIDAD

REM es un modelo de ayuda a las decisiones de planificación de la electrificación por ordenador desarrollado por el «MIT & IIT-Cornillas Universal Energy Access Lab» (universalaccess.mit.edu) y que, para un determinado escenario planteado por el decisor, calcula para cada uno de los usuarios del área de planificación cuál es, desde el punto de vista técnico-económico, el mejor modo de electrificación considerando: a) extensión de la red, b) micro-red o c) sistema aislado o kit solar. Para ello toma en consideración la siguiente información:

- Extensión de red: Características y diseño de la red existente, coste de la energía de red y fiabilidad, costes y características técnicas de los componentes de la red y de la generación fuera de red, códigos de red (media y baja tensión), coste de la falta de suministro, costes financieros y de administración
- Sistemas fuera de red: Componentes de generación y de red, códigos técnicos, despacho anual de la micro-red, coste de la falta de suministro, uso de recursos locales de energía, costes financieros y de administración.

REM es la parte central de un enfoque comprehensivo de la planificación, regulación y política de electrificación rural. Las principales fases son:

1. Recopilación de información, inferencia y toma de decisiones y pre-procesado SIG.
2. Análisis con el REM: Determinación del coste óptimo de electrificación teniendo en cuenta la demanda y localización individual de cada usuario y las diferentes tecnologías disponibles, para escenarios desde unas pocas decenas de casas hasta los millones de clientes en un país.

3. Visualización y procesado de los resultados.

El Modelo de Electrificación de Referencia REM considera conjuntamente los sistemas de extensión de redes y aislados, obteniendo resultados casi óptimos, incluyendo el diseño detallado de dichos sistemas (red y generación).

El REM es una extensión del Modelo de Red de Referencia (RNM) desarrollado por el IIT (Mateo Domingo, Gomez San Roman, Sanchez-Miralles, Peco Gonzalez, & Candela Martínez, 2011) para su utilización tanto en planificación como para el diseño e implementación de proyectos concretos.

Los distintos usuarios son, o bien conectados a la red, forman micro-redes aisladas o reciben un sistema individual o *solar kit*. REM puede desarrollar, tantas veces como sea necesario, diferentes escenarios y hacer así análisis de sensibilidades para ayudar a comprender el impacto de diferentes decisiones: a) diferentes niveles de demanda, b) diferentes calidades de la red o de las micro-redes y sistemas aislados, c) catálogo de red, d) catálogo de generación, e) localización de los usuarios, d) perfil y disponibilidad anual del sol, e) aspectos financieros del modelo de negocio (v.g. tipos de interés, tiempo de retorno de la inversión, operación, mantenimiento...)

Fuente: Elaboración propia

Respecto de la planificación, la forma de determinar cuál es la mejor opción de electrificación para cada usuario (i.e. extensión de red, micro-red o kit solar) requerirá de un análisis técnico-económico de cada una de estas alternativas, para determinar la de menor coste socio-económico (ver RECUADRO 1). Asimismo, permitirá establecer las prioridades de inversión para cada uno de los distintos tramos y fases de implementación del plan, conforme a la disponibilidad de fondos y a las áreas prioritarias conforme a las políticas energética y de desarrollo sostenible.

Un primer aspecto clave del marco regulatorio para la electrificación rural en todo el mundo, tanto en los países más desarrollados como en los menos avanzados, es la realidad de que la electrificación rural, más aún en zonas aisladas, ya sea por medio de la extensión de la red, de micro-redes o de sistemas aislados, es siempre significativamente más cara que la electrificación de áreas urbanas más accesibles y con mucha mayor densidad de población. Esto es lo que denominamos la «Ley de hierro de la electrificación rural». Una segunda característica fundamental común a la mayoría de la población desfavorecida en países en desarrollo (y desarrollados) es la incapacidad por parte del usuario final de afrontar por sí solo el pago del coste del servicio eléctrico, generándose así una brecha de viabilidad entre lo que los modelos de negocio pueden cobrar

de sus usuarios y lo que cuesta la provisión de ese servicio. El impacto de ambos fenómenos, la Ley de hierro universal en la electrificación rural y la brecha de viabilidad, pone de manifiesto la profunda desigualdad que supondría cargar el verdadero coste elevado de servicio, especialmente en zonas aisladas, a las poblaciones más pobres de la tierra.

En estas circunstancias, los resultados de los modelos de planificación informan el cálculo de las tarifas eléctricas (ya sean públicas o establecidas de forma privada entre, por ejemplo, los emprendedores de micro-redes y sus usuarios) de forma que éstas puedan reflejar el coste conjunto de suministro, que incluye una remuneración justa para la financiación, el capital y la empresa o emprendedor que presta el servicio. Pueden además tener en cuenta la existencia de fondos adicionales ya procedan de subsidios directos o cruzados, del presupuesto nacional o de las aportaciones de donantes u otros agentes a un fondo de electrificación rural (*World Bank*, 2010). El establecimiento de unas tarifas reguladas adecuadas (no sólo necesariamente restringidas a los usuarios conectados a la red, sino también por ejemplo para los que están conectados a micro-redes *off-grid* compatibles con la red o a sistemas domiciliarios como en el caso peruano) permitiría una remuneración adecuada de las distribuidoras y un reparto más equitativo de la carga del sistema eléctrico del país para los distintos tramos de población

y consumidores de distintas áreas rurales o urbanas, estableciendo de forma natural un régimen de subsidios cruzados adecuado entre unos y otros. En todos los países (a conocimiento de los autores) las tarifas eléctricas son las mismas para zonas rurales y urbanas (aunque puedan variar requisitos de calidad de servicio). Esto implica la existencia, aceptada de forma natural universalmente, de subsidios cruzados a favor de los consumidores rurales.

Por otro lado, el desarrollo de micro-redes compatibles con la red necesita también de un apoyo regulatorio ya que, por un lado son más caras que otros tipos de micro-red (v.g. micro-redes en corriente continua que solamente suministran unas pocas horas de luz al día) y por otro lado permiten niveles y calidades de suministro estandarizados, similares a los de la propia red, por un coste no muy diferente (el procedimiento técnico-económico habrá determinado en qué circunstancias y aldeas es de hecho más barato desarrollar una micro-red para el servicio eléctrico, en lugar de extender hasta allí la red de distribución o dotarlas de sistemas aislados o *solar-kits*). La regulación puede también establecer en qué forma estas micro-redes podrían eventualmente llegar a conectarse o integrarse totalmente en la red en algún momento, y qué condiciones de retribución deben darse para que los emprendedores que han invertido tanto en la generación como en los activos y construcción de la micro-red reciban una compensación adecuada. Ésta puede ser en forma de quedar conectados a la, ahora, red de distribución como proveedores de energía independientes, o siendo indemnizados por la cesión de sus activos a la compañía eléctrica incumbente. Así, la regulación mitigará el riesgo de este tipo de micro-redes compatibles y permitirá atraer inversión privada a zonas donde la red no llegará, o bien tardará en llegar, reduciendo la presión sobre la compañía eléctrica incumbente para extender la red a todas partes, y acelerando el ritmo de electrificación para el logro del acceso universal.

El proceso de electrificación forma parte también de la política energética nacional, coexistiendo con otros objetivos como la seguridad de suministro, el aumento de la proporción de renovables en el mix energético, la disminución de la dependencia energética del exterior, la mejora de la eficiencia energética y de la resiliencia. Todos estos aspectos tienen su reflejo en la planificación e implementación de la nueva electrificación. La conexión a la red participará del mismo mix centralizado, pero las micro-redes aisladas en zonas remotas tendrán muy posiblemente generación renovable y por tanto contribuirán a la consecución de este otro objetivo. El uso de generadores diésel en las micro-redes, por otro lado, podría aumentar la dependencia energética en caso de que el combustible tuviera que importarse del exterior, al tiempo que contribuiría a las emisiones de CO₂. No obstante, en ocasiones una pequeña proporción de diésel en el mix de generación de una micro-red ayuda a disminuir significativamente el coste de las baterías necesarias para tener una buena calidad de servicio. No se espera de

todas formas que la contribución de la generación diésel a la generación fuera de red siga siendo muy significativa, debido al abaratamiento del resto de tecnologías renovables, a las dificultades y coste de transporte del combustible y a la volatilidad de sus precios, contribuyéndose así desde las políticas de acceso a la energía al logro de los objetivos de la lucha contra el cambio climático.

La electrificación, como ya se ha indicado antes, tiene asimismo impacto y es necesaria para el desarrollo de muchas otras políticas nacionales (Khennas, 2012), y por tanto los objetivos de los planes de electrificación se deben establecer también teniendo en cuenta las diferentes prioridades nacionales (v.g. desarrollo de actividades productivas, formación, comunicaciones...).

Un último aspecto muy importante de la política de electrificación universal está relacionado con la resiliencia del suministro eléctrico, que tendrá un impacto importante en la selección de tecnologías y modelos de negocio. Algunas zonas en desarrollo son especialmente vulnerables y de alto riesgo por distintas razones: naturales, climáticas o meteorológicas (v.g. lluvias torrenciales, huracanes, zonas inundables, terremotos), riesgos humanitarios y de seguridad (v.g. campos de refugiados, zonas de conflicto) o más sencillamente incertidumbres asociadas a la gobernanza eléctrica (v.g. arbitrariedad o variabilidad de la lógica de comportamiento de los distintos actores responsables de la política energética o del servicio). En estas condiciones las tecnologías y modelos de negocio asociados serán mucho más flexibles (v.g. distribución de kits solares) buscando los menores tiempos posibles de retorno de la inversión para minimizar los riesgos, y facilitando el que los equipos puedan desmontarse rápidamente y trasladarse en caso necesario. Esta necesidad de resiliencia ante los distintos riesgos incrementará los costes de servicio y posiblemente hará difícil alcanzar los niveles de electrificación por encima de la satisfacción de las necesidades esenciales.

Finalmente, la atracción de capital privado en cantidad suficiente para lograr los objetivos de electrificación universal hará también necesaria la creación de un clima adecuado para la inversión privada, apoyando la creación de mecanismos financieros adecuados para los tipos de riesgos asociados al suministro en la base de la pirámide.

Motores-Macro: Gobernanza y valores compartidos del ecosistema de agentes para el Acceso Universal

El último cuadrante vuelve de nuevo, esta vez desde una perspectiva macro (a escala nacional e internacional), a los agentes y mecanismos que, a partir de los marcos políticos y regulatorios, pueden impulsar las acciones necesarias para lograr el acceso universal en cada país.

Como ya hemos mencionado, el ecosistema de actores implicados en el proceso de electrificación es muy amplio, comenzando por los clientes y sus

comunidades, y siguiendo por la(s) compañía(s) responsables de la distribución de electricidad en la red, la empresa incumbente del transporte de alta tensión (que será asimismo responsable de implementar los refuerzos asociados al crecimiento del volumen de energía transportada en los casos en que el acceso universal suponga que se suma un número significativo de nuevos consumidores a la red), las empresas de generación, los agentes de electrificación fuera de red (micro-redes, kits y sistemas aislados), el regulador y los gobiernos nacionales, regionales y locales, las instituciones internacionales y los gestores de los fondos de la ayuda al desarrollo, el sistema financiero y bancario, el tercer sector, los proveedores de equipo y de servicios auxiliares.

Muchos países ya tienen en marcha mecanismos de diálogo sectoriales en los que implican a los diferentes actores en la solución de los problemas del sector eléctrico, como el *Sector Wide Approach* en Ruanda, que invita al sector privado, al regulador y gobierno de Ruanda, y a la conferencia de donantes internacionales, en torno a los problemas de desarrollo energético del país. Pero, para que los mecanismos de gobernanza eléctrica puedan contribuir al acceso universal es necesario reconocer que actores, instituciones y procesos deben alinearse en torno a unos valores y visión compartidos de este problema (Porter & Kramer, 2011) desde la perspectiva de los pobres (Bazilian *et al.*, 2014) cada uno según su propia realidad.

La confluencia de estos valores compartidos en un ecosistema de actores, y la forma en que éste puede articularse para el logro del acceso universal depende de cuatro pilares fundamentales:

- Relaciones dentro del sector de competencia dentro del mercado (v.g. entre distintos proveedores de solar kits que ofrecen sus productos libremente a los usuarios), de competencia por el mercado (v.g. licitaciones sobre áreas de concesión para la electrificación con micro-redes) o de colaboración (v.g. franquicias para la operación, mantenimiento y explotación de micro-redes por parte de la compañía incumbente del acceso en toda una región).
- Escenario macro de situación del país, de política energética y de desarrollo sostenible, regulación y planificación integrada, subsidios y financiación de la brecha de viabilidad, clima de inversión y financiabilidad.
- Innovación en tecnologías de electrificación y en modelos de negocio para la base de la pirámide, haciendo uso estratégico de las tecnologías de la información y las comunicaciones para el abaratamiento de los costes.
- Diversas formas de Alianzas Público-Privadas que permitan la colaboración gobierno y empresas públicas, con capital, medios y conocimiento privado e implicación y con las comunidades

desde un primer momento, anclado en su desarrollo sostenible en lo social, lo económico y lo medioambiental.

La Compañía Eléctrica Integrada: Una propuesta para el Acceso Universal inclusivo en la base de la pirámide en países con bajo nivel de electrificación

Un primer reto para el logro del acceso universal a la electricidad se presenta en cómo superar la brecha de ambición (Bazilian & Pielke, 2013) y alcanzar la escala necesaria en aquellos países donde el servicio ha de extenderse a una parte substancial de la población y de las actividades comunitarias y productivas, y donde el conjunto del sector eléctrico y energético debe asimismo hacerse viable a medio y largo plazo.

Esta propuesta refleja los resultados preliminares de la investigación del *Universal Energy Access Lab* del *Massachusetts Institute of Technology* (MIT) y del Instituto de Investigación Tecnológica (IIT) de la ETSI – ICAI, Universidad Pontificia Comillas (Pérez-Arriaga *et al.*, 2018), acerca de los factores que subyacen en el bajo nivel de acceso a electricidad en muchos países en desarrollo y economías emergentes (marco).

Aunque hoy se reconoce ampliamente que la electrificación fuera de red (micro-redes y kits solares) supondrá una parte importante del acceso a la electricidad de aquí a 2030, aún la gran mayoría de las conexiones que se han realizado desde el año 2000, el 97% según (International Energy Agency, 2017) han sido por extensión de red, a pesar de la alta competitividad hoy en coste de los sistemas aislados, por la acción de las compañías eléctricas incumbentes, en su mayor parte de titularidad pública. Donde estas compañías sin embargo no han tenido un impacto significativo ha sido en la electrificación fuera de red, al tiempo que afrontan importantes retos de viabilidad a la hora de extender el servicio a poblaciones de bajos ingresos, especialmente en zonas aisladas donde el coste del servicio es muy alto.

Se parte del examen de aquellos modelos de negocio alternativos que, en la práctica, podrían integrar una propuesta de «Compañía Eléctrica del Futuro» en colaboración con el resto de actores públicos y privados (motores) que pudiera superar los problemas que lastran el casi universal modelo de compañía eléctrica pública hoy vigente en estos países. La propuesta se centra en una definición de alto nivel (macro) de un modelo de negocio a gran escala diseñado para acelerar el acceso a la electricidad y atraer inversión privada hacia la electrificación de los países en desarrollo. Esta propuesta está construida en torno al concepto de Compañía de Distribución Integrada (*Integrated Distribution Company, IDC*) con los siguientes elementos clave:

- Concesión en exclusividad para un área, con la obligación para la compañía de suministrar

electricidad universalmente a todos los clientes por cualquier modo de electrificación (conectado o fuera de red).

- Substantial participación privada en la propiedad y administración de la compañía incumbente de distribución, que facilite los cambios de gestión, financieros y operativos de la misma, a través de la necesaria inversión en capital y en innovación tecnológica y organizativa.
- Reconocimiento de las diferencias entre los modelos de negocio centrados en la infraestructura (i.e. distribución tradicional) y centrados en el cliente (i.e. innovación fuera de red y en la base de la pirámide), que exacerba la tradicional diferencia entre las actividades de distribución (habitualmente monopolios regulados) y de comercialización en este contexto. Requiere al menos de una adecuada separación regulatoria (similar a una separación contable) que, por un lado, establezca una financiación suficiente, basada en criterios de coste de servicio y que por tanto mitigue el riesgo de esta parte del negocio donde se concentra casi toda la inversión de capital; y, por otro lado, incentive la actividad de comercialización para que se centre en la atención al consumidor final, la reducción de las conexiones ilegales y el incremento de las legales, y en reducir las facturas impagadas.
- Enfoque integrado centrado en el cliente, que trascienda la habitualmente deteriorada situación entre los consumidores y la compañía incumbente (debido a la baja calidad del servicio, y a las expectativas frustradas de conexión durante muchos años). Cambiar radicalmente esta percepción requiere centrarse en factores humanos y canales de comunicación eficaces, el uso de tecnologías de la información para la gestión y administración del negocio eléctrico, y mecanismos concretos de integración de las comunidades en el proceso de electrificación.

Existen países con un amplio potencial de mercado y un marco facilitador apropiado, especialmente en el África Subsahariana y también en el Sudeste Asiático, que pueden suponer una oportunidad de negocio importante para las compañías energéticas y otros inversores que permitan acceder a la cantidad de capital económico, humano y tecnológico necesario para acelerar el proceso de electrificación y permitir el logro del acceso universal para 2030, en el marco de los ODS.

ALIANZAS PÚBLICO - PRIVADAS Y GOBERNANZA: CÓMO EXTENDER LA ELECTRIFICACIÓN HASTA LA «ÚLTIMA MILLA» EN AMÉRICA LATINA

Un segundo entorno que supone un reto para el acceso universal está en aquellos países donde la red ha sido ya extendida todo lo posible, o está muy cercana a hacerlo, pero aún queda alcanzar e integrar

en el servicio eléctrico a poblaciones en situaciones de exclusión, de bajos ingresos y con altos costes de servicio, en zonas aisladas o de alto riesgo, más allá del ámbito de acción de la distribución y de los mercados convencionales. Esta sección muestra cómo el papel de las Alianzas Público – Privadas en la coordinación de los distintos actores globales y locales (empresas privadas y sociales, tercer sector, gobiernos y agencias de cooperación, servicios auxiliares, emprendedores y comunidades beneficiarias) posibilita en la práctica el acceso en condiciones difíciles, y contribuye a la creación de círculos virtuosos de desarrollo (Borrella *et al.*, 2017), que hacen viable asimismo la sostenibilidad a largo plazo del suministro eléctrico en contextos de especial dificultad. La parte privada aporta la disponibilidad de capital y acceso a financiación suficiente a menores costes, junto con innovación en la gestión y las tecnologías. La parte pública garantiza el fin social de la empresa, que ha de ser rentable y sostenible, aportando los mecanismos y marcos imprescindibles para posibilitar el proceso de electrificación en este entorno.

Para ello, nos centraremos en un modelo concreto de buenas prácticas: la electrificación de la «última milla» de América Latina que son aquellas poblaciones aisladas (Arraiza & Conde Zurita, 2011) que aún no han podido recibir el suministro eléctrico, principalmente por los bajos ingresos y las dificultades y el alto coste de conexión a la red, sobre todo en regiones remotas de América Latina (Alaminos *et al.*, 2017; Eisman, Olivares, Moreno, Verástegui, & Mataix, 2013).

Este modelo pone de manifiesto cómo la cooperación de diversos agentes es especialmente necesaria en aquellos entornos concretos (marco-micro) donde los mecanismos de mercado son, o bien inviables debido a la imposibilidad de cubrir la brecha de viabilidad y mitigar los diferentes factores de riesgo (físicos, políticos, regulatorios, o incluso medioambientales) para cubrir siquiera las necesidades más esenciales de la población beneficiaria; o bien insuficientes, pues sólo permitirían descremar el mercado cubriendo la parte de la demanda que puede permitirse sufragar algún tipo de acceso (incluyendo los kits solares de menor coste), dejando excluida a la parte de la población que está por debajo de un nivel mínimo de capacidad de pago.

Esta Alianza Público – Privada (Rojo *et al.*, 2017a) es una iniciativa de la empresa social ACCIONA Microenergía México (AMM) con el respaldo de la Fundación ACCIONA Microenergía y con la aportación del subsidio en tarifa del 50% por parte del Gobierno de México con la colaboración la Agencia Mexicana de Cooperación y la Agencia Española de Cooperación Internacional, tal y como se muestra en la Figura 3. Con esta Alianza se pretende dotar de electricidad en el estado de Oaxaca (donde aún queda cerca del 5.3% de población pendiente de acceso) a más de ochocientas comunidades de menos de 100 habitantes.

FIGURA 3
ALIANZA PÚBLICO-PRIVADA PARA EL ACCESO A ENERGÍA ELÉCTRICA EN ZONAS AISLADAS DE MÉXICO
(ROJO ET AL., 2017B)



Fuente: Rojo *et al.*, 2017b.

Las principales cualidades de este modelo de negocio, conforme a los autores, son:

- Modelo de colaboración basado en APPD (motores – macro).
- Subvención de la brecha de viabilidad (50% del coste del servicio) proporcionada por el Gobierno de Oaxaca (marco – macro)
- Tecnologías innovadoras adaptadas a la situación de aislamiento de las comunidades beneficiarias (motores – micro) por medio de Sistemas Fotovoltaicos de Tercera Generación (SFC3G). El servicio de mantenimiento y garantía postventa se realiza a través de Centros de Atención a Usuarios situados cerca de las comunidades beneficiarias, que han formado sus propios Comités de Electrificación Fotovoltaica para involucrarse activamente en el proyecto (motores – micro)
- Solución adaptada a la capacidad de pago de las comunidades, respetuosa con el medio ambiente por el tipo de baterías de litio empleadas y con capacidad de generación de empleo local asociado a la distribución de aparatos y equipo eléctrico (marco – micro).
- Otro factor clave de éxito en este caso es la iniciativa de un promotor privado relevante, que actúa como soporte tecnológico, financiero y humano, dando respaldo a las necesidades de innovación tecnológica y organizacional, y al acceso al capital necesario.

Un marco de alianzas similar está aplicándose de manera análoga por Acciona Microenergía Perú al acceso a la electricidad en zonas remotas de la Amazonía en la cuenca del río Napo, departamento de Loreto), como piloto de una propuesta de solución muy necesaria para alcanzar la Última Milla en los distintos países que confluyen en la cuenca Amazónica.

CONCLUSIONES ↓

El logro de un Acceso Universal, sostenible, asequible y suficiente a la electricidad es esencial no sólo para la población en sus casas, sino para las diversas necesidades comunitarias y productivas de toda la sociedad. La infraestructura energética es fundamental para el logro de los diferentes Objetivos de Desarrollo Sostenible económicos, sociales y medioambientales, como la lucha contra la pobreza, la erradicación del hambre, la promoción de la salud, educación, agua potable, comunicaciones, igualdad, medio ambiente sano, ciudades limpias y seguras, entre otros.

Agradecemos el apoyo y la financiación del Plan Estatal de Investigación, Desarrollo e Innovación: Retos para la Investigación del MINECO, por medio del proyecto Retos del Acceso Universal a la Energía y su impacto en el Cambio Climático. Así como el soporte de otras entidades e instituciones: Shell Foundation, Tata Trust, ENEL Foundation, Iberdrola, GIZ, Banco Mundial, AECID, CNMC, Funda-

ción Acciona Microenergía, Energía Sin Fronteras, Fundación ICAI para el Desarrollo, y de la Mesa para el Acceso Universal a la Energía.

NOTAS

- [1] En este ejemplo la empresa Mera Gao - www.mera-gaopower.com (Gonzalez-Garcia *et al.*, 2014)

BIBLIOGRAFÍA

Action, P. (2016). *Opportunities for Real-time Monitoring, Control and Payment Technologies for Mini-grids: A Case Study of Operational Systems in Nepal*.

Alam, M., & Bhattacharyya, S. (2016). Decentralized Renewable Hybrid Mini-Grids for Sustainable Electrification of the Off-Grid Coastal Areas of Bangladesh. *Energies*, 9(4), 268–284. <http://doi.org/10.3390/en9040268>

Alaminos, J. de, Arrieta, U., Bihuet, E., Carcausto, D., Cervero, R., Egido, M. Á., ... Verástegui, Á. (2017). *El acceso universal a la energía la electrificación rural aislada: Visión en Iberoamérica*. (M. A. U. E. Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia, AECID, ARIAE, Ed.). Madrid: Aranzadi.

Arroiza, J. M., & Conde Zurita, J. (2011). Las Comunidades Rurales Aisladas. In I. Pérez-Arriaga & A. Moreno (Eds.), *Tecnologías para el Desarrollo Humano de las Comunidades Rurales Aisladas* (pp. 44–62). Real Academia de Ingeniería de España.

Balachandra, P. (2011). Modern energy access to all in rural India: An integrated implementation strategy. *Energy Policy*, 39(12), 7803–7814. <http://doi.org/10.1016/j.enpol.2011.09.026>

Bazilian, M., Nakhoda, S., & Van De Graaf, T. (2014). Energy governance and poverty. *Energy Research and Social Science*. <http://doi.org/10.1016/j.erss.2014.03.006>

Bazilian, M., Nussbaumer, P., Cabraal, A., Centurelli, R., Detchcon, R., Gielen, D., ... Ziegler, F. (2010). *Measuring Energy Access: Supporting a global target*. New York.

Bazilian, M., & Pielke, R. (2013). Making Energy Access Meaningful. *Issues in Science and Technology*, 74–79.

Bhattacharyya, S. C. (2013). To regulate or not to regulate off-grid electricity access in developing countries. *Energy Policy*, 63, 494–503. <http://doi.org/10.1016/j.enpol.2013.08.028>

Borrella, I., Carrasco, J., Cervero, T., Fanjul, G., Lumbreras, J., & Mataix, C. (2017). *Los Círculos Virtuosos de la cooperación española. Una propuesta para poner la innovación al servicio del desarrollo*.

Chaurey, A., Kriithika, P. R., Palit, D., Rakesh, S., & Sovacool, B. K. (2012). New partnerships and business models for facilitating energy access. *Energy Policy*, 47, 48–55. <http://doi.org/10.1016/j.enpol.2012.03.031>

Dietrich, K., López-peña, Á., & Linares, P. (2013). *An integrated policy framework for rural off-grid electrification programs*.

Eberhard, A., & Tenenbaum, B. (2005). Regulation of Electricity Services in Africa: An assessment of current challenges and an exploration of new regulatory models. ... *Participation in Infrastructure in Sub-Saharan Africa*, 1–47.

Eisman, J., Olivares, J., Moreno, A., Verástegui, Á., & Mataix, C. (2013). La electrificación con pequeños sistemas fotovoltaicos domiciliarios (PSFD) ¿Un cambio de paradigma? Lima, Perú: Congreso Internacional sobre el Acceso Universal a los Servicios Públicos de Energía.

Energy Access Targets Working Group. (2016). *More than a Lightbulb: Five Recommendations to Make Modern Energy Access Meaningful for People and Prosperity*. Washington D.C.

ESMAP. (2012). *Rwanda. Extending access to energy. Lessons from a Sector-Wide Approach (SWAp)*. Washington D.C.

ESMAP, World Bank, & IEA. (2013). *SE4All Global Tracking Framework*. Washington D.C.

Fuso Nerini, F., Tomei, J., To, L. S., Bisaga, I., Parikh, P., Black, M., ... Mulugetta, Y. (2017). Mapping synergies and trade-offs between energy and the Sustainable Development Goals. *Nature Energy*, 1–6. <http://doi.org/10.1038/s41560-017-0036-5>

Garside, B., & Bellanca, R. (2013). *An approach to designing energy delivery models that work for people living in poverty*.

Gonzalez-Garcia, A., Amatya, R., Stoner, R., & Perez-Arriaga, I. (2014). *Preliminary candidate list of appropriate technologies, business models and enabling environment for universal access to electricity*. (EF Working Paper Series No. 16). Rome.

González-García, A., Amatya, R., Stoner, R., & Pérez-Arriaga, I. (2016). *Appropriate technologies, business models and enabling environment for Universal Access to modern energy services (in print)*. Rome.

Harries, M. (2002). Disseminating wind pumps in rural Kenya—meeting rural water needs using locally manufactured wind pumps. *Energy Policy*, 30(11), 1087–1094.

IFC World Bank. (2012). *From Gap to Opportunity: Business Models for Scaling Up Energy Access*. Washington D.C.

International Energy Agency. (2017). *World Energy Outlook 2017*. Paris, France.

Khennas, S. (2012). Understanding the political economy and key drivers of energy access in addressing national energy access priorities and policies: African Perspective. *Energy Policy*, 47, 21–26. <http://doi.org/10.1016/j.enpol.2012.04.003>

Kim, H., Baek, S., Choi, K., Kim, D., Lee, S., Kim, D., & Chang, H. (2016). Comparative Analysis of On- and Off-Grid Electrification: The Case of Two South Korean Islands. *Sustainability*, 8(4), 350. <http://doi.org/10.3390/su8040350>

Legros, G. M. B., Soler, R., & Bakri, M. (2003). Impact of electrification modes on the living conditions of rural households in Morocco. *3rd World Conference on Photovoltaic Energy Conversion 2003 Proceedings of*, 3.

Leung, C. S., & Meisen, P. (2005). *How electricity consumption affects social and economic development by comparing low, medium and high human development countries*.

Levin, T., & Thomas, V. M. (2012). Least-cost network evaluation of centralized and decentralized contributions to global electrification. *Energy Policy*, 41, 286–302. <http://doi.org/10.1016/j.enpol.2011.10.048>

Mariita, N. O. (2002). The impact of large-scale renewable energy development on the poor: environmental and socio-economic impact of a geothermal power plant on a poor rural community in Kenya. *Energy Policy*, 30(11), 1119–1128.

Mateo Domingo, C., Gomez San Roman, T., Sanchez-Miralles, Á., Peco Gonzalez, J. P., & Candela Martinez, A. (2011). A Reference Network Model for Large-Scale Distribution Planning With Automatic Street Map Generation. *IEEE Transactions on Power Systems*, 26(1), 190–197. <http://doi.org/10.1109/TPWRS.2010.2052077>

Mwalenga, L., Amatya, R., Gonzalez-Garcia, A., Stoner, R., & Pérez-Arriaga, I. (2016). *A Comprehensive Computer-Aided Planning Approach for Universal Energy Access. Case Study of Kilifi, Kenya* (Enel Foundation - MIT Energy Initiative - IIT Comillas Working Papers No. IIT-16-155A). Madrid, Spain.

- Nerini, F. F., Broad, O., Mentis, D., Welsch, M., Bazilian, M., & Howells, M. (2016). A cost comparison of technology approaches for improving access to electricity services. *Energy*, 95, 255–265. <http://doi.org/10.1016/j.energy.2015.11.068>
- NRECA International. (2000). *Reducing the Cost of Grid Extension for Rural Electrification*.
- ONU SG. (2015). *El camino hacia la dignidad para 2030: acabar con la pobreza y transformar vidas protegiendo el planeta. Informe de síntesis del Secretario General sobre la agenda de desarrollo sostenible después de 2015*. Nueva York.
- Pachauri, S., & Rao, N. D. (2013). Gender impacts and determinants of energy poverty: are we asking the right questions? *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 5(2), 205–215. <http://doi.org/10.1016/j.cosust.2013.04.006>
- Pérez-Arriaga, I. J., Stoner, R., Rahnama, R., Lee, S. J., Jacquot, G., González-García, A., ... Dueñas, P. (2018). *A utility approach to accelerate universal electricity access in less developed countries: A regulatory proposal* (Working Papers IIT No. WP-IIT-18-010A). (In press) *Economics of Energy and Environmental Policy*.
- Pérez-Arriaga, I., & Stoner, R. (2015). Comprehensive planning and sound regulation: Two key enablers of universal access in Africa. *Oxygen Magazine (by ENEL)*.
- Porter, M. E., & Kramer, M. E. (2011). Creating Shared Value. *Harvard Business Review*, (January-February).
- Practical Action. (2010). *Poor people's energy outlook 2010*. Rugby, UK. Retrieved August. Rugby, UK.
- Practical Action. (2012). *Poor people's energy outlook 2012. Energy for Earning a Living*. Rugby, UK.
- Practical Action. (2013). *Poor People's Energy Outlook 2013. Energy for Community Services*. Rugby, UK.
- Pueyo, A. (2013). *Real time monitoring technologies for pro-poor access to electricity*.
- Pueyo, A. (2014). *Strengthening the Poverty Impact of Renewable Electricity Investments: Summary of E-Discussion - Institute of Development Studies*.
- Pueyo, A., Orraca, P., & Grocery-Wood, R. (2015). *What Explains the Allocation of Aid and Private Investment for Electrification? - Institute of Development Studies*.
- Rojo, A., Pastor, M., Romero, S., Ramil, X., Moreno, J., Mazorra, J., & Moral, M. del. (2017a). *Estudio de Caso: Alianza Shire. Energy access to refugees*. Madrid, Spain.
- Rojo, A., Pastor, M., Romero, S., Ramil, X., Moreno, J., Mazorra, J., & Moral, M. del. (2017b). *Estudio de Caso: Alianza Shire. Energy access to refugees*. Madrid, Spain.
- Santos, J., & Linares Llamas, P. L. (2004). Metodología de ayuda a la decisión en programas de cooperación al desarrollo: Aplicación a la electrificación rural apropiada. In C. Fernández, F. R.; Caballero, R. y Romero (Ed.), *La aventura de decidir: una aproximación científica mediante casos reales* (p. 12). Málaga, España: Universidad de Málaga.
- Schillebeeckx, S. J. D., Parikh, P., Bansal, R., & George, G. (2012). An integrated framework for rural electrification: Adopting a user-centric approach to business model development. *Energy Policy*, 48, 687–697. <http://doi.org/10.1016/j.enpol.2012.05.078>
- SG AGECC. (2010). *Energy for a Sustainable Future. The Secretary-General's Advisory Group on Energy and Climate Change*. New York.
- SG High-Level Group on Sustainable Energy for All. (2012). *Sustainable Energy for All. A Global Action Agenda*.
- Shaahid, S. M., & El-Amin, I. (2009). Techno-economic evaluation of off-grid hybrid photovoltaic–diesel–battery power systems for rural electrification in Saudi Arabia—A way forward for sustainable development. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13(3), 625–633.
- Slough, T., Urpelainen, J., & Yang, J. (2015). Light for all? Evaluating Brazil's rural electrification progress, 2000–2010. *Energy Policy*, 86, 315–327. <http://doi.org/10.1016/j.enpol.2015.07.001>
- Trotter, P. A. (2016). Rural electrification, electrification inequality and democratic institutions in sub-Saharan Africa. *Energy for Sustainable Development*, 34. <http://doi.org/10.1016/j.esd.2016.07.008>
- UN General Assembly. *Transforming our world: The 2030 Agenda for Sustainable Development* (2015). United Nations.
- UNDP. (2015). *Sustainable Development Goals*. New York.
- Wilson, E., Rai, N., & Best, S. (2014). *Sharing the load: Public and private sector roles in financing pro-poor energy access* (Discussion Paper). London.
- Wilson, E., Wood, R. G., & Garside, B. (2012). *Sustainable energy for all? Linking poor communities to modern energy services*. IIED.
- World Bank. (2010). *Addressing the Electricity Access Gap*. Washington D.C.
- Zeyringer, M., Pachauri, S., Schmid, E., Schmidt, J., Worrell, E., & Morawetz, U. B. (2015). Analyzing grid extension and stand-alone photovoltaic systems for the cost-effective electrification of Kenya. *Energy for Sustainable Development*, 25. <http://doi.org/10.1016/j.esd.2015.01.003>