

TENDENCIA TECNOLÓGICA DE LOS SISTEMAS DE GESTIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN EL HOGAR: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Zurisaddai de-la-Cruz-Severiche Maury¹, Ramón Antonio Álvarez-López², Ana Fernandez-Vilas¹ y Rebeca Díaz-Redondo¹

¹UNIVERSIDAD DE VIGO. Escuela de Ingeniería de Telecomunicación. Dpto. de Ingeniería Telemática. Campus Universitario Lagoas-Marcosende, 36310 VIGO (Pontevedra). Tfno: +34 986813868 . zurisaddai_sm@yahoo.com.mx

²UNIVERSIDAD DE SUCRE. Facultad de Ingeniería. Dpto. de Ingeniería Electrónica. Campus Universitario Puerta Roja, Cra 28 # 5-267 Barrio Puerta Roja - Sincelejo (Sucre) . Tfno: +57 52821240

Recibido: 19-jul-16 -- Aceptado: 19-oct-16 - DOI: <http://dx.doi.org/10.6036/ES8111>

TECHNOLOGY TREND OF HOME ENERGY MANAGEMENT SYSTEMS: BIBLIOGRAPHIC REVIEW

ABSTRACT

Energy consumption worldwide increases in the coming years. Considering that the residential sector has a significant contribution to the total consumption, are being sought strategies to save energy at home. This article presents a literature review on systems encaminados to save electricity in the home energy management is performed. The relevance of respondents work has been identified through the correlation of the impact factor indices. The authors cited in this article describe different system configurations energy management in residential environments, making clarity on the requirements and challenges are a technical level, but it is also important to evaluate these solutions from the point of view of the users and their behavior in these technologies. More than two hundred researchers from around the world represented in the eighty-eight publications addressed in this literature review agree that power management systems in the home represent a viable alternative savings.

Keywords: Energy management systems, home area networks, Smart Home, Home Automation.

RESUMEN

El consumo de energía a nivel mundial aumentará en los próximos años. Teniendo en cuenta que el sector residencial tiene un aporte notable al consumo total, se están buscando estrategias que permitan ahorrar energía en el hogar. En este artículo se realiza una revisión bibliográfica sobre los sistemas de gestión energética encaminados al ahorro de energía eléctrica en el hogar. La relevancia de los trabajos consultados se ha identificado a través de la correlación de los índices de factor de impacto. Los autores citados e el presente artículo describen las diferentes configuraciones de sistemas de gestión de la energía en ambientes residenciales, aclarando en los requerimientos y retos que se tienen a nivel técnico, pero también es importante evaluar dichas soluciones desde el punto de vista de los usuarios y su comportamiento frente a estas tecnologías. Más de doscientos investigadores de todo el mundo representadas en las publicaciones abordadas en esta revisión bibliográfica coinciden en que los sistemas de gestión energía eléctrica en el hogar representan una alternativa viable de ahorro.

Palabras clave: Sistemas de administración de energía, redes de área del hogar, casa inteligente, automatización del hogar.

1.- INTRODUCCIÓN

De acuerdo con la agencia internacional de energía (IEA, del Inglés International Energy Agency), el consumo de energía primaria en el mundo se incrementará en un 36% entre 2008 y 2035, aclarando que la predicción está sujeta a la implementación de nuevas políticas orientadas a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y el retiro de subsidios a la energía fósil [1]. Adicionalmente, se espera que la demanda final de energía crezca a un ritmo similar al incremento del consumo bruto, por lo que se prevé un incremento del 40% en el caso particular del sector residencial y terciario. Es claro que, se precisa cambiar el escenario de políticas actuales para lograr energía eléctrica sostenible y reducir los índices de emisión de CO₂ [2].

Los países miembros de la Organización para la Cooperación y Desarrollo Económicos (OCDE), han venido implementando un escenario de políticas encaminadas a alcanzar seguridad energética, desarrollo económico y

protección medioambiental [3]. La estrategia de ahorro y eficiencia energética, presenta resultados prometedores, dado que los países miembros de la OCDE reportan una reducción del consumo energético desde el máximo alcanzado en 2007, logrando descensos en el orden del -15% (Unión Europea de 2015 a 2040), -12% (Japón) y -3% (Estados Unidos) [4].

Se espera que en 2030 más de la mitad de la demanda mundial se origine en países en vía de desarrollo, dado que hoy día representan el 40% del consumo bruto[2]. Esta situación pone a los países de América Latina y del Caribe en la lista de actores principales para promover acciones que permitan lograr un sistema energético más eficiente y de menos emisiones de CO₂. En el caso particular de Colombia, se han generado políticas orientadas a la adopción de tecnologías que contribuyan con el incremento de la eficiencia del sistema instalado, mediante la integración al sistema energético nacional de energía eléctrica basada en fuentes de energía renovables no convencional. Dichas acciones representadas específicamente en el otorgamiento de incentivos tributarios para la ejecución de proyectos de inversión [5].

El desarrollo de estrategias tecnológicas encaminadas a la reducción de consumo de energía eléctrica, enfocadas a los sectores residencial y terciario, han despertado grandes expectativas respecto a la reducción del consumo [6]. Uno de los desarrollos tecnológicos es el denominado sistema de administración de energía en el hogar (HEM, del Inglés Home Energy Management). Dichos desarrollos prometen grandes transformaciones en la gestión y consumo de energía en el hogar, pero su nivel de apropiación sigue siendo bajo. Los HEM, aprovechan las ventajas de las TIC (Tecnologías de Información y Comunicación) para medir, supervisar y controlar el consumo de energía eléctrica en el hogar[7]–[13].

Este trabajo pretende mostrar las tecnologías desarrolladas para la implementación de sistemas de ahorro de energía en el hogar. Para ello, se realiza una revisión bibliográfica, teniendo en cuenta los aportes realizados por la comunidad científica internacional, poniendo gran cuidado en aquellas soluciones que facilitan la apropiación social del conocimiento y que posibilitan la generación de valor en ese nicho de mercado. El artículo ha sido organizado como sigue: la sección 2 presenta la metodología; la sección 3, describe un sistema de administración de energía en el hogar desde un punto de vista funcional; la sección 4, describe las habilidades de comunicación de los HEM; la sección 5 describe el mercado de los HEM; las secciones 6,7 y 8 presentan el análisis, la discusión y las conclusiones, respectivamente.

2.- MATERIALES Y METODOS

La revisión bibliográfica fue abordada desde una perspectiva descriptiva, usando bases de datos en línea cuyos resúmenes y citas de literatura científica cumplen con un proceso de arbitraje realizado por pares. Se consultaron las siguientes bases de datos: IEEE, ScienceDirect, OECD/IEA Data Services, y Scopus. Las consultas se realizaron definiendo el campo Keywords con los atributos: Energy management systems, home area networks, Smart Home, Home Automation. Solo se referenciaron las publicaciones en una ventana de observación comprendida entre los años 2007 y 2015. La figura 1a, muestra el número de publicaciones asociada a los sistemas de administración de energía eléctrica en el hogar, reportadas en Scopus. Se observa que, en 2012 se logró un máximo de 178 publicaciones, mientras que entre 2013 hasta 2015 la tendencia presenta un leve crecimiento alrededor de 163 publicaciones.

Otra parte relevante para realización de la revisión bibliográfica es el factor de impacto de las publicaciones tomadas como referentes. En este sentido, se han tenido en cuenta publicaciones con factor de impacto mayor a cero, esto es las publicaciones que han sido citadas en otros trabajos. En la figura 1b, se puede apreciar el número de citas alcanzadas en la ventana de observación (2012-2016), sobre una muestra de 20 publicaciones. Se observa que en 2016 se presentó el número máximo de citas equivalente a siete citas por cada 20 trabajos publicados.

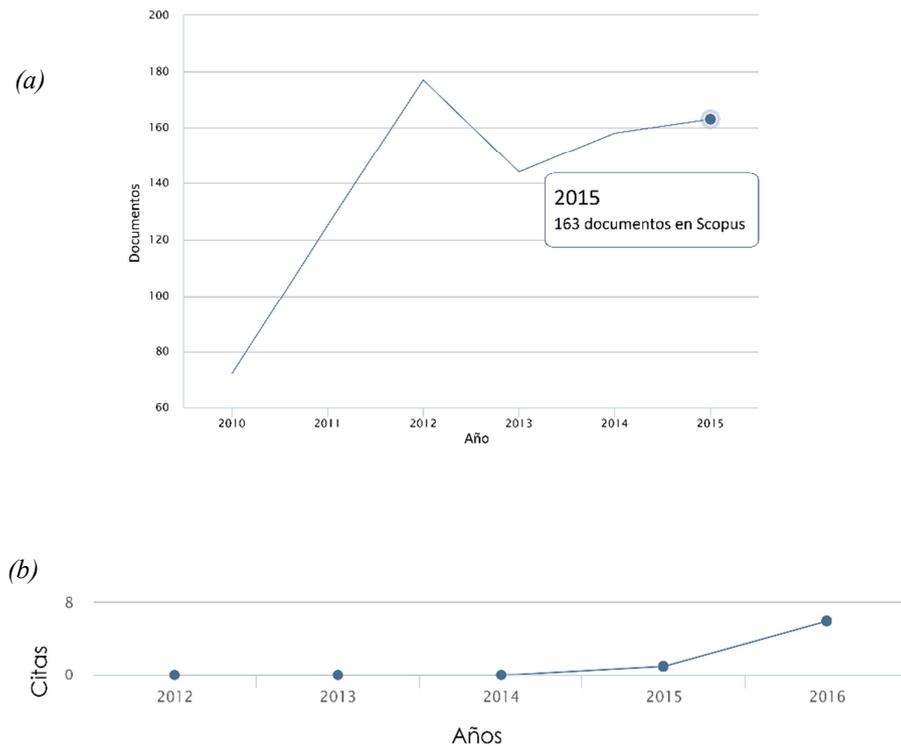


Fig. 1(a). Índice del número de publicaciones asociadas a los HEM reportadas por Scopus.

Fig. 1(b). Índice del número de citas bibliográfica por publicaciones asociadas a los HEM reportadas por Scopus.

Fuente: adaptado de Scopus.

3.- ARQUITECTURAS BÁSICAS DE LOS SISTEMAS DE GESTIÓN DE ENERGÍA EN EL HOGAR

Un Sistema de gestión de energía (HEM, del Inglés Home Energy Management) es un sistema que incorpora sensores a electrodomésticos a través de una red doméstica [14]. El HEM es desarrollado con el propósito de medir, supervisar y controlar el consumo de energía eléctrica en el hogar. El HEM, posibilita mejorar el rendimiento de una red eléctrica, con la implementación de un software de gestión de respuesta a la demanda. Es decir, los HEM pueden incluir aplicaciones habilitadas para la preferencia de los clientes residenciales, lo que supone la interacción activa del usuario con la red eléctrica. Un HEM actúa como un medidor de energía moderno, siendo estos un paso delante de los electrodomésticos de bajo consumo[15]. Resumiendo, un HEM mide, monitorea y permite el ajuste del consumo de energía de una forma inteligente, a través de medidores, dispositivos, electrodomésticos y enchufes considerados inteligentes.

Las arquitecturas propuestas en la literatura pueden ser clasificadas en diferentes grupos en función de la estructura del monitor, la distribución de los paquetes de gestión y las habilidades de comunicación. En este artículo se han agrupado trabajos en la tabla 1 de acuerdo a las semejanzas en su arquitectura.

Trabajos	Descripción de la arquitectura
[7]–[9], [14], [16]–[18], [15], [19], [20], [27]	HEM constituido por un controlador central y los nodos de monitorización y control que se encuentran en los electrodomésticos.
[9] y [21]	HEM constituido por un módulo para la recopilación de datos o gestión, un módulo para el control de dispositivos y módulo de comunicación
[22] y [23]	HEM constituido por solo los dispositivos de monitorización y control y un servidor domestico
[25],[26] y [29]	HEM constituido los dispositivos de monitorización y control, un servidor doméstico y una puerta de enlace o pasarela.
[20], [27]–[32], [33] y [34]	Arquitectura más elaborada, debido a las prestaciones adicionales de los HEM presentados.

Tabla 1. Clasificación de los artículos de acuerdo a la semejanza en la arquitectura

Aunque algunos de los autores señalados en la tabla I, presentan una arquitectura más elaborada, es posible establecer una arquitectura general que incluya los componentes básicos requeridos en un HEM. Entonces, básicamente el HEM debe contar con:

- Una red de área del hogar (HAN): Es una red de área local residencial que interconecta dispositivos dentro de una casa, tales como; sensores, enchufes inteligentes, termostatos inteligentes y electrodomésticos permitiendo la comunicación entre ellos, ya sea a través de una red inalámbrica o una red cableada.
- Dispositivos de monitorización y control: Son dispositivos finales que se encargan de monitorear y controlar el consumo energético de los electrodomésticos.
- Un procesador: Utilizado para la concentración, almacenamiento y gestión de la información. En este módulo central estarían ubicados el servidor y la base de datos.
- Una puerta de enlace: Permite conectar al HEM con el exterior, de manera que sea posible el acceso remoto a través de internet.

En la figura 2, se resumen tres de las arquitecturas encontradas para definir un HEM. La figura 2(a) es un HEM que procesa de forma centralizada (Procesador Atom para CISCO) los servicios solicitados por los diferentes niveles de software cargados en una plataforma integrada por un núcleo Linux y módulos externos de comunicación. La arquitectura de la figura 2(b), se diferencia de la anterior, por el uso de una estructura multiprocesador, la cual consta de un procesador central y procesadores auxiliares para apoyar las tareas de computo. Un caso práctico de dicha arquitectura es el HEM propuesta por Intel usando una plataforma MP20. Adicionalmente, se tienen HEMs que usan una estructura distribuida basada en un canal de comunicación que integra sensores, electrodomésticos y el procesador central, figura 2(c). Un ejemplo práctico de la arquitectura distribuida, es el desarrollado por Freescale, el cual se caracteriza porque usa dispositivos de bajo costo. Por otra parte, se tienen las arquitecturas compactas, conformadas por un monitor o coordinador que realiza de forma directa la gestión de electrodomésticos y usa como interfaz de interacción con el usuario una APP. Dos casos prácticos de las arquitecturas compactas son el caso del HEM de SmartThing y OpenEnergyMonitor, figuras 2(d) y 2(e).

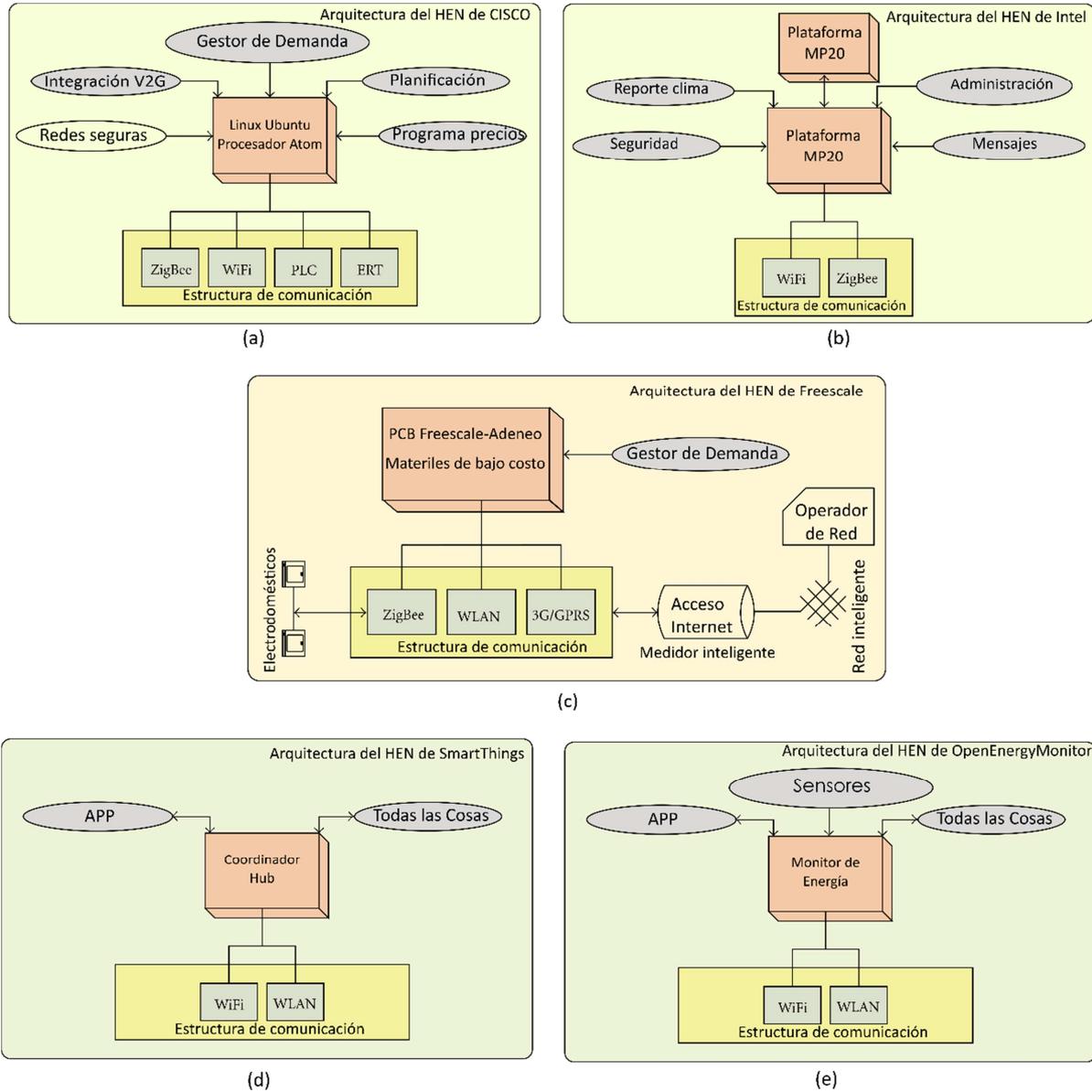


Fig. 2. Arquitecturas básicas de HEMs comerciales.
Fuente: adaptado de[35]–[38].

4.- HABILIDADES DE COMUNICACIÓN DE LOS HEMS

La plataforma de comunicación de los HEM, se denomina red de área del hogar (HAN, del Inglés Home Area Network) [38]. Una HAN es una red de área local residencial que interconecta los dispositivos dentro de una casa (sensores, enchufes inteligentes, termostatos inteligentes y electrodomésticos), permitiendo la comunicación entre ellos, a través de una red inalámbrica o una red cableada [38]. Estas redes por lo general se caracterizan por tener bajo consumo de potencia y bajo costo. Es importante notar que aunque las HAN no son aplicaciones de gestión de energía, facilitan la gestión, monitorización y control de energía de la red doméstica [15]. Los sensores utilizados para el monitorización de los aparatos se conectan entre sí formando redes de sensores (SN, del Inglés Sensor Networks). Las redes de sensores consisten en una serie de dispositivos electrónicos que tienen acceso al mundo exterior, son de pequeño tamaño y pueden estar situados en cualquier lugar [15], [38], [39].

La HAN puede diseñarse usando una red cableada y un caso particular, sería a través de la red eléctrica existente (PLC, del Inglés Power Line Communication). PLC se utiliza principalmente para medición remota en redes inteligentes y control de dispositivos en el hogar[39]. Adicionalmente, la HAN puede ser diseñada usando redes inalámbricas como es el caso de las redes inalámbricas (Wi-Fi, Wireless Fidelity), que es una tecnología muy conocida que trabaja bajo el estándar IEEE 802.11[38]. Otra alternativa de comunicación la constituye la conformación de una red de sensores inalámbrica (WSN, del Inglés Wireless Sensor Networks), usando dispositivos de bajo consumo como ZigBee[40]. ZigBee, como es conocido el estándar IEEE 802.15.4 Zigbee fue concebida básicamente para aplicaciones orientadas a sistemas de control y monitorización [20], [25]. Entre sus características principales encontramos su baja tasa de transmisión de datos, su bajo coste, su reducido consumo de batería y la capacidad de formar redes amplias y proporcionar comunicaciones en entornos geográficos reducidos [7] y [8], [9]. La tabla 2 muestra una comparación de los parámetros de las tecnologías HANs. La clasificación se realiza en función de las características de la red, en lo que respecta a costo de implementación, facilidad de integración a la red doméstica, tasa de transmisión de datos y consumo energético.

		TECNOLOGÍA							
CARACTERÍSTICA	ZIGBEE	Z-WAVE	INSTEON	WAVENIS	WIRELESS M-BUS	BLUETOOTH	WIFI	PLC	
Tasa de transmisión	250 Kbps	9,6/40 kbps	38,4/50 kbps	4,8 - 100Kbps	2,4-100Kbps Usualmente 50Kbps	700Kbps, 1/3/24 Mbps	11/65/100/450 Mbps	14 Mbps	
Frecuencia de Transmisión	868/915 MHz, 2.45GHz	868,4/908,4 MHz, 2,4GHz	RF: 915MHZ Línea de potencia: 132KHz	433/ 868/915 MHz, 2,4 GHz	169/433/ 868 MHZ	2.45GHz	2.45/5 GHz	5000 KHz-1MHz	
Modulación	BPSK/ DSSS/ QPSK	FSK/ GFSK	FSK	GFSK/ FHSS	FSK	GFSK	BPSK QPSK CCK M-QAM	No Aplica	
Consumo energético	Bajo-ultra bajo	Bajo	Bajo	Ultra bajo	Bajo	Medio	Alto	Bajo	
Cobertura máxima	10-300m	30m	50m	200m (Interiores) 1000m (Exteriores)	60-80m interior, 500-1000 m exterior sin obstáculos	5-10m	10-100m	3Km	
Número de Saltos	30/10/5	4	4	1 No es multi-hop					
Número de nodos	Hasta 255	Hasta 232	Ilimitado			Hasta 8	Hasta 255	Hasta 256	
Control de acceso al medio	CSMA/CA	CSMA/CA	TDMA + simulcast	CSMA/CA o CSMA/ TDM	EN 13757-4:2005	TDD (Time-Division Duplex)			

Tabla 2. Comparación de parámetros de las tecnologías usadas en las HANs

5.- LOS HEM Y LA ENERGÍA ELÉCTRICA SOSTENIBLE

Diversos autores han trabajado en el desarrollo de Sistema de gestión de energía en el hogar, en busca de la reducción del consumo de energía eléctrica y de emisión de gases de efecto invernadero. Dichos autores usan como base el hecho que, los precios de los servicios públicos varían dependiendo de la hora del día, y que el consumo de electricidad durante las horas pico cuesta más que el consumo de electricidad durante las horas de menor actividad. La tabla 3 muestra un estudio comparativo de los diferentes sistemas HEM.

Trabajo	Objetivo	Metodología	Nombre del Esquema HEM	Reducción del consumo	Observaciones
[11]	Reducción del consumo de energía y generación de energía renovable.	Usa Zigbee para transferir datos de energía y potencia de electrodomésticos y luces y PLC para el control de los paneles solares..	GHEMS	Contribuye a reducir el consumo total de energía en el hogar.	Con la comparación el uso de energía, un usuario puede cambiar el patrón de uso de los aparatos electrodomésticos en uno más eficiente.
[41]	Reducir al mínimo los gastos de energía de los consumidores.	Se basa en la comunicación entre aparatos inteligentes a través de una WSN de área del hogar (WSHAN), una unidad central de gestión de la energía (EMU), medidores inteligentes y una unidad de almacenamiento.	iHEM	40%	Este sistema, logra reducir el consumo de energía eléctrica generando energía local, priorizando el uso de electrodomésticos y fijando precios en tiempo real.
[42]	Disminuir el costo del consumo de energía de los aparatos electrodomésticos, de manera significativa.	Utiliza la WSN de área doméstica para habilitar la comunicación entre dispositivos y la EMU. EMU se entera de la cantidad de energía disponible a nivel local desde la unidad de generación de energía y el precio del medidor inteligente y ofrece un tiempo de inicio sugerido.	ACORD-FI	Reduce el consumo energético en proporción de los aparatos.	Reduce la cuota de los aparatos de la factura total de energía y proporciona un ahorro en la factura energética.
[43]	Disminuir el uso de equipos en horas pico y reducir el consumo de energía y las emisiones de gases de efecto invernadero	Integra redes de sensores inalámbricos para aplicaciones de gestión de energía en redes inteligentes	HEM	30%	El ahorro es logrado en un tiempo inferior a un año que puede aumentar cuando se involucra un mayor número de aparatos a la aplicación.
[44]	Reducir el consumo de energía en la zona de origen.	HEMS basado en comunicación Zigbee y mandos a distancia por infrarrojos.	HEMS	Reducción del consumo de potencia.	Un usuario puede averiguar la tendencia del consumo de

					energía total, todos los días, semanal y mensual. También puede conocer el aparato consume la mayor potencia.
[45], [46]	Ahorro de energía.	de Sistema de adaptación inteligente de gestión de energía en el hogar utilizando una red ad-hoc y de sensores inalámbricos.	(AiHEMS)	18% y 25%.	Utiliza un esquema de convergencia de la información, la predicción, servicio basado en patrón dinámico, y la arquitectura de middleware ligero adaptativo.
[47]	Evitar el consumo de energía innecesaria en el hogar.	Utilizan redes de sensores inalámbricos (WSN) y comunicación por línea de potencia (PLC) para implementar una red de control del hogar inteligente	HEM	40%	El ahorro energético de los sistemas de iluminación es evaluado con respecto a los que no tienen control inteligente.

Tabla 3. Estudio comparativo de los diferentes sistemas HEM.

6.- MERCADO DE LOS HEMS

El mercado potencial de los HEM incluye servicio de respuesta de la demanda residencial (DR), suscripciones de usuarios domésticos conectados, servicios de software y hardware asociado. La tabla 4, muestra y clasifica (por sector de mercado) un número considerable de empresas que conforman el ecosistema del mercado de los HEM. Se puede apreciar que el listado de empresas está conformado por empresas de gran trayectoria, pero que anteriormente se dedicaban a otro segmento de mercado y ahora ponen toda su infraestructura tecnológica al servicio de los HEM.

Software y Servicios	Integran al operador de red Aclara Alektrona C3 Energy Calico Comverge Consort Digi EcoFactor Energate EnergyHub GE Greenwave Reality Hitachi Honeywell iControl Inteln LG MyEnergy Opower PowerHouse Dynamics Schneider Electric Sequentric Tendril ThinkEco Toshiba	Para usuarios NR Allure Energy Blue line Innovation Brultech Research Energy aware ISA sensing PlanetEcosystems PowerHouse Dynamics Watt intelligent solutions Wattvision WattzOn WiGoWise Whirlpool Nest labs Empresarial Corix utilities Gridpoint Invensys controls Landis+Gyr Onzo People power Silver Spring Networks	Analítica Bidgely C3 Energy EcoFactor Ecologic analytics EnergyHub Genability Onzo Nest labs Plotwatt Tendril WattzOn Automatización Allure Energy Clipsal Control4 Crestron DMP GE HAICOM Hitachi Lutron Motorola Home Savant Tendril Vesternet Vivint
	Software	No integran al operador de red ADT alarm.com AlertMe AT&T Bright House Networks Comcast Cox Communications EcoFactor GE iControl LG Motorola Home Passiv Systems Powerhouse Dynamics Rogers Communications SmartThings Swisscom myStorm Time Warner Cable Tri Cascade Toshiba Verizon Vivint	Operadores de red y usuarios EnergySawy Genability PlanetEcosystems Simple Energy SnuggHome WeGoWise
Hardware	Procesadores electrónicos Exegin Freescale Semiconductor GainSpan Intel SI Labs Sigma Designs Texas Instruments	Equipos de Comunicación Asoka Cisco Greenwave Reality Texas Instruments	HEMs Allure Energy Aztech Associate CEIVA Energy Digi Eco-Eye Emerson Energate Energy Aware Energeno Green Energy Options Home Automation Honeywell ISA Sensing Invensys Controls Lutron Nest OpenPeak OwlPassiv Systems Radio Thermostat Rainforest Automation Savant Systems Smartenit The Energy Detective ThinkEco
	Combos Hardware/Software	Blue line Innovation Brultech Research Clipsal Control4 Crestron Digital monitoring products EcoDog Insteon Owl Panasonics Smartenit Vesternet	

Tabla 4. Ecosistema empresarial de los HEMs

7.- ANÁLISIS

La tabla 5 presenta una clasificación de las referencias abordadas en esta revisión bibliográfica. Se observa que el menor número de publicaciones han sido realizadas en los campos correspondientes al reporte de soluciones comerciales y a los protocolos de comunicación WiFi y PLC, respectivamente. Adicionalmente, se puede apreciar que el mayor número de publicaciones se realizan en los campos de tecnologías HEM de bajo costo con comunicación ZigBee. Lo anterior, muestra una tendencia que puede ser interpretada como, la intención de la comunidad científica de masificar y hacer más atractiva para el usuario final la tecnología HEM, usando como estrategia la reducción de los costos de producción.

Simulaciones	Prototipos	Comerciales	Probadas		Estructura de Comunicación		HEM Bajo Costo
			Socialmente	WIFI	Zigbee	PLC	
[9], [15], [24] [42], [48].	[14]–[16], [19], [31], [32], [27] [45]–[47].	[34]–[38].	[11], [16], [15], [19], [44]. [24]	[38], [52], [62],[30].	[7]–[33], [38]–[48].	[15], [17], [23], [26], [38], [27], [28], [31], [39]. [47].	

Tabla 5. Clasificación de referencias

8.- DISCUSION

La tabla 6 muestra el aporte de varios de los trabajos estudiados:

Trabajo	Aporte
[9]	Integra CEP y HEMS
[10]	Enfoque de optimización de gestión de precios en tiempo real
[11]	Compara el uso de energía de los electrodomésticos
[13]	Nuevo método de gestión de energía en el hogar (EoD)
[14]	Controla la energía por cada dispositivo
[19]	HEM que divide y asigna diferentes tareas de red doméstica a componentes apropiados
[23]	diseño de un sistema de medición de calidad de energía
[24]	Clasificación de los aparatos entre uso urgente y no urgente
[27]	Implementa Arduino para lograr bajo costo
[30]	Arquitectura de sistema interoperable entre los sensores inalámbricos en HAN conectados a través de Internet a una función de proveedor de servicio desplegado en una infraestructura cloud.
[32]	Gestión de electrodomésticos en el marco de Universal Plug-and-Play (UPnP)
[41]	Compara el rendimiento de IHEM con gestión de la energía residencial basada en OREM
[42]	Esquema consciente ACORD-FI
[45]	Sistema de adaptación inteligente de gestión de energía en el hogar (AiHEMS)
[47]	Diseño de nueva arquitectura de red y algoritmo inteligente de control de iluminación para hogares inteligentes

Tabla 6. Aportes

9.- CONCLUSIONES

Más de doscientos investigadores de todo el mundo representadas en las publicaciones abordadas en esta revisión bibliográfica coinciden en que los sistemas de gestión energía eléctrica en el hogar representan una alternativa viable de ahorro, debido a que en ellos la implementación de los HEM proporciono una disminución en el consumo entre 18 y 40%. Estos HEM conciben una arquitectura básica constituida por dispositivos de monitorización y control, un procesador central, una puerta de enlace y una HAN, que en la mayoría de los casos estudiados utilizan dispositivos de bajo consumo energético donde prevalece la tecnología Zigbee. Los proyectos citados además de contribuir al ahorro energético en algunos casos complementan su aporte con el uso de energías renovables y la seguridad y el confort del hogar. Además, en un gran número de casos los trabajos abordados utilizan enfoques relacionados con la prioridad de uso de electrodomésticos, la reducción de consumo en horas pico y el patrón de uso de los aparatos.

Resulta interesante incluir en la metodología de evaluación de los HEMs variables asociadas al contexto económico y social de la región, dado que cada país o región posee características especiales que pudiesen desfavorecer o sugerir variaciones entre las tecnologías disponibles en el mercado internacional. Lo anterior sugiere la regionalización de las soluciones tecnológicas para sacar el mayor provecho para cumplir con las expectativas de ahorro programadas. En ese sentido es válido indicar que, Colombia ha definido una política para incentivar la adopción de tecnologías orientadas a la eficiencia del sistema eléctrico y es claro que los HEMs pudiesen ser pieza clave en la puesta en marcha de dicha política.

Por otra parte, los autores citados en el presente artículo describen diferentes configuraciones de sistemas de gestión de la energía en ambientes residenciales, aclarando en los requerimientos y retos que se tienen a nivel técnico, pero también es importante evaluar dichas soluciones desde el punto de vista de los usuarios y su comportamiento frente a estas tecnologías. En este sentido, sería posible desarrollar trabajos futuros que complementen lo hasta ahora realizado

incluyendo estrategias que traten de educar a los usuarios en el consumo razonable de energía eléctrica, utilizando por ejemplo gamificación [48] o el reconocimiento de actividades [49].

BIBLIOGRAFÍA

- [1] IEA (International Energy Agency), "World Energy Outlook 2010," 2011.
- [2] Comisión Europea, "Perspectivas de la evolución mundial hasta 2030 en los ámbitos de la energía, la tecnología y la política climática," 2014.
- [3] IEA (International Energy Agency), *World Energy Outlook 2012*. 2012.
- [4] IEA (International Energy Agency), "World Energy Outlook 2015 Factsheet," 2015.
- [5] Congreso de Colombia, *Ley N° 1715 Del 13 de mayo de 2014*, no. May. 2014, p. 26.
- [6] V. Fernandez, "Simulación Energética de una vivienda de consumo casi nulo," *Dyna Energía y Sostenibilidad*, vol. 1 no.1, pp. 1-16, 2012.
- [7] S. Aman, Y. Simmhan, and V. K. Prasanna, "Energy management systems: state of the art and emerging trends," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 51, no. 1, pp. 114–119, 2013.
- [8] M. Beaudin and H. Zareipour, "Home energy management systems: A review of modelling and complexity," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 45. Elsevier Ltd, pp. 318–335, 2015.
- [9] P. H. Cheah, R. Zhang, H. B. Gooi, S. Member, H. Yu, and M. K. Foo, "Consumer Energy Portal and Home Energy Management System for Smart Grid Applications," *Conf. Power Energy 2012*, no. November 2009, pp. 407–411, 2012.
- [10] Y. Guo, M. Pan, and Y. Fang, "Optimal power management of residential customers in the smart grid," *IEEE Trans. Parallel Distrib. Syst.*, vol. 23, no. 9, pp. 1593–1606, 2012.
- [11] J. Han, C.-S. Choi, W.-K. Park, and I. Lee, "Green Home Energy Management System through comparison of energy usage between the same kinds of home appliances," *2011 IEEE 15th Int. Symp. Consum. Electron.*, pp. 1–4, 2011.
- [12] N. Javaid, I. Khan, M. N. Ullah, A. Mahmood, and M. U. Farooq, "A Survey of Home Energy Management Systems in Future Smart Grid Communications," in *2013 Eighth International Conference on Broadband and Wireless Computing, Communication and Applications*, 2013, pp. 459–464.
- [13] T. Kato, K. Yuasa, and T. Matsuyama, "Energy on demand: Efficient and versatile energy control system for home energy management," in *2011 IEEE International Conference on Smart Grid Communications, SmartGridComm 2011*, 2011, pp. 392–397.
- [14] C. S. Choi, W. K. Park, J. S. Han, and I. W. Lee, "The architecture and implementation of proactive Green Home Energy Management System," in *2010 International Conference on Information and Communication Technology Convergence, ICTC 2010*, 2010, pp. 457–458.
- [15] S. D'Alessandro, A. M. Tonello, A. Monacchi, and W. Elmenreich, "Home energy management systems: Design guidelines for the communication infrastructure," in *ENERGYCON 2014 - IEEE International Energy Conference*, 2014, pp. 805–812.
- [16] N. H. Maghsoodi, M. Haghnegahdar, A. H. Jahangir, and E. Sanaei, "Performance evaluation of energy management system in smart home using wireless sensor network," *Smart Grids (ICSG), 2012 2nd Iran. Conf.*, pp. 1–8, 2012.
- [17] Y.-S. Son, T. Pulkkinen, K.-D. Moon, and C. Kim, "Home energy management system based on power line communication," *IEEE Trans. Consum. Electron.*, vol. 56, no. 3, pp. 1380–1386, 2010.
- [18] O. Asad, M. Erol-Kantarci, and H. Mouffah, "Sensor network web services for Demand-Side Energy Management applications in the smart grid," *Consum. Commun. Netw. Conf. (CCNC), 2011 IEEE*, pp. 1176–1180, 2011.
- [19] D. Han and J. Lim, "Design and Implementation of Smart Home Energy Management Systems based on ZigBee," *System*, vol. 56, no. 3, pp. 1417–1425, 2010.
- [20] N. Langhammer and R. Kays, "Performance evaluation of wireless home automation networks in indoor scenarios," *IEEE Trans. Smart Grid*, vol. 3, no. 4, pp. 2252–2261, 2012.
- [21] M. Z. Huq and S. Islam, "Home Area Network technology assessment for demand response in smart grid environment," *Universities Power Engineering Conference (AUPEC), 2010 20th Australasian*. pp. 1–6, 2010.
- [22] C. Selvam and K. Srinivas, "Advanced metering infrastructure for smart grid applications," *Recent Trends ...*, pp. 145–150, 2012.
- [23] C. W. Liu, C. C. Luo, P. Y. Lin, G. C. Lu, W. C. Wu, J. I. Tsai, and C. Y. Hsueh, "Develop a power quality measurement system integrated with HAN home energy management system," in *DRPT 2011 - 2011 4th International Conference on Electric Utility Deregulation and Restructuring and Power Technologies*, 2011, pp. 1506–1510.
- [24] P. Han, J. Wang, Y. Han, and Q. Zhao, "Novel WSN-based residential energy management scheme in smart grid," in *2012 International Conference on Information Science and Technology (ICIST)*, 2012, pp. 393–396.
- [25] A. Cama Pinto, E. De la Hoz Franco, and D. Cama Pinto, "Las redes de sensores inalámbricos y el internet de las cosas," *Inge Cuc*, vol. 8, no. 1, pp. 163–172, 2012.
- [26] Home Gateway Initiative. Use Cases and Architecture for a Home Energy Management Service. August 5th, 2011. Disponible en: http://www.homegatewayinitiative.org/publis/GD-017-R3_use-cases-and-architecture-for-home-energy-Management-service.pdf
- [27] K. Baraka, M. Ghobril, S. Malek, R. Kanj, and A. Kayssi, "Low cost arduino/android-based energy-efficient home automation system with smart task scheduling," *Proc. - 5th Int. Conf. Comput. Intell. Commun. Syst. Networks, CICSyN 2013*, pp. 296–301, 2013.
- [28] M. Starsinic, "System architecture challenges in the home M2M network," in *2010 Long Island Systems, Applications and Technology Conference, LISAT 10*, 2010.
- [29] A. Hafeez, N. H. Kandil, B. Al-Omar, T. Landolsi, and A. R. Al-Ali, "Smart home area networks protocols within the smart grid context," *J. Commun.*, vol. 9, no. 9, pp. 665–671, 2014.

- [30] R. H. Jacobsen and S. A. Mikkelsen, "Infrastructure for intelligent automation services in the smart grid," in *Wireless Personal Communications*, 2014, vol. 76, no. 2, pp. 125–147.
- [31] T. Yoshihisa, N. Fujita, and M. Tsukamoto, "HEMS toolkit: A toolkit for constructing a home energy management system," in *2011 IEEE Consumer Communications and Networking Conference, CCNC'2011*, 2011, pp. 822–823.
- [32] H. Kim, S. K. Lee, H. Kim, and H. Kim, "Implementing home energy management system with UPnP and mobile applications," *Comput. Commun.*, vol. 36, no. 1, pp. 51–62, 2012.
- [33] S. S. S. R. Depuru, L. Wang, and V. Devabhaktuni, "Smart meters for power grid: Challenges, issues, advantages and status," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 15, no. 6, pp. 2736–2742, 2011.
- [34] Y. Huang, H. Tian, and L. Wang, "Demand response for home energy management system," *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, vol. 73, pp. 448–455, 2015.
- [35] OpenEnergyMonitor, "OpenEnergyMonitor," 2016. [Online]. Available: <https://openenergymonitor.org/emon/>. [Accessed: 19-Apr-2016].
- [36] SAMSUNG, "SAMSUNG SmartThings," 2016. [Online]. Available: <https://www.smartthings.com/how-it-works>. [Accessed: 19-Apr-2016].
- [37] Schneider Electric, "Wiser Home Energy Management System," *Schneider Electric Industries SAS*, 2016. [Online]. Available: http://download.schneider-electric.com/files?p_Reference=LSB02758EN&p_File_Id=1862177895&p_File_Name=LSB02758EN.pdf. [Accessed: 18-Apr-2016].
- [38] A. Kailas, V. Cecchi, and A. Mukherjee, "A survey of communications and networking technologies for energy management in buildings and home automation," *J. Comput. Networks Commun.*, vol. 2012, 2012.
- [39] A. C. and R. N., "Home Energy Management System for High Power – intensive Loads," *Emerg. Trends Electr. Electron. Instrum. Eng. An Int. J.*, vol. 1, no. 2, pp. 9–17, 2014.
- [40] S. K. Korkua and K. Thinsurat, "Design of ZigBee based WSN for smart demand responsive home energy management system," in *13th International Symposium on Communications and Information Technologies: Communication and Information Technology for New Life Style Beyond the Cloud, ISCIT 2013*, 2013, pp. 549–554.
- [41] M. Erol-Kantarci and H. T. Mouftah, "Wireless Sensor Networks for Cost-Efficient Residential Energy Management in the Smart Grid," *IEEE Trans. Smart Grid*, vol. 2, no. 2, pp. 314–325, 2011.
- [42] M. Erol-Kantarci and H. T. Mouftah, "Using wireless sensor networks for energy-aware homes in smart grids," in *Computers and Communications (ISCC), 2010 IEEE Symposium on*, 2010, pp. 456–458.
- [43] M. Erol-Kantarci and H. T. Mouftah, "TOU-Aware Energy Management and Wireless Sensor Networks for Reducing Peak Load in Smart Grids," *2010 IEEE 72nd Veh. Technol. Conf. Fall, VTC2010-Fall*, pp. 1–5, 2010.
- [44] J. Han, C.-S. Choi, and I. Lee, "More efficient home energy management system based on ZigBee communication and infrared remote controls," *IEEE Trans. Consum. Electron.*, vol. 57, no. 1, pp. 85–89, 2011.
- [45] J. Byun, I. Hong, B. Kang, and S. Park, "Implementation of an Adaptive Intelligent Home Energy Management System Using a Wireless Ad-Hoc and Sensor Network in Pervasive Environments," in *2011 Proceedings of 20th International Conference on Computer Communications and Networks (ICCCN)*, 2011, pp. 1–6.
- [46] J. Byun, B. Jeon, J. Noh, Y. Kim, and S. Park, "An intelligent self-adjusting sensor for smart home services based on ZigBee communications," *IEEE Trans. Consum. Electron.*, vol. 58, no. 3, pp. 794–802, 2012.
- [47] M. Li and H.-J. Lin, "Design and Implementation of Smart Home Control Systems Based on Wireless Sensor Networks and Power Line Communications," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 62, no. 7, pp. 4430–4442, 2014.
- [48] G. Daphne, D. Keyson, S. Boess, and H. Brezet, "Exploring the Use of a Game to Stimulate Energy Saving in Households." *Journal of Design Research*, Vol. 10, pp. 102–120, 2012.
- [49] G. Azkune, A. Almeida, D. López-de-Ipiña and L. Chen "Modelado de Actividades Humanas," *Dyna New Technologies.*, vol. 1 no.1, pp. 1-12, 2014.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecemos al SENA y a Unisucre por su apoyo parcial al trabajo mediante el proyecto SAEH. "Este trabajo también es parcialmente financiado por el Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER) y el gobierno de la Comunidad Autónoma de Galicia bajo el acuerdo con el Centro de Investigación en Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (AtlantTIC) y por el Ministerio de Economía y Competitividad bajo el Plan Nacional de Investigación (proyecto TEC2014-54335-C4-3-R)."

MATERIAL SUPLEMENTARIO

En la tabla 7 es el complemento de la tabla 6, que agrega otros autores que no se encuentran relacionados en la tabla 6 debido al límite de palabras en el artículo.

Tabla. Clasificación de referencias

Simulaciones	Prototipos	Comerciales	Estructura de Comunicación			HEM Bajo Costo
			Probadas Socialmente	WIFI	Zigbee	
[9], [15], [24] [42], [48], [50], [51],	[14]–[16], [19], [27] [31], [32], [45]–[48], [53]–[54]	[34]–[38], [55]	[11], [16], [15], [19], [24], [44], [56]–[61]	[38], [27], [30], [62]	[7]–[33], [38]–[47], [50], [53]– [54], [56]– [84], [51], [85]–[89]	[15], [17], [23], [26], [38], [27], [28], [31], [39] [47], [48], [54], [58], [88]

Tabla 7. Clasificación de referencias

Referencias Complementarias

- [50] P. Palensky and D. Dietrich, "Demand side management: Demand response, intelligent energy systems, and smart loads," *IEEE Trans. Ind. Informatics*, vol. 7, no. 3, pp. 381–388, 2011.
- [51] A. Singhal and R. P. Saxena, "Software models for smart grid," in *2012 1st International Workshop on Software Engineering Challenges for the Smart Grid, SE-SmartGrids 2012 - Proceedings*, 2012, pp. 42–45.
- [53] N. C. Batista, R. Melício, J. C. O. Matias, and J. P. S. Catalão, "Photovoltaic and wind energy systems monitoring and building/home energy management using ZigBee devices within a smart grid," *Energy*, vol. 49, no. 1, pp. 306–315, 2013.
- [54] A. Zaballos, A. Vallejo, and J. M. Selga, "Heterogeneous communication architecture for the smart grid," *IEEE Netw.*, vol. 25, no. 5, pp. 30–37, 2011.
- [55] K. Bojanczyk and C. Analyst, "HOME ENERGY MANAGEMENT SYSTEMS : Vendors , Technologies," 2013.
- [56] Y. Ozturk, P. Jha, S. Kumar, and G. Lee, "A personalized home energy management system for residential demand response," in *International Conference on Power Engineering, Energy and Electrical Drives*, 2013, pp. 1241–1246.
- [57] D. Senthilkumar, S. Kumar, Y. Ozturk, G. Lee, and S. Diego, "An ANFIS based sensor network for a residential energy management system," in *Conference on Sensor Networks and Applications*, 2010.
- [58] J.-J. W. J.-J. Wang and S. W. S. Wang, "Wireless sensor networks for Home Appliance Energy Management based on ZigBee technology," *Mach. Learn. Cybern. ICMLC 2010 Int. Conf.*, vol. 2, no. July, pp. 1041–1046, 2010.
- [59] U. Hany and L. Akter, "Wireless sensor network for information based domestic power management," in *Computer and Information Technology (ICCIT), 2014 17th International Conference on*, 2014, pp. 180–184.
- [60] S. Rollins, N. Banerjee, L. Choudhury, and D. Lachut, "A system for collecting activity annotations for home energy management," *Pervasive Mob. Comput.*, vol. 15, pp. 153–165, 2014.
- [61] O. A. Sianaki, O. Hussain, T. Dillon, and A. R. Tabesh, "Intelligent decision support system for including consumer's preferences in residential energy consumption in Smart Grid," in *Proceedings - 2nd International Conference on Computational Intelligence, Modelling and Simulation, CIMSIm 2010*, 2010, pp. 154–159.
- [62] C. E. P. Jordán Córdova, B. Asare-Bediako, G. M. a. Vanalme, and W. L. Kling, "Overview and Comparison of Leading Communication Standard Technologies for Smart Home Area Networks Enabling Energy Management Systems," *46th Int. Univ. Power Eng. Conf.*, no. September, pp. 1–6, 2011.
- [63] A. R. Boynuegri, B. Yagcitekkin, M. Baysal, A. Karakas, and M. Uzunoglu, "Energy management algorithm for smart home with renewable energy sources," *4th Int. Conf. Power Eng. Energy Electr. Drives*, no. May, pp. 1753–1758, 2013.

- [64] M. Erol-Kantarci and H. T. Mouftah, "Wireless Sensor Networks for Domestic Energy Management in Smart Grids," *25th Queen's Bienn. Symp. Commun. QBSC 2010*, pp. 63–66, 2010.
- [65] V. C. G??ng??r, D. Sahin, T. Kocak, S. Erg??t, C. Buccella, C. Cecati, and G. P. Hancke, "Smart grid technologies: Communication technologies and standards," *IEEE Trans. Ind. Informatics*, vol. 7, no. 4, pp. 529–539, 2011.
- [66] E. Inga, "Redes de Comunicación en Smart Grid," *INGENIUS*. N°7, pp. 36–55, 2012.
- [67] G. Kalogridis, Z. Fan, and S. Basutkar, "Affordable privacy for home smart meters," in *Proceedings - 9th IEEE International Symposium on Parallel and Distributed Processing with Applications Workshops, ISPAW 2011 - ICASE 2011, SGH 2011, GSDP 2011*, 2011, pp. 77–84.
- [68] I. Khan, a Mahmood, N. Javaid, S. Razzaq, R. D. Khan, and M. Ilahi, "Home Energy Management Systems in Future Smart Grids," *arXiv Prepr. arXiv ...*, pp. 1224–1231, 2013.
- [69] A. Khanna, "Smart Grid, Smart Controllers and Home Energy Automation—Creating the Infrastructure for Future," *Smart Grid and Renewable Energy*, vol. 03, no. 03, pp. 165–174, 2012.
- [70] M. Kuzlu, M. Pipattanasomporn, and S. Rahman, "Hardware demonstration of a home energy management system for demand response applications," *IEEE Trans. Smart Grid*, vol. 3, no. 4, pp. 1704–1711, 2012.
- [71] G. Li, H. Sun, H. Gao, H. Yu, and Y. Cai, "A survey on wireless grids and clouds," in *8th International Conference on Grid and Cooperative Computing, GCC 2009*, 2009, pp. 261–267.
- [72] J. Li, J. Y. Chung, J. Xiao, J. W.-K. Hong, and R. Boutaba, "On the design and implementation of a home energy management system," *Sci. Technol.*, pp. 1–6, 2011.
- [73] Y. Li, "Design of a Key Establishment Protocol for Smart Home Energy Management System," *2013 Fifth Int. Conf. Comput. Intell. Commun. Syst. Networks*, pp. 88–93, 2013.
- [74] C. H. Lien, Y. W. Bai, and M. B. Lin, "Remote-controllable power outlet system for home power management," *IEEE Trans. Consum. Electron.*, vol. 53, no. 4, pp. 1634–1641, 2007.
- [75] C. H. Lo and N. Ansari, "The progressive smart grid system from both power and communications aspects," *IEEE Commun. Surv. Tutorials*, vol. 14, no. 3, pp. 799–821, 2012.
- [76] Z. L. Z. Luhua, Y. Z. Y. Zhonglin, W. S. W. Sitong, Y. R. Y. Ruiming, Z. H. Z. Hui, and Y. Q. Y. Qingduo, "Effects of Advanced Metering Infrastructure (AMI) on relations of Power Supply and Application in smart grid," in *CICED 2010 Proceedings*, 2010, pp. 1–5.
- [77] H. Lund, A. N. Andersen, P. A. ??stergaard, B. V. Mathiesen, and D. Connolly, "From electricity smart grids to smart energy systems - A market operation based approach and understanding," *Energy*, vol. 42, no. 1. pp. 96–102, 2012.
- [78] A. H. Mohsenian-Rad, V. W. S. Wong, J. Jatskevich, R. Schober, and A. Leon-Garcia, "Autonomous demand-side management based on game-theoretic energy consumption scheduling for the future smart grid," *IEEE Trans. Smart Grid*, vol. 1, no. 3, pp. 320–331, 2010.
- [79] A. Molderink, V. Bakker, M. G. C. Bosman, J. L. Hurink, and G. J. M. Smit, "Domestic energy management methodology for optimizing efficiency in Smart Grids," *2009 IEEE Bucharest PowerTech*, pp. 1–7, 2009.
- [80] D. Niyato, L. Xiao, and P. Wang, "Machine-to-machine communications for home energy management system in smart grid," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 49, no. 4, pp. 53–59, 2011.
- [81] J. Pan, R. Jain, and S. Paul, "A survey of energy efficiency in buildings and microgrids using networking technologies," *IEEE Communications Surveys and Tutorials*, vol. 16, no. 3. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., pp. 1709–1731, 2014.
- [82] M. Pipattanasomporn, M. Kuzlu, S. Rahman, and S. Member, "An Algorithm for Intelligent Home Energy Management and Demand Response Analysis," *IEEE Trans. Smart Grid*, vol. 3, no. 4, pp. 1–8, 2012.
- [83] a Rossello--Busquet, J. Soler, and L. Dittmann, "A Novel Home Energy Management System Architecture," *2011 Uksim 13th Int. Conf. Comput. Model. Simul.*, pp. 387–392, 2011.
- [84] T. Schwartz, S. Deneff, G. Stevens, L. Ramirez, V. Wulf, and S. Augustin, "Cultivating Energy Literacy — Results from a Longitudinal Living Lab Study of a Home Energy Management System," *Proc. SIGCHI Conf. Hum. Factors Comput. Syst.*, pp. 1193–1202, 2013.
- [85] Y. Suhara, T. Nakabe, G. Mine, and H. Nishi, "Distributed demand side management system for home energy management," *IECON 2010 - 36th Annu. Conf. IEEE Ind. Electron. Soc.*, pp. 2430–2435, 2010.
- [86] S. Ventylees Raj, "Implementation of pervasive computing based high-secure smart home system," in *2012 IEEE International Conference on Computational Intelligence and Computing Research, ICCIC 2012*, 2012.

- [87] A. Virolainen and M. Saaranen, "Networked power management for home multimedia," in *2008 5th IEEE Consumer Communications and Networking Conference, CCNC 2008*, 2008, pp. 331–332.
- [88] C. Warmer and K. Kok, "Web services for integration of smart houses in the smart grid," *Grid-Interop-The ...*, pp. 1–5, 2009.
- [89] Z. Zhao, W. C. Lee, Y. Shin, S. Member, and K. Song, "An Optimal Power Scheduling Method for Demand Response in Home Energy Management System," *IEEE Trans. Smart Grid*, vol. 4, no. 3, pp. 1391–1400, 2013.