

Energy Management Software Systems Based on ISO 50001 Standard: A Preliminary Systematic Mapping Study

John W. Castro

*Departamento de Ingeniería Informática
y Ciencias de la Computación
Universidad de Atacama
Copiapó, Chile
john.castro@uda.cl*

Efraín R. Fonseca C.

*Departamento de Ciencias
de la Computación
Universidad de las Fuerzas Armadas
ESPE
Sangolquí, Ecuador
erfonseca@espe.edu.ec*

Pablo Meléndez M.

*Departamento de Ingeniería Informática
y Ciencias de la Computación
Universidad de Atacama
Copiapó, Chile
pablo.melendez@alumnos.uda.cl*

Abstract—The United Nations Organization for Industrial Development requested the International Organization for Standardization the development of an international standard for energy management, within the framework of the industries' needs to have an effective response to climate changes. As a result, the ISO 50001 standard was published in 2011. This standard specifies the guidelines for the implementation of Energy Management Systems in companies, through a continuous cycle of improvements. Due to the standard's recentness, it is necessary to determine the software systems and its application that could support the industry to facilitate the standard's application. This work aims to know the current software systems development trend regarding the use of ISO 50001 standard. We perform a preliminary Systematic Mapping Study (SMS), as a research method, in order to establish the state of the art about the incorporation of ISO 50001 standard into software systems for energy management. 8 primary studies were found as a result of this research, which were categorized into two groups: studies who describe a methodology to apply the standard, and studies who propose a software system for implement the standard. There are few studies reporting software systems for energy management based on ISO 50001 standard; hence, we believe that it is necessary to make a greater effort for the research and development of this area.

Keywords—systematic mapping study, software engineering, energy management systems, ISO 50001

I. INTRODUCCIÓN

Actualmente nos encontramos en un periodo de la humanidad donde utilizamos una ingente cantidad de energía en cada una de nuestras actividades. Para poder satisfacer la necesidad de energía que tenemos, hemos dispuesto una serie de mecanismos para obtenerla (que en la mayoría de los casos involucra combustibles fósiles), los cuales perjudican nuestro medio ambiente [1]. Un gran porcentaje de esta energía que es producida actualmente es desperdiciada por innumerables razones, por ejemplo: equipos que se mantienen en funcionamiento sin ser utilizados y equipos antiguos con bajos o nulos estándares de eficiencia energética. Gestionar de manera eficiente el uso de la energía nos permitirá: continuar

realizando nuestras actividades, impactar en menor medida al medio ambiente y lograr ahorros de dinero sustentables en el tiempo. La acción de generar un ahorro energético no requiere dejar de realizar ciertas actividades para disminuir el consumo de energía. Lo que si requiere es que la industria tome decisiones encaminadas a obtener eficiencia energética (EE) (por ejemplo, cambiando la luminaria por las que ofrezcan la capacidad de disminuir el consumo energético).

Sin embargo, hasta el año 2011 no existía una norma internacional para la gestión de la energía, por tal razón la Oficina de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI), solicitó a la Organización Internacional de Normalización (ISO), desarrollar una norma para tal fin. Es entonces, cuando en el año 2011 se presenta la ISO 50001, cuya implementación proporciona beneficios para las organizaciones grandes y pequeñas, en los sectores públicos y privados. Ésta norma, establece un marco de trabajo para las distintas industrias, instalaciones comerciales, institucionales y gubernamentales para gestionar la energía. Se estima que la norma, aplicada a los distintos sectores económicos, podría influir en un ahorro de hasta un 60% en el consumo de energía del mundo [2], considerando además que los sectores productivos industriales, de transporte y el de servicios representan el 77% del consumo global [3]. Mediante la aplicación de la norma, una organización contribuye a mejorar la política energética en todo el sector y a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero [3]. El objetivo principal de la norma es apoyar a las organizaciones en la generación de procesos y sistemas necesarios para mejorar los resultados energéticos, basados en el conocido principio de mejora continua *Plan-Do-Check-Action* (PDCA).

Un sistema de gestión energética (SGE) permite a una organización tomar las medidas necesarias para mejorar su eficiencia energética y demostrar la conformidad del sistema con los requisitos de la Norma ISO 50001 [2]. Los sistemas software son la herramienta idónea para apoyar el seguimiento de planes y automatización de actividades porque, por un

lado, permiten tener una visión global y en tiempo real del funcionamiento de una empresa, y por otro lado favorecen la toma, sobre la marcha, de acciones correctivas logrando así una mayor eficiencia y eficacia. Por tal razón, es importante que las organizaciones cuenten con sistemas software para la gestión de la energía. Nuestro trabajo tiene por objetivo investigar en la literatura el estado de arte acerca del desarrollo de sistemas software que gestionen la energía y, en paralelo que implementen la ISO 50001. Nuestra investigación está motivada por el interés que tiene el Departamento de Ingeniería Informática y Ciencias de la Computación (DIICC) de la Universidad de Atacama, en implementar un sistema software de gestión de energía (SSGE). La metodología utilizada es un mapeo sistemático de literatura (SMS de sus siglas del inglés *Systematic Mapping Study*).

Lo que resta del artículo está organizado de la siguiente manera. La Sección II presenta los antecedentes. La Sección III describe los elementos claves del protocolo de investigación y como fue realizado el SMS. La Sección IV reporta los resultados de la investigación. La Sección V sintetiza el SMS. En la Sección VI se discuten las amenazas a la validez del SMS. Finalmente, en la Sección VII se presentan las conclusiones y trabajos futuros.

II. ANTECEDENTES

El proceso de estandarización o normalización consiste en establecer modelos o patrones de referencia óptimos con relación a distintas actividades científicas, industriales o económicas con el fin de ordenarlas y mejorarlas. Las normas son elaboradas por los comités técnicos de los organismos de normalización, formados por expertos que representan a todas las partes interesadas e involucradas en la actividad objeto de normalización. Estas normas se basan en las experiencias y mejores prácticas a la vista de los expertos que integran cada comité, por lo que son un modelo garantizado para aquellas empresas u organizaciones que voluntariamente deseen acogerse a ellas.

Durante la década del 2000, una serie de organismos de normalización de diversos países, de manera independiente, desarrollaron una serie de estándares orientados a la gestión de la energía. Algunos de estos estándares son los siguientes:

- DS 2403:2001 Energy Management-Specification and DS/INF 136:2001 Energy Management-Guidance on Energy Management, 2001, Dinamarca.
- SS 627750:2003 Energy Management Systems-Specification, 2003, Suecia.
- ANSI/MSE 2000:2005 A Management System for Energy, 2005, Estados Unidos.
- IS 393:2005 Energy Management Systems Specification with Guidance for Use, 2005, Irlanda.
- UNE 216301:2007 Sistema de Gestión Energética, 2007, España.
- EN 16001:2009 Energy Management Systems, 2009, Unión Europea.

En el año 2008, la ONUDI solicitó a la ISO desarrollar una norma internacional para la gestión de la energía. La

intención que se fija en el desarrollo de la norma tiene relación con tomar medidas en la proliferación de normas nacionales de gestión de energía y principalmente que la industria de una respuesta efectiva al cambio climático. Como se mencionó anteriormente, durante el año 2011 se presenta la norma ISO 50001 sobre Sistemas de Gestión de Energía. Esta norma, especifica los requisitos para que una organización establezca, implemente, mantenga y mejore un sistema de gestión energética que permita a dicha organización adoptar un enfoque sistemático para alcanzar una mejora continua en el rendimiento energético. Es importante destacar que la implementación de un estándar de gestión energética dentro de una organización requiere cambios en las prácticas institucionales existentes hacia la energía. El personal debe entender sobre los sistemas de gestión (por ejemplo, de seguridad y medio ambiente), y a su vez, de las dinámicas en el establecimiento de este tipo de normas y su integración en la cultura organizacional [4]. Los requisitos generales de la ISO 50001 incluyen:

- Compromiso con el mejoramiento continuo de la eficiencia energética.
- Designación de una persona calificada para la gestión energética.
- Desarrollo de un plan de gestión energética en la organización.
- Análisis de los usos principales de la energía en la organización.
- Selección de indicadores y objetivos de rendimiento energético que ayuden al desarrollo e implementación del plan de acción.
- Personal de la organización capacitado en prácticas diarias para la mejora de los rendimientos energéticos.
- Evaluación de los resultados de forma regular y comunicados a todo el personal.

La ISO 50001 combina la implementación de un SGE con los beneficios de una herramienta de gestión empresarial, vinculando la gestión energética y los procesos comerciales con la habilidad de cumplir con las demandas en aumento de los clientes en todo el mundo para la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero [2].

Los sistemas software son herramientas que permiten manipular, organizar y realizar cálculos sobre una gran cantidad de información. En el caso de la ISO 50001, los SSGE se pueden idear para mantener el control del ciclo de mejora continua. La finalidad de esto es administrar, verificar y evaluar la planificación de las actividades, con la intención de registrar el avance de las mismas. En otra arista, también se posibilita la manipulación de dispositivos, obtención de información a través de sensores, proyección sobre consumos y para tomar acciones predictivas, entre otras características. Es por esto, que surge la necesidad de estudiar e investigar áreas de desarrollo, con el propósito de conocer el estado actual y al mismo tiempo, clasificarlas.

Existen varios tipos de SSGE, los cuales incorporan tecnología, con la finalidad de lograr medir, monitorear, y au-

tomatizar los entornos. Estos SGE han sido desarrollados para entornos locales, aplicaciones web, aplicaciones para sistemas operativos de smartphones y aplicaciones embebidas en hardware (por ejemplo, Arduino y ZigBee), pudiendo acceder a la información tanto por vía remota como local. Existen SGE que son utilizados con fines de monitoreo de consumo eléctrico en hogares [5], [6]. Además, se han desarrollado SSGE con la finalidad de satisfacer requerimientos de edificios, donde es posible conocer los consumos, y detectar y notificar interrupciones de energía [7]. En otra línea, se han desarrollado SGE basados en BEMOSS [8], una plataforma de código libre basada en el paradigma del Internet de las Cosas (IdC). Estos SGE trabajan con tecnologías inalámbricas, que permiten facilidad y rapidez tanto en la implementación como en la puesta en marcha de los sistemas.

Sin embargo, los trabajos anteriores, relacionados con SGE desarrollados bajo requerimientos de la industria comercial, no consideran las normas o lineamientos de la ISO 50001. Implementar esta norma, brinda la posibilidad para una organización de establecer una mejora continua en el tiempo consolidando ahorros en costos operativos. Por tal razón, se hace necesario realizar mayores esfuerzos en determinar cual es el estado del arte con respecto a la implementación de los sistemas software de gestión de energía basados en la ISO 50001.

III. MAPEO SISTEMÁTICO DE LITERATURA

Un SMS es una metodología que consiste en investigar la literatura sobre un área de interés particular, con el objetivo de determinar la naturaleza, el alcance y la cantidad de estudios primarios publicados [9]. Los SMS categorizan los estudios primarios, mostrando una visión sintetizada del área de investigación que está siendo considerada. El objetivo de nuestro SMS es responder la pregunta de investigación (RQ de las siglas en inglés de *Research Question*):

RQ: ¿Cuál es el estado del arte de la incorporación de la norma ISO 50001 en los sistemas software para la gestión energética?

A continuación, definiremos la estrategia de búsqueda y el proceso de selección de artículos.

A. Bases de Datos y Estrategias de Búsqueda

El SMS se inició con la identificación de las palabras clave y la cadena de búsqueda, construidas a partir de la cuestión de investigación. Inicialmente se realizó una búsqueda tradicional, a partir de la cual se obtuvieron, en consenso con los investigadores participantes, algunos artículos que respondían a la RQ planteada. Estos artículos fueron estudiados para determinar los términos de búsqueda más apropiados para el SMS. Estos términos de búsqueda fueron validados y completados por dos expertos investigadores en el área. La cadena de búsqueda finalmente utilizada fue: ("ISO 50001") AND ("Tool" OR "Application" OR "Software").

Las bases de datos (BBDD) electrónicas usadas en el SMS fueron: IEEE Xplore, Scopus, SpringerLink y ScienceDirect. Es importante mencionar que antes de realizar la búsqueda

en estas BBDD con la cadena previamente definida, se determinaron los campos que deberían ser utilizados en cada una de ellas. Los campos de búsqueda fueron establecidos de acuerdo a las características propias de cada BBDD. La búsqueda comprendió desde el año 2011 hasta el 2016. La razón es que la introducción de la ISO 50001 tuvo lugar el año 2011. La fecha en la que se realiza la búsqueda es el 17/10/2016. Para determinar los estudios primarios que tienen relación con nuestra RQ, se utilizaron los siguientes criterios de inclusión y exclusión.

Criterios de Inclusión. El artículo debe: (i) Tener relación con la incorporación de la ISO 50001, (ii) explicar la implementación de un SSGE basado en la ISO 50001, (iii) explicar el uso de algún sistema software para la implementación de la ISO 50001, (iv) describir el desarrollo de un sistema software utilizando como guía la ISO 50001, (v) presentar una metodología para la implementación de la ISO 50001.

Criterios de Exclusión. El artículo: (i) Discute los SSGE, pero no la ISO 50001, (ii) Desarrolla un SSGE pero no está basado en la ISO 50001, (iii) describe la implementación de un SSGE no basado en la ISO 50001, (iv) describe otras normas para la Gestión de Energía diferentes a la ISO 50001.

B. Selección de Artículos

Una vez definida la cadena y campo de búsqueda para cada BBDD, se procedió a realizar las búsquedas. El conjunto de artículos resultado de la búsqueda ha sido denominado *artículos encontrados*. Los *artículos encontrados* fueron revisados mediante el examen del título, palabras clave y resumen. Aquellos artículos que podrían contener información relevante para el objetivo de la investigación fueron incluidos en el grupo de *artículos pre-seleccionados*. Cuando se completó el grupo final de *artículos preseleccionados*, se eliminaron los artículos duplicados entre cada BBDD y luego se eliminaron los duplicados entre todas las BBDD. El grupo de artículos resultantes ha sido denominado como artículos *pre-seleccionados diferentes*.

Es importante mencionar que cuando se encontraban artículos duplicados, se dejaba siempre la primera ocurrencia del artículo y se eliminaban los demás. Así, a medida que se eliminaban duplicados entre todas las BBDD, el número de artículos iba disminuyendo. Es decir, el artículo siempre se conservaba en la primera BBDD donde se encontraba. De este modo, si el orden de las búsquedas fuese cambiado, entonces el número de artículos *pre-seleccionados diferentes* que aporta cada BBDD podría ser distinto. Se aplicaron los criterios de inclusión y exclusión a cada uno de los artículos pertenecientes al grupo *preseleccionados diferentes*, para obtener finalmente un nuevo grupo de artículos denominado *Estudios Primarios*.

Finalmente, la Tabla I muestra un resumen para cada BBDD del número de artículos obtenidos al aplicar la cadena de búsqueda, el número de *artículos pre-seleccionados*, el número de artículos *pre-seleccionados diferentes*, así como el número de *Estudios Primarios*. Los *artículos pre-seleccionados* son todos aquellos estudios que cumplen con los criterios de inclusión/exclusión, pero aplicados únicamente sobre el título,

resumen y las palabras clave. Esta estrategia nos ha permitido filtrar rápidamente el resultado de las búsquedas, al reducir de 149 a 34 el número de artículos que evaluar en detalle. La búsqueda ha dado como resultado un total de 8 estudios primarios. Es importante comentar que nos encontramos con la imposibilidad de analizar algunos artículos del grupo de *pre-seleccionados diferentes*, porque no están disponibles para su descarga. Estas publicaciones son las siguientes: [10], [11], [12], [13] y [14].

TABLA I
NÚMERO TOTAL DE ARTÍCULOS OBTENIDOS EN CADA BBDD

BBDD	Encontrados	Preselecc.	Preselecc. Dfies	Estudios Primarios
IEEE Xplore	6	6	6	3
SpringerLink	88	3	3	0
ScienceDirect	11	4	0	0
Scopus	44	21	16	5
TOTAL	149	34	25	8

IV. RESULTADOS

La Fig. 1 presenta un resumen con la categorización de los estudios primarios encontrados en el SMS y está compuesta básicamente de un plano de dos coordenadas (XY), en el cual se posicionan burbujas. Estas burbujas indican la proporción de la cantidad de artículos con relación al año, tipo de publicación (congreso, workshop, revista o capítulo de libro) y, de acuerdo a la propuesta de los autores del estudio (proponen metodología para aplicar la norma y/o describen un sistema que implementa la norma). El tamaño de cada burbuja está determinado por la cantidad de estudios primarios que fueron clasificados en cada categoría. La parte derecha de la Fig. 1 resume el número de estudios primarios publicados por año. Es importante mencionar, que en el 2011 no hay publicaciones, porque fue el año en el que se publicó la ISO 50001.

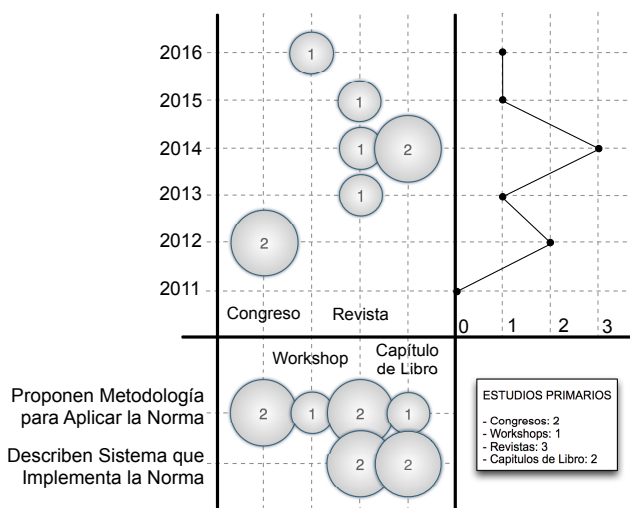


Fig. 1. Mapeo con la distribución de estudios primarios según las propuestas, incluyendo tipo y año de publicación.

V. SÍNTESIS

A través del análisis de los estudios primarios, identificamos los aspectos más recurrentes en la adopción de la ISO 50001. Estos aspectos tienen relación con: (i) la metodología para la implementación de la ISO 50001, (ii) las funcionalidades de los sistemas software para la gestión de la energía relacionados con la ISO 50001, y (iii) los sistemas software que implementen la ISO 50001. A continuación, describiremos cada uno de estos aspectos.

A. Metodología para la Implementación de la ISO 50001

El principal punto que debe considerarse al momento de estandarizar una organización o institución con respecto a la norma ISO 50001, es la implementación de la misma. Al respecto, encontramos estudios primarios en los que proponen simplificar la tarea de la documentación y los procedimientos necesarios para su implementación [15], [16]. Para ello, es necesario conocer el ciclo PDCA, porque es la base para algunas normas (por ejemplo, ISO 9000, ISO 14000, ISO 50001 e ISO 55001) y guía la planificación y el planteamiento de objetivos para el cumplimiento de la norma.

Los trabajos de Imel y colegas [17] y Quyen & Le [18] realizan un caso de estudio en el Condado de Monroe (Misuri, EEUU) y en Vietnam, respectivamente. Imel y colegas [17] presentan el proyecto llamado “Jackson Energy Retrofit”, el cual tiene como finalidad realizar las actividades claves dentro de la ISO 50001 para así lograr mejores desempeños energéticos. En el trabajo de Quyen & Le [18] se resume la norma, proponiendo una hoja de ruta para su implementación con la intención de que en un plazo de 10 años puedan certificarse la mayor cantidad de empresas en Vietnam. Esta hoja de ruta cuenta con tres grandes etapas [18]:

- Preparación de los recursos humanos (RRHH): Es necesario establecer un comité de gestión de energía y las políticas energéticas. Este comité debe estar integrado por profesionales con habilidades que permitan analizar, evaluar, planificar y preparar la organización monitoreando y revisando las políticas energéticas.
- Implementación piloto de la solución: Se plantea la implementación experimental del SGE a lo largo de 5 años. Al finalizar esta etapa, el proyecto debe encontrarse entre un 50% y 80% de cumplimiento de la planificación.
- Implementación o transferencia de la solución a gran escala: Esta etapa tiene una duración de 3 años, en la que se espera la implementación a gran escala del SGE.

B. Funcionalidades de los Sistemas Software para la Gestión Energética Relacionados con la ISO 50001

Los sistemas software que han sido desarrollados presentan características específicas para distintas tareas. Realizamos una clasificación de las funcionalidades que presentan los estudios primarios en los cuales se reportan el desarrollo de sistemas software y nos encontramos con cuatro escenarios: Simulación, medición, optimización e implementación. Para tareas de simulación es necesario contar con una BBDD con

escenarios predeterminados, para tener la posibilidad de comparar los consumos actuales con perfiles óptimos. En el mejor caso, encontramos una funcionalidad para medir y optimizar el consumo de los hogares y edificios [19]. A continuación, se describen los distintos tipos de sistemas software para la gestión energética basados en la ISO 50001 identificados en el SMS:

- 1) Simulación: En general este tipo de herramientas ofrece un conjunto de datos organizados y estadísticamente establecidos sobre el uso de energía en los edificios. Además, presentan la eficiencia energética y el rendimiento económico correspondiente [20], [19]. Por medio de estos datos, es posible ofrecer a los usuarios finales información sobre los sectores, tiempos y dispositivos que generan los gastos energéticos y la posibilidad de realizar comparaciones con perfiles óptimos de consumo.
- 2) Medición: La funcionalidad principal de estas herramientas es entregar, por medio de una serie de sensores, los consumos en tiempo real de distintos tipos de infraestructuras, ya sean, edificios, escuelas o industrias [18].
- 3) Optimización: Esta herramienta de gestión, en general, ofrece la capacidad, por medio de una serie de sensores, actuadores y controladores (variando de caso a caso), de ejecutar escenarios alternativos [20] de optimización para lograr una gestión “inteligente” de las cargas eléctricas del edificio hacia una gestión eficiente de la energía y la consiguiente disminución del impacto sobre el medio ambiente.
- 4) Implementación: La finalidad de este tipo de herramienta es proporcionar al equipo a cargo de la implementación de un SSGE, un marco de trabajo. Este marco de trabajo debiese alinearse con la empresa y permitir plantear objetivos e identificar la factibilidad de los mismos. A la vez, se debiese tener el acceso al nivel o porcentaje de avance que tiene cada uno de los objetivos con relación a la norma ISO 50001 [19].

C. Sistemas Software para la ISO 50001

A continuación, se presentará una breve descripción de los sistemas software que actualmente presentan soluciones para las distintas etapas dentro del marco de la ISO 50001.

- *ISO 50001 Analyzer Software* [21]: Este software está diseñado para prestar ayuda principalmente a las pequeñas y medianas industrias en la implementación de la ISO 50001. Puede ser utilizado por administradores de energía de una organización o por consultores contratados para introducir la ISO 50001, ayudando a identificar los recursos necesarios para implantar un SGE. El software utiliza un kit de herramientas GUI de Java para el diseño de la aplicación. La base de datos utilizada es Microsoft Access junto con la API JDBC.
- *EnPI* [21]: Es una herramienta basada en el análisis de regresión desarrollada por el Departamento de Energía de EEUU con la finalidad de ayudar a los gerentes de plantas

a establecer una línea base normalizada de referencia del consumo de energía.

- *Interactive Software Tool* [20]: Esta herramienta software está diseñada para la automatización de edificios. Sus características más importantes son dos. En primer lugar, propone una serie de protocolos para optimizar la transmisión de información (datos obtenidos por los sensores) y así disminuir el costo asociado al cableado y compra de sensores. En segundo lugar, propone la automatización inteligente del sistema, que realiza la optimización del consumo, en lugar de la “lógica mecánica” (es decir, la manipulación manual del accionamiento de interruptores, apagado y encendido de iluminación, maquinaria y otros) utilizada actualmente. El software se encuentra dividido en niveles (de componentes, de dispositivo, de proceso y de planta), lo que permite utilizar una menor cantidad de componentes y lograr eficiencia en la transmisión de datos de consumo de energía.
- *Enerit ISO 50001 Software* [19]: Software que cumple funciones para ayudar en la implementación de un SGE basado en la ISO 50001. *Enerit ISO 50001* se encarga de todos los planes, acciones, comunicaciones y documentos necesarios para la ISO. Está diseñado para grandes organizaciones que utilizan o requieren implantar la ISO 50001. El software Enerit tiene la capacidad de soportar todos los aspectos de la ISO 50001: gestión de documentos, auditoría y gestión de no conformidad, reuniones y revisión de gestión.
- *VNavigator* [19], [22]: Es una herramienta Web que está siendo implementada en colegios e instituciones públicas de Europa. Este sistema software es un instrumento de gestión de alto nivel y proporciona las herramientas necesarias para el desarrollo e implementación de programas de gestión de energía. El *VNavigator* fue construido sobre el sistema “Enerit ISO 50001” para la gestión de energía. A la vez, se integra con dos tecnologías: BEMS y un software para la evaluación del desempeño del edificio. BEMS supervisa y controla automáticamente, por ejemplo los sistemas de iluminación. El software para la evaluación del desempeño del edificio permite a los usuarios estimar los beneficios que se pueden obtener a través de la gestión de la energía e implementación de acciones de ahorro energético. En resumen, el *VNavigator* sugiere posibles acciones para la optimización y estima los beneficios alcanzables de las políticas de ahorro instauradas.

La Tabla II presenta un resumen de los sistemas software mencionados anteriormente. Para cada uno de estos sistemas software se especifica el escenario de uso, la tecnología utilizada, el lenguaje de programación y las referencias correspondientes.

VI. AMENAZAS A LA VALIDEZ

Identificamos como amenazas a la validez al SMS realizado las siguientes: (i) cobertura de la RQ, (ii) sesgo hacia ciertas publicaciones, (iii) calidad de la evaluación,

TABLA II
RESUMEN DE LOS SISTEMAS SOFTWARE PARA LA ISO 50001

Sistema	Escenario de Uso	Tecnología	Lenguaje Programac.	Rfcias
ISO 50001 Analyzer Software	Implementación	No descrito	Java / MS-Access	[21]
VS Navigator	Implementación, Medición y Optimización	BEMS / Enerit ISO 50001	No descrito	[19] [22]
Interactive Software Tool	Simulación, Medición y Optimización	No descrito	No descrito	[20]
Enerit ISO 50001 Software	Implementación	Sensores, Medidores y Actuadores	No descrito	[19]

(iv) desconocimiento del área, y (v) pérdida de publicaciones relevantes. Es posible que la RQ planteada cubra parcialmente la temática bajo estudio, lo que procuramos reducir planteando un objetivo de investigación. Es probable que en un SMS exista la tendencia de direccionar el proceso hacia un conjunto particular de estudios, lo que evitamos creando en consenso un grupo de control y una cadena de búsqueda generada a partir de dicho grupo. También es probable que la calidad de la evaluación de los estudios no sea la idónea, debido al desconocimiento del área de investigación, lo que intentamos reducir al incluir un investigador con experiencia en SSGE y ejecución de SMS. Finalmente, es posible que se hayan pasado por alto publicaciones relevantes, particularmente por el hecho de no poder descargar cinco artículos (como comentábamos al final de la sección III).

VII. CONCLUSIONES

En este trabajo se describe el SMS realizado para responder a la pregunta de investigación, ¿Cuál es el estado del arte de la incorporación de la ISO 50001 en los sistemas software para la gestión energética? Al ejecutar el SMS solo encontramos un total de 8 estudios primarios relacionados con la temática, lo que indica que es una área aún en desarrollo y que es necesario realizar un mayor esfuerzo de investigación. Luego de analizar los estudios primarios, determinamos las principales etapas que deben llevarse a cabo para implantar la ISO 50001 en organizaciones, edificios y entidades públicas.

El desarrollo de software relacionado con la norma ISO 50001, como principal objeto de estudio, nos permite concluir que actualmente existen pocas herramientas reportadas en la literatura que apoyen las diferentes etapas involucradas en la implementación de esta norma: simulación, medición, optimización e implementación. Igualmente, son pocos los sistemas software para la gestión de la energía reportados que implementan la norma debido a lo reciente de su publicación. La mayoría de estos trabajos no reporta las tecnologías y lenguajes de programación utilizados para la implementación de estos sistemas software.

Como trabajos futuros consideramos: (i) ampliar la búsqueda a otras BBDD como ACM Digital Library, (ii) investigar que tecnologías y lenguajes de programación son

los más idóneos para la implementación de sistemas software que permitan realizar la gestión energética basados en la ISO 50001, (iii) implementar un prototipo funcional de este tipo de sistemas software y probarlo en una institución educativa, y (iv) buscar en la industria soluciones que no están reportadas en la literatura.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado en parte por el proyecto: “Laboratorio Industrial en Ingeniería del Software Empírica (LI2SE)” del Departamento de Ciencias de la Computación de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.

REFERENCIAS

- [1] J. Rifkin, *The zero marginal cost society: The internet of things, the collaborative commons, and the eclipse of capitalism*. Palgrave Macmillan, 2014.
- [2] ISO, “Iso 50001 - gestión de la energía,” Organización Internacional de Normalización, Tech. Rep., June 2011.
- [3] M. Van der Hoeven, “Indicadores de eficiencia energética: Bases esenciales para el establecimiento de políticas,” International Energy Agency (IEA), Tech. Rep., 2015.
- [4] E. G. Huang, “Entendiendo los requisitos de la certificación de sistemas de gestión de la energía,” Energía y Sostenibilidad de SGS, Tech. Rep., July 2011.
- [5] A. Ravishankar, A. Vignesh, V. Vel, D. P. SRR, and V. Vijayaraghavan, “Low-cost non-intrusive residential energy monitoring system,” in *Technologies for Sustainability (SusTech), 2014 IEEE Conference on*. IEEE, 2014, pp. 130–134.
- [6] K. Suwansit, B. Konsombut, P. Hankongkaew, and T. Tantidham, “Pma: Power monitoring application for android,” in *Student Project Conference (ICT-ISPC), 2014 Third ICT International*. IEEE, 2014, pp. 69–72.
- [7] P. Cheah, R. Zhang, H. Gooi, H. Yu, and M. Foo, “Consumer energy portal and home energy management system for smart grid applications,” in *IPEC, 2012 Conference on Power & Energy*. IEEE, 2012, pp. 407–411.
- [8] M. Pipattanasomporn, M. Kuzlu, W. Khamphanchai, A. Saha, K. Rathinavel, and S. Rahman, “Bemoss: An agent platform to facilitate grid-interactive building operation with iot devices,” in *Innovative Smart Grid Technologies-Asia (ISGT ASIA), 2015 IEEE*. IEEE, 2015, pp. 1–6.
- [9] B. Kitchenham and S. Charters, “Guidelines for performing systematic literature review in software engineering,” Keele U. & U. of Durham, Tech. Rep., July 2007.
- [10] M. Martl, “Energy monitoring system ems as an integrated approach by lingl for energy management in accordance with din-en 16001 or iso 50001,” in *Ceramic Forum International*, vol. 89. Bauverlag GmbH, 2012.
- [11] L. Kerekes and Z. Csernátóni, “Energy management systems (enms)—new step towards environmental oriented management,” *Quality-Access to Success*, vol. 13, 2012.
- [12] R. Roessler, H. Schlieter, and W. Esswein, “Towards model-based energy management,” in *Multikonferenz Wirtschaftsinformatik*, 2014, pp. 1375–1389.
- [13] O. Ovdienko, H. Schlieter, and W. Esswein, “Energy efficiency diagnostic means as a tool of energy management system,” 2015.
- [14] V. Albretch, “Towards model-based energy management,” in *Ziegelindustrie International/Brick and Tile Industry International*, 2015, pp. 30–37.
- [15] G. L. Cascella, F. Cupertino, and C. Davide, “Energy metering optimization in flour mill plants for iso 50001 implementation,” in *IEEE Workshop on Environmental, Energy, and Structural Monitoring Systems (EESMS)*, 2016, pp. 1–5.
- [16] A. J. González, R. Castrillón, and E. C. Quispe, “Energy efficiency improvement in the cement industry through energy management,” in *IEEE-IAS/PCA 54th Cement Industry Technical Conference*, 2012, pp. 1–13.
- [17] M. R. Imel, R. Gastesi, and R. Stone, “Monroe county, florida a case study in sustainable energy management,” *Energy Engineering*, vol. 112, no. 1, pp. 47–66, 2015.

- [18] H. A. Quyen and T. T. T. Le, "The energy management according to iso 50001:2011 standard and aemas scheme feasibly implement in viet nam," in *2012 10th International Power Energy Conference (IPEC)*, Dec 2012, pp. 289–294.
- [19] A. Galata, M. Brogan, G. Pedone, A. De Ferrari, and Y. Roderick, "The verschool navigator-intelligent iso 50001 energy management decision making in school buildings," in *eWork and eBusiness in Architecture, Engineering and Construction*, A. Mahdavi, B. Martens, and R. Scherer, Eds. CRC Press, 2014, pp. 855–861.
- [20] V. Marinakis, H. Doukas, C. Karakosta, and J. Psarras, "An integrated system for buildings' energy-efficient automation: Application in the tertiary sector," *Applied Energy*, vol. 101, pp. 6–14, 2013.
- [21] B. Gopalakrishnan, K. Ramamoorthy, E. Crowe, S. Chaudhari, and H. Latif, "A structured approach for facilitating the implementation of iso 50001 standard in the manufacturing sector," *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, vol. 7, pp. 154–165, 2014.
- [22] A. Galata, F. D. Gennaro, G. Pedone, Y. Roderick, and M. Brogan, "A catalogue of optimization scenarios to enhance decision-making in establishing an efficient energy management programme," in *eWork and eBusiness in Architecture, Engineering and Construction - ECPPM 2014*, A. Mahdavi, B. Martens, and R. Scherer, Eds. Vienna: CRC Press, 2014, pp. 383–389.