



XXI JORNADAS DE INGENIERÍA DEL SOFTWARE Y BASES DE DATOS

Jesús J. García Molina (Ed.)

JISBD



Ediciones Universidad
Salamanca

XXI Jornadas de Ingeniería del Software y Bases de Datos

JESÚS J. GARCÍA MOLINA (ED.)

XXI Jornadas de Ingeniería del Software y Bases de Datos


Ediciones Universidad
Salamanca

AQUILAFUENTE
219

©

Ediciones Universidad de Salamanca y
de cada autor

Motivo de cubierta:
Diseñadora María Alonso Miguel

1.º edición: septiembre, 2016
ISBN: 978-84-9012-627-1 (PDF)

Ediciones Universidad de Salamanca
www.eusal.es
eusal@usal.es

Realizado en España – Made in Spain

*Todos los derechos reservados.
Ni la totalidad ni parte de este libro
pueden reproducirse ni transmitirse sin permiso escrito de
Ediciones Universidad de Salamanca*

Obra sometida a proceso de
evaluación mediante sistema de revisión por pares a ciegas
a tenor de las normas del congreso

Ediciones Universidad de Salamanca es miembro de la UNE
Unión de Editoriales Universitarias Españolas
www.une.es

CEP

A José María Troya

En una comida en Sevilla con José María Troya, Pere Botella e Isidro Ramos y en el marco de unas jornadas de trabajo organizadas por Miguel Toro decidimos iniciar formalmente la presentación de trabajos de investigación en Ingeniería del Software en forma de un congreso anual: las Jornadas de Ingeniería del Software, las que posteriormente, con la fusión de las Jornadas de Bases de Datos, darían origen a las JISBD y posteriormente a SISTEDES.

Algo se hizo bien y no fue fruto de la casualidad. Existían las bases suficientes para emprender nuestro particular viaje a Ithaca.

José María, desde su época de estudiante de la Especialidad de Cálculo Automático de la UCM, y más tarde durante la realización de su tesis doctoral, en la que resolvió un problema difícil definiendo una regla heurística para rebajar su complejidad computacional, se mostró como un trabajador infatigable, con una capacidad de iniciativa propia, una ética profesional a toda prueba y una sonriente amabilidad.

Los frutos de su posicionamiento personal y científico, excelentes y públicos, se acompañaron siempre con una amabilidad y seriedad que fraguaron el clima de amistad que caracteriza a nuestra comunidad. Gracias también por eso, José María.

Nosotros no hemos llegado todavía a Ithaca. Tú te anticipaste también en esto. Nos atrevemos a decir, recordando nuestras experiencias latinoamericanas juntos, que “te fuiste pronto como los elegidos en plena gloria y juventud”

Los versos de Kavafis en los que usa el Viaje como metáfora de la Vida no son capaces de llenar el vacío que nos has dejado, pero captan tu particular singladura:

“Cuando emprendas tu viaje a Ithaca /pide que el camino sea largo, /lleno de aventuras, lleno de experiencias/No temas a los lestrigones ni a los cíclopes / ni al colérico Poseidón, /seres tales jamás hallarás en tu camino, /si tu pensar es elevado, si selecta /es la emoción que toca tu espíritu y tu cuerpo/Ten siempre a Ithaca en tu mente. /Llegar allí es tu destino.”

Pero, con celeridad y silencio nos has dejado:

“Mas no apresures nunca el viaje/Mejor que dure muchos años /y atracar, viejo ya, en la isla, enriquecido de cuanto ganaste en el camino /sin esperar que Ithaca te enriquezca”

Tu ausencia estará siempre presente en JISBD, la cuales ayudaste a crear.

Descansa en Paz

Pere Botella, Isidro Ramos y Miguel Toro

Prólogo

Las “Jornadas de Ingeniería del Software y Bases de Datos” (JISBD) constituyen el foro que cada año reúne a la comunidad científica española en las áreas de Ingeniería del Software y Bases de Datos y siempre han atraído el interés de grupos de investigación de Portugal e Iberoamérica en estas dos áreas. JISBD es organizada por la Sociedad de Ingeniería de Software y Tecnologías de Desarrollo de Software (SISTEDES) junto a otras dos conferencias: Jornadas de Programación Declarativa (PROLE) y Jornadas de Ciencia e Ingeniería de Servicios (JCIS). La vigésimo primera edición de JISBD es uno de los quince eventos científicos que integran la IV Conferencia Española de Informática (CEDI) que se celebra en Salamanca. CEDI tiene una periodicidad de tres años y su propósito es mostrar a la sociedad el estado actual de la informática en España.

En la edición actual, JISBD ha continuado con la organización basada en áreas temáticas o “tracks” puesta en marcha en la edición previa. Los tipos de contribución han sido los considerados en ediciones anteriores: artículos completos, artículos cortos, artículos relevantes y demos. Como novedad se realizó un llamamiento a nuevos tracks dentro de la primera solicitud de contribuciones lanzada a principios de noviembre de 2015. Dado que no se recibió ninguna solicitud no fue necesario aplicar el mecanismo previsto para dar cabida a nuevos tracks. Por tanto, JISBD’2016 incluye los mismos tracks que en la edición anterior: *Arquitecturas del Software y Variabilidad, Calidad y Pruebas, Desarrollo de Software Dirigido por Modelos, Gestión de Datos, Ingeniería del Software Guiada por Búsqueda, Ingeniería Web y Sistemas Pervasivos y Procesos Software y Metodologías*, y de nuevo se ha incluido el track *Abierto* para dar cabida a los trabajos que no encajan en ninguno de los tracks anteriores.

Otra novedad ha tenido que ver con la modalidad de “artículos relevantes” ya publicados en revistas con índices de impacto o conferencias internacionales prestigiosas en las áreas asociadas a un determinado track. Con el fin de facilitar el proceso de selección y asegurar la calidad de estas contribuciones, se ha establecido que un “trabajo relevante” debe haber sido publicado en una revista en el cuartil Q1 de JCR o en una de las dos conferencias que ha seleccionado cada track.

Cabe destacar un incremento significativo en el número de contribuciones recibidas con respecto a las tres ediciones anteriores. Mientras en 2015 se recibieron 70 contribuciones, 54 en 2014 y 64 en 2013, en esta edición se han recibido 94 contribuciones (34 completos, 29 cortos, 25 relevantes y 6 demos). El número de trabajos aceptados ha sido 79 (30 completos, 21 cortos, 24 relevantes y 5 demos). Estos números parecen avalar la nueva organización en torno a áreas temáticas y que las JISBD pueden jugar un importante papel para dinamizar las diferentes comunidades relacionadas con la ingeniería del software y las bases de datos en nuestro país.

La conferencia invitada será impartida por Andrei Voronkok, prestigioso investigador de la Universidad de Manchester que ha recibido el premio Herbrand por sus contribuciones al razonamiento automático y que es creador de EasyChair, una de las herramientas de gestión de conferencias más extendidas en el mundo. El Dr. Voronkok analizará los desafíos a los que se ha debido hacer frente en la construcción de EasyChair desde el punto de vista del diseño de software y la gestión de los datos, así como de los retos para el futuro. Además, las conferencias invitadas de JCIS (Tommi Mikkonen, Institute of Pervasive Computing, Tampere, Finland) y de PROLE (Arnaud Gotlieb, Simula Research Laboratory, Norway), que se celebran en paralelo en esta ocasión, son también parte del programa de JISBD’2016.

Dada la estructura actual de JISBD basada en track, toda la labor de organización es realizada por un equipo formado por el Presidente del Comité de Programa y los coordinadores de cada track (el listado aparece a continuación de esta presentación). Expreso mi agradecimiento a cada uno de los coordinadores de tracks por el esfuerzo que han realizado y por su buena disposición, ha sido un placer coordinar este equipo. El trabajo que he debido realizar ha requerido un contacto permanente con SISTEDES y con el Comité Organizador de CEDI'2016. Por un lado, debo agradecer a Fernando de la Prieta toda la ayuda prestada, como persona de contacto con dicho comité, para resolver todas las cuestiones relacionadas con la web, el uso de EasyChair, la edición de actas y la gestión económica. Por otro lado, contar con Oscar Díaz como enlace con SISTEDES me ha dado una gran tranquilidad en la toma de decisiones. Agradezco también el apoyo recibido en todo momento por Diego Sevilla.

Los agradecimientos finales para aquellos que son los principales protagonistas: autores y revisores. A los primeros por apoyar a JISBD con el envío de publicaciones y la presentación de sus trabajos en Salamanca, y a los segundos por su dedicación a la tarea de mantener el nivel de calidad esperado de las contribuciones a JISBD y ayudar a los autores a mejorar sus trabajos.

Y por último, esta presentación de JISBD'2016 no puede acabar sin recordar a José María Troya, uno de los impulsores de estas Jornadas y de la Ingeniería del Software en nuestro país.

Salamanca, 13 de septiembre de 2016

Jesús J. García Molina
Presidente del Comité de Programa

Comité de programa

Presidente

Jesús Joaquín García Molina (Universidad de Murcia)

Coordinadores de los tracks

Arquitecturas Software y Variabilidad: David Benavides (Universidad De Sevilla) y Jennifer Pérez Benedí (Universidad Politécnica de Madrid)

Calidad y Pruebas: Carme Quer (Universitat Politècnica de Catalunya) y María José Suárez-Cabal (Universidad de Oviedo)

Desarrollo de Software Dirigido por Modelos: Cristina Vicente Chicote (Universidad de Extremadura) y Juan de Lara (Universidad Autónoma de Madrid)

Gestión de Datos: Sergio Ilarri (Universidad de Zaragoza) y José Ramón Paramá (Universidad de A Coruña).

Ingeniería del Software Guiada por Búsqueda: José Raúl Romero Salguero (Universidad de Córdoba) y José Francisco Chicano García (Universidad de Málaga)

Ingeniería Web y Sistemas Pervasivos: Elena Navarro (Universidad de Castilla-La Mancha) y Roberto Rodríguez Echeverría (Universidad de Extremadura)

Proceso Software y Metodologías: Mercedes Ruiz (Universidad de Cádiz) y Agustín Yagüe (Universidad de Politécnica de Madrid)

Tema Abierto: Jesús J. García Molina (Universidad de Murcia)

Coordinador de demostraciones

Diego Sevilla Ruiz (Universidad de Murcia)

Enlace con SISTEDES

Óscar Díaz García (Universidad del País Vasco)

Auditorías de *Green in IT*: Un Mapeo Sistemático

J. David Patón-Romero, Mario Piattini

Grupo de Investigación Alarcos, Instituto de Tecnologías y Sistemas de Información,
Universidad de Castilla-La Mancha, Paseo de la Universidad, 4,
13071 Ciudad Real, España
{JDavid.Paton, Mario.Piattini}@uclm.es

Resumen. En los últimos años el mundo ha ido experimentando una serie de cambios ambientales que han hecho que en la sociedad surja una fuerte convicción en pos de proteger el medioambiente. Las Tecnologías de la Información (TI) y, de manera especial, las tecnologías software, pueden contribuir a la ecosostenibilidad de dos maneras: “Green By IT”, en el sentido de que las TI pueden proporcionar herramientas que permitan llevar a cabo tareas de una manera adecuada para el medioambiente, y “Green In IT”, cuando las propias TI tienen impacto en el medioambiente, debido a su consumo energético. Sin embargo, las técnicas de Green in IT son relativamente jóvenes y no existe ningún estándar o marco que permita controlar su correcta implementación y/o funcionamiento. Por ello, el objetivo del presente mapeo sistemático es recopilar el conocimiento actual en relación a las auditorías de Green in IT, con el fin de poder determinar cuáles son las características más importantes a la hora de desarrollar un marco de auditoría de Green in IT. Los resultados obtenidos demuestran la novedad de esta área y la casi nula existencia de estudios relacionados con ésta, y, por ello, la necesidad de elaborar un marco de auditoría de Green in IT.

Palabras clave: Auditoría, Green in IT, Mapeo sistemático.

1 Introducción

Los vertiginosos cambios, mucho más allá del cambio climático, que lleva sufriendo el planeta los últimos 30 años han hecho que la sociedad y, sobre todo, las organizaciones se replanteen en muchos aspectos la eficiencia, eficacia y consumo de sus actividades, con el fin de reducir el impacto que provocan en el medioambiente.

A la hora de incrementar la sostenibilidad, el impacto de la tecnología es importante desde dos puntos de vista diferentes [3]. Por un lado, la tecnología ayuda a las organizaciones a abordar las cuestiones medioambientales (reuniones virtuales, desmaterialización de actividades, mejoras en logística, sistemas de transporte inteligentes, *smart grids*, etc.); mientras que, por otro, la tecnología en sí misma es responsable de una importante degradación medioambiental (por ejemplo, la cantidad de energía consumida por los procesos de ingeniería utilizados para fabricar los productos tecnológicos).

En este sentido, Erdélyi [4] destaca que las Tecnologías de la Información (TI de ahora en adelante) pueden contribuir a la ecosostenibilidad de dos maneras: “Green By

IT” en el sentido de que las TI pueden proporcionar herramientas que permitan llevar a cabo tareas de una manera adecuada para el medioambiente (es decir, TI como habilitador (*enabler*) en el sentido de Unhelkar [10]), y “Green In IT”, cuando las propias TI tienen impacto en el medioambiente, por el consumo energético y las emisiones producidas por los propios elementos de las TI (es decir, TI como productor). Se suele hablar de “Green IT” para referirse a la combinación de Green by IT y Green in IT.

Este estudio se centra dentro del Green in IT, y más concretamente en identificar los estándares o marcos que permitan controlar la correcta implementación y/o funcionamiento del Green in IT, y muy especialmente su auditoría. Dentro de Green in IT se ha abordado en diferentes proyectos la reducción de consumo energético en la computación en la nube, en el hardware, en los centros de procesos de datos, etc., pero no su auditoría [2].

Desde el punto de vista de la auditoría, dentro de las TI ya existe un marco de referencia para auditores desarrollado por ISACA (*Information Systems Audit and Control Association*) llamado COBIT 5 (*Control Objectives for Information and related Technology*) [11]. Si bien es cierto que este marco ofrece una visión bastante amplia de todo lo relacionado con las TI, e incluso hay versiones adaptadas a ámbitos específicos como la seguridad, COBIT aún no cuenta con ninguna versión ni ningún mecanismo de control relacionado con el Green IT, y menos aún con el Green in IT.

Así pues, creemos que puede resultar muy útil un mapeo sistemático que otorgue el conocimiento más actual posible acerca de esta área de investigación, con el fin de establecer los pilares sobre los que poder desarrollar técnicas y/o marcos de auditoría de Green in IT.

El resto de este estudio está organizado de la siguiente manera: en la Sección 2 se describe el protocolo de investigación llevado a cabo para realizar el mapeo sistemático. La Sección 3 contiene los resultados obtenidos de dicho mapeo. En la Sección 4 se discuten las observaciones principales de los resultados, así como las limitaciones e implicaciones de este campo. Y, finalmente, en la Sección 5 se presentan las conclusiones y el trabajo futuro a realizar en el campo de las auditorías de Green in IT.

2 Protocolo de Investigación

Un mapeo sistemático es un método para recopilar y categorizar la información existente acerca de un tema de investigación. El presente mapeo sistemático se ha llevado a cabo siguiendo las líneas/guías provistas en trabajos como Genero et al. [7], Budgen et al. [1], Petersen et al. [9], and Kitchenham [8].

El mapeo sistemático se ha realizado en tres etapas: Planificación, Ejecución y Documentación. Las actividades relativas a las dos primeras etapas se describen en las siguientes subsecciones y la etapa de documentación se corresponde con la Sección 3.

2.1 Etapa de Planificación

En esta etapa se han llevado a cabo las siguientes actividades:

1. Establecimiento de las preguntas de investigación.
2. Definición de la estrategia de búsqueda.
3. Establecimiento de los criterios de selección de los estudios primarios.
4. Establecimiento de los criterios de evaluación de calidad.
5. Definición de la estrategia de extracción de datos.
6. Selección de los métodos de síntesis.

2.1.1 Preguntas de Investigación

El objetivo principal de este estudio se basa en examinar el estado actual de las auditorías de Green in IT. Para ello, se han establecido las preguntas de investigación que se pueden observar en la Tabla 1.

Tabla 1. Preguntas de investigación.

Preguntas de Investigación	Motivación
Q1. ¿Qué estudios existen sobre auditoría de Green in IT?	Determinar el número de publicaciones actuales y la tendencia a lo largo de los últimos años en relación con el campo de la auditoría de Green in IT.
Q2. ¿Qué metodologías o técnicas se emplean para auditar el Green in IT?	Determinar cuáles son las metodologías y/o técnicas que utilizan los auditores para evaluar el Green in IT y cómo son los informes de auditoría que estos realizan.
Q3. ¿Qué áreas se auditan preferentemente en Green in IT?	Determinar qué áreas son normalmente a las que se presta más atención en las auditorías de Green in IT.
Q4. ¿Qué indicadores se utilizan en las mediciones de auditorías de Green in IT?	Determinar cuáles son los indicadores que suelen utilizar los auditores a la hora de evaluar el Green in IT y cuáles son los valores que estos deben tener.
Q5. ¿Cuáles son los roles relacionados con la auditoría de Green in IT?	Determinar cuáles son los roles implicados en una auditoría de Green in IT.
Q6. ¿Cuáles son los procesos relacionados con la auditoría de Green in IT?	Determinar cuáles son los procesos implicados en una auditoría de Green in IT.

A través de estas preguntas se podrá recopilar y categorizar la información existente acerca de auditorías de Green in IT, con el fin de conocer el estado del arte del área, identificando las carencias existentes para proponer nuevas áreas de investigación.

2.1.2 Estrategia de Búsqueda

Para realizar la búsqueda de información automatizada se va a utilizar la base de datos *Scopus*, en la que se introducirá una cadena de búsqueda dividida en dos partes, que representan, por un lado, el ámbito de la auditoría, y, por otro lado, el Green in IT. En la Tabla 2 se muestra esta cadena de búsqueda, en la cual se han utilizado el booleano OR para unir los términos y sinónimos en cada una de las partes, y el booleano AND para unir las dos partes entre sí.

Tabla 2. Cadena de búsqueda.

Concepto	Términos Alternativos y Sinónimos
Auditoría	(Audit* OR "Best practices" OR Control* OR Govern* OR Manag* OR Assess* OR Evaluat* OR Measur*) AND
Green in IT	("Green IT" OR "Green ICT" OR "Green in IT" OR "Green hardware" OR "Green software" OR Greenability)

Los asteriscos significan que cualquier carácter o caracteres pueden ser incluidos en la palabra en cuestión, de esta manera se consiguen permutaciones en los términos de búsqueda en los que se utiliza (p.ej., el término de búsqueda "Audit" incluye las siguientes palabras: Audit OR Audits OR Auditing OR...).

La búsqueda se realizará aplicando la cadena de búsqueda sobre el título, el *abstract* y las *keywords* de cada artículo.

Por otra parte, se considerará toda aquella información que haya sido publicada en la última década (entre 2005 y 2015, ambos incluidos). Esto es debido a que la idea de Green in IT es relativamente joven y ha sido durante la última década cuando se ha iniciado el desarrollo y los avances en este ámbito. Además, en un campo como el Green in IT que se encuentra en constante crecimiento y renovación, elegir un período de tiempo más extenso puede ser una desventaja, puesto que se encontraría información desactualizada en este contexto. Asimismo, este período se ha validado durante la ejecución del mapeo sistemático al observar que prácticamente todas las publicaciones en el ámbito se encuentran localizadas en los años comprendidos en dicho período.

2.1.3 Criterios de Selección de los Estudios Primarios

La información recopilada en la búsqueda automatizada se va a evaluar teniendo en cuenta el título, *abstract* y *keywords* de cada artículo, con el fin de determinar si dicho artículo va a ser incluido o no. Para ello, por un lado, se incluirán aquellos artículos que cumplan con al menos uno de los siguientes criterios de inclusión:

- I1: artículos en inglés que se refieran a la auditoría en Green in IT.
- I2: artículos completos publicados entre 2005 y 2015 en revistas, conferencias, congresos o talleres de prestigio con revisión por pares.

Por otro lado, los artículos que cumplan con alguno de los siguientes criterios de exclusión, no se tendrán en cuenta:

- E1: tipos de artículos de debate o de opinión, o disponibles solo en forma de resúmenes o presentaciones.
- E2: trabajos duplicados (siempre considerando el artículo más completo y reciente).

- E3: trabajos relacionados con el Green by IT.
- E4: trabajos cuya principal contribución no se relacione con el Green in IT, o en los que el Green in IT se considere de manera superficial.

Las referencias de cada uno de los artículos que se incluyan van a ser evaluadas, es decir, se va a tener en cuenta el efecto de bola de nieve.

2.1.4 Criterios de Evaluación de Calidad

Para medir la calidad de los estudios seleccionados se ha desarrollado un cuestionario con un sistema de puntuación de tres valores (-1, 0 y +1). El cuestionario está formado de las siguientes cuestiones a considerar:

- a. El estudio presenta una descripción detallada sobre las características y la aplicación de las auditorías de Green in IT.
- b. El estudio contiene guías detalladas sobre cómo realizar auditorías de Green in IT.
- c. El estudio valida la idea sobre auditoría de Green in IT que defiende.
- d. El estudio expone de manera clara y detallada los resultados obtenidos tras aplicar la idea sobre auditoría de Green in IT que defiende.
- e. El estudio ha sido publicado en una revista, conferencia o congreso relevante.
- f. El estudio ha sido citado por otros autores.

La suma de la puntuación de cada cuestión conformará la puntuación final de calidad sobre el estudio en cuestión (obteniéndose un valor entre -6 y +6). Estas puntuaciones no se utilizarán para excluir un determinado estudio del mapeo sistemático en el caso de obtener una mala calificación, sino que se utilizará para encontrar estudios más representativos y relevantes, los cuales tendrán más peso en futuras investigaciones.

2.1.5 Estrategia de Extracción de Datos

La estrategia de extracción de datos se basará en una serie de posibles respuestas para cada una de las preguntas de investigación definidas. Gracias a esta estrategia, se asegura la aplicación de los mismos criterios de extracción de datos para todos los estudios seleccionados, facilitando su clasificación. Las preguntas de investigación, así como sus posibles respuestas se pueden observar en la Tabla 3.

Tabla 3. Esquema de clasificación.

Preguntas	Respuestas
Q1. ¿Qué estudios existen sobre auditoría de Green in IT?	a. Mapeo sistemático/revisión de la literatura b. Caso de estudio c. Encuesta d. Propuesta e. Otros
Q2. ¿Qué metodologías o técnicas se emplean para auditar el Green in IT?	a. COBIT b. ISO c. ITIL d. Orientada a riesgos e. Otras f. N/A
Q3. ¿Qué áreas se auditan preferentemente en Green in IT?	a. Infraestructuras TI b. Aplicaciones software c. Gestión de TI d. Gobierno de TI e. Otras f. N/A

Preguntas	Respuestas
Q4. ¿Qué indicadores se utilizan en las mediciones de auditorías de Green in IT?	a. Potencia (W) b. Eficiencia (% DCIE) c. Efectividad (PUE) d. Productividad (MFLOPS/W, FLOPS/J...) e. N/A
Q5. ¿Cuáles son los roles relacionados con la auditoría de Green in IT?	a. Junta directiva b. Director ejecutivo (CEO) c. Director financiero (CFO) d. Dueños del negocio e. Comité directivo de sostenibilidad (SSC) f. Director de recursos humanos (CHRO) g. Director de sistemas de información (CIO) h. Director de tecnología (CTO) i. Director de sostenibilidad (CSO) j. Partes interesadas (<i>Stakeholders</i>) k. Auditor externo/interno de sostenibilidad l. N/A
Q6. ¿Cuáles son los procesos relacionados con la auditoría de Green in IT?	a. Evaluar, Orientar y Supervisar (EDM) b. Alinear, Planificar y Organizar (APO) c. Construir, Adquirir e Implementar (BAI) d. Entrega, Servicio y Soporte (DSS) e. Supervisar, Evaluar y Valorar (MEA) f. N/A

2.1.6 Métodos de Síntesis

En primer lugar, se realizará una síntesis de datos cuantitativa que se basará en:

- Establecimiento y representación a través de tablas y/o gráficos del número y/o porcentaje de los estudios seleccionados clasificados según sus posibles respuestas en cada una de las preguntas de investigación, así como del año de publicación.
- Definición de diagramas de burbuja con el fin mostrar la frecuencia con la que se relacionan las posibles respuestas de cada una de las preguntas de investigación.

Y, en segundo lugar, se llevará a cabo una síntesis de datos cualitativa, basada en:

- Representación a través de tablas y/o gráficos de los estudios seleccionados clasificados según los resultados de las evaluaciones de calidad realizadas.

2.1.7 Calendario del Mapeo Sistemático

El mapeo sistemático tuvo como inicio enero de 2016 y se finalizó en abril de 2016.

2.2 Etapa de Ejecución

La etapa de ejecución, donde se ha aplicado el protocolo de revisión establecido en la etapa anterior, se ha guiado por tres fases principales:

1. En la primera fase, tras aplicar la cadena de búsqueda de la Tabla 2 sobre la base de datos *Scopus*, se obtuvo como resultado un total de 627 documentos, de los cuales, tras aplicar los criterios de selección sobre el *abstract* de cada uno de ellos, se obtuvo un total de 55 estudios potenciales.
2. Durante la segunda fase, se llevó a cabo de nuevo la aplicación de los criterios de selección sobre los 55 estudios potenciales, pero en este caso sobre el estudio en su totalidad. Tras este filtro, se obtuvo un total de 13 estudios primarios.
3. Finalmente, en la última fase se llevó a cabo la evaluación de calidad de cada uno de estos estudios primarios, así como una caracterización de los estudios en tres grupos (tal y como se explica en la Sección 3).

3 Resultados

A continuación se muestran los resultados obtenidos en cada una de las preguntas de investigación, así como en el mapeo sistemático en general.

Sin embargo, antes de nada, es importante destacar una limitación o inconveniente encontrado durante la evaluación de los estudios primarios.

El reducido número de estudios primarios encontrados daba a entrever el poco avance dentro del área de las auditorías de Green in IT. De hecho, de estos estudios únicamente dos ([S01] y [S02]) tratan sobre auditoría de Green in IT. Por ello, con el fin de poder responder a las preguntas de investigación y dar validez al mapeo, se consideró tener en cuenta los once estudios restantes incluidos en los estudios primarios seleccionados. Asimismo, debido a estas circunstancias, se ha creído conveniente caracterizar los 13 estudios primarios en tres grupos para una mejor comprensión:

1. Estudios estrechamente relacionados con auditoría de Green in IT: el cual consta de los estudios [S01] y [S02]; de los cuales, el [S01] trata sobre un análisis del estado del Green IT y recalca la importancia de llevar a cabo auditorías sobre este campo, y el [S02] muestra los resultados de una encuesta realizada a auditores internos de diferentes organizaciones acerca de sus experiencias y opiniones sobre Green IT.
2. Estudios con técnicas de auditoría de Green in IT: en el que se encuentran los estudios [S03] y [S04]. El estudio [S03] trata sobre un modelo para medir y gestionar la madurez del Green IT en una organización. Mientras que el [S04] ofrece, desde la visión del *balanced scorecard*, una serie de iniciativas para evaluar el Green IT. En ambos, las áreas, indicadores y demás características tratadas guardan un simil y estrecha relación con los temas de auditoría.
3. Estudios de Green in IT relacionados con algún otro aspecto de auditoría: formado por el resto de estudios. Estos estudios tratan sobre diversos temas de Green IT, de los que se pueden observar características importantes acerca de esta área, las cuales ayudan a responder las preguntas de investigación.

Por un lado, en el Apéndice A se encuentran todas las referencias a los estudios primarios seleccionados. Y, por otro lado, en el Apéndice B se recopilan los resultados relativos a las respuestas de cada una de las preguntas en relación a cada uno de los estudios primarios seleccionados.

3.1 Pregunta Q1. Estudios sobre Auditorías de Green in IT

Cerca del 40% de los estudios seleccionados son o llevan a cabo un mapeo sistemático o revisión de la literatura, con el fin de ofrecer al lector una base sobre la que desarrollar el resto del estudio ([S06], [S09] y [S10]), o simplemente mostrar el estado del arte del campo en cuestión ([S08] y [S11]).

También, alrededor del 40% de estudios son propuestas ([S03], [S04], [S09], [S10] y [S13]) con las que sus autores pretenden establecer unas guías sobre, por ejemplo, cómo evaluar la madurez del Green in IT en una organización [S03], o sobre un modelo de contingencia para el gobierno de Green in IT [S09].

Por otra parte, el 23% de estudios incluyen algún tipo de encuesta ([S02], [S03] y [S06]), para validar su idea [S03] o mostrar el estado actual en las organizaciones [S02].

Por último, solo el 15% de los estudios ([S09] y [S10]) validan su idea a través de un caso de estudio.

3.2 Pregunta Q2. Metodologías y Técnicas en Auditorías de Green in IT

Solo el 40% de los estudios tienen en cuenta alguna metodología o técnica para gestionar/controlar algún aspecto relacionado con el Green in IT. De estos, la mayoría (el 80%) destacan la importancia de aplicar las normas ISO existentes dentro del Green in IT ([S01], [S05], [S06] y [S13]), en especial el conjunto de normas ISO 14000.

Por otra parte, el estudio [S02] ofrece una metodología orientada a riesgos, mientras que el estudio [S06], además de destacar las normas ISO, centra su visión en demostrar la importancia de ITIL como guía para gestionar el Green in IT.

3.3 Pregunta Q3. Áreas Auditadas en Green in IT

Respecto a qué áreas son las principales dentro del Green in IT y, por lo tanto, las que se deben auditar, prácticamente todos los estudios (el 85%) coinciden en que las dos áreas más importantes son las infraestructuras TI y las aplicaciones software, pues son las que recogen el grueso de las buenas prácticas de Green in IT.

Así mismo, el gobierno de TI también es un área importante en la que más de la mitad de los estudios (54%) hacen especial hincapié, sobre todo en el ámbito de alinear el gobierno tanto corporativo como de TI con el Green in IT.

Por último, la gestión de TI, aunque la menos mencionada con un 38%, es también caracterizada como un área relevante y necesaria para el control del Green in IT.

3.4 Pregunta Q4. Indicadores en las Mediciones en Auditorías de Green in IT

El 69% de los estudios respaldan que el indicador principal en las mediciones de Green in IT es la potencia, es decir, el consumo en vatios (W) de las TI.

Otros estudios como son el [S04], [S11] y [S13], defienden también a la eficiencia de las TI como un indicador principal. Por otro lado, los estudios [S04] y [S13] también defienden el papel de la efectividad como uno de los indicadores principales e importantes en el Green in IT.

Por su parte, la productividad únicamente se cita por el estudio [S11].

3.5 Pregunta Q5. Roles relacionados con las Auditorías de Green in IT

Dentro de los roles, los que más destacan con un respaldo del 54% de los estudios son los de CIO y CTO, los principales encargados del Green in IT dentro de las organizaciones.

Tras estos, el 38% de los estudios también destacan la importancia dentro del Green in IT del CEO y del director/responsable de sostenibilidad (CSO, rol del cual pocas empresas cuentan según se ha podido observar).

Por su parte, la junta directiva y el CFO son roles a tener en cuenta según el 23% de los estudios, sobre todo en temas de gestión financiera y alineación con el negocio.

Asimismo, el comité directivo de sostenibilidad (SSC), aunque prácticamente ausente en la mayoría de organizaciones, el 15% de los estudios destacan la importancia de la existencia de un comité de tales características en este campo.

Por último, el estudio [S02] también destaca el papel de los auditores, especialmente internos, en el ámbito que nos atañe. Destacar que este es el único estudio que da una visión puramente práctica de la auditoría.

3.6 Pregunta Q6. Procesos relacionados con las Auditorías de Green in IT

Los procesos más importantes dentro del Green in IT según el 85% de los estudios y, por tanto, los que necesariamente deben ser controlados a través de auditorías, son aquellos que están relacionados con el ámbito de construir, adquirir e implementar (BAI) técnicas y/o buenas prácticas de Green in IT.

Aquellos procesos que tienen relación con la gestión del Green in IT, como son los relacionados con EDM y MEA, también son muy importantes de auditar, según corrobora el 77% de los estudios. Cualquier fallo en estos procesos que se encargan de supervisar, evaluar, valorar, etc., provoca el mal funcionamiento de las prácticas de Green in IT implementadas, por ello son vitales de controlar.

No menos importantes son los procesos relacionados con alinear, planificar y organizar (APO), que cuentan con el respaldo del 69% de los estudios. Estos procesos, eminentemente relacionados con el gobierno, son sumamente importantes de controlar debido a que si la cabeza de una organización no se encuentra alineada y comprometida con el Green in IT, es difícil que esta idea y buenas prácticas implementadas consigan asentarse con éxito dentro de dicha organización.

Por último, los procesos relacionados con la entrega, servicio y soporte (DSS), es decir, los procesos más relacionados de cara a los clientes, solo son nombrados en los estudios [S04] y [S13], como importantes dentro del Green in IT.

3.7 Resultados del Mapeo

Tras analizar cada una de las preguntas en cuestión, como resultados generales del mapeo se puede determinar lo siguiente:

- La mayoría de estudios actuales son propuestas y/o mapeos o revisiones de la literatura en general sobre Green IT y algunas incluyen Green in IT, lo que define y demuestra la novedad del campo en cuestión.
- Las normas ISO (en especial la serie 14000) tienen que tenerse en cuenta cuando se lleve a cabo la adopción o implementación del Green in IT en las organizaciones.
- Las infraestructuras TI y las aplicaciones software son las áreas principales sobre las que se llevan a cabo las buenas prácticas y/o técnicas de Green in IT.
- El Green in IT se traduce principalmente en reducir el consumo en vatios (W) de las TI, por lo que la potencia es el principal indicador a tener en cuenta.
- El CIO y el CTO son los principales responsables dentro del Green in IT en las organizaciones.
- Los procesos relacionados con la construcción, adquisición e implementación (BAI) de las técnicas y/o buenas prácticas de Green in IT, son los más relevantes y sobre los que se desarrollan el mayor número de actividades (seguidos muy de cerca por los procesos de EDM y MEA).

Por otra parte, debido al escaso número de estudios encontrados y los problemas que se han tenido para responder a las preguntas de investigación (por la poca relación con el tema), no tiene sentido realizar gráficos característicos de este tipo de mapeos, como los diagramas de burbuja, ya que no arrojarían ninguna información de interés o esclarecedora.

Sin embargo, hemos considerado que la pregunta Q6 relacionada con los procesos implicados en la auditoría de Green in IT es importante de destacar. Además, las respuestas a esta pregunta están directamente relacionadas con los procesos del marco COBIT de auditoría, el cual puede servir de base para el desarrollo de un marco de auditoría de Green in IT; por lo que el interés en conocer qué procesos son los más importantes en el tema en cuestión es mayor. Así pues, como se ha visto en los resultados de esta pregunta, los procesos de BAI, EDM y MEA toman una relevancia especialmente importante en este campo del Green in IT, ya que aparecen mediante algún tipo de relación en más del 75% de los estudios analizados.

4 Discusión

4.1 Observaciones Principales

El objetivo del presente mapeo sistemático es el de conocer el estado actual del campo de la auditoría de Green in IT, con el fin de determinar las características más importantes para desarrollar un marco de auditoría de Green in IT. Así pues, tras analizar los resultados se pueden deducir las siguientes observaciones:

- Prácticamente nula existencia de investigaciones relacionadas con la auditoría de Green in IT. El reducido número de estudios existentes demuestra que es un campo novedoso y vital de desarrollar (como destaca [S01]).
- Creciente importancia del Green IT. La mayoría de los estudios destacan la gran importancia de este campo, cuyo interés cada día es mayor y la relevancia que está tomando en la sociedad lo está convirtiendo en un área indispensable tanto para el futuro de las organizaciones como el de la humanidad.

4.2 Limitaciones del Mapeo Sistemático

La principal limitación del presente mapeo sistemático se basa en el establecimiento de una cadena de búsqueda muy específica en el tema de la auditoría de Green in IT. Durante la realización del mapeo hemos observado que, por ejemplo, en relación al término "Green in IT" se podrían haber utilizado términos más generales (como *sustainability*), pero dichos términos devolverían un elevadísimo número de resultados y muchos de ellos poco o nada relacionados con el Green IT o con las TI en general. Por ello, y teniendo en mente el objetivo primordial del estudio, se decidió no realizar una búsqueda tan amplia en esta primera toma de contacto con este tema, sino llevarla a cabo más adelante una vez se hayan establecido las bases que se pretenden alcanzar.

4.3 Trascendencia para la Investigación y la Práctica

Las observaciones del presente mapeo sistemático tienen una gran trascendencia para aquellos investigadores que estén planeando investigar sobre Green IT, y más específicamente en el tema de auditorías de Green in IT; y, por supuesto, para auditores, directivos de informática, u otros responsables en sus organizaciones del Green in IT.

En primer lugar, para los investigadores es un área muy interesante, ya que, como se ha visto, se trata de un campo novedoso, en el que prácticamente no hay nada hecho.

En segundo lugar, los auditores gracias al desarrollo de este campo podrán desarrollar nuevos modelos de auditoría que les permitan ampliar su radio de acción hacia este nuevo campo del Green IT. De esta forma se conseguirán realizar auditorías más específicas y completas, ayudando a consolidar las buenas prácticas de Green IT.

Y, por último, las organizaciones se verán en gran medida beneficiadas por el avance de este campo. Hasta el momento algunas organizaciones han desarrollado e implementado según sus propios criterios aquellas medidas o prácticas de Green IT que han considerado oportunas, sin llevar a cabo ningún tipo de auditoría interna o externa

validada. Asimismo, más organizaciones podrán unirse a estas buenas prácticas pues no tendrán que inventar sus propias técnicas, sino que podrán acceder al conocimiento que existe sobre el área y adaptarlo a su situación de una manera sencilla.

5 Conclusiones y Trabajo Futuro

En los últimos años el Green IT se ha convertido en una de las áreas más importantes y relevantes, y en un futuro cercano su aplicación será indispensable [5] [6]. Aunque se trata de una idea relativamente joven y su implementación y técnicas aún se encuentran en fases muy tempranas, cada vez son más las organizaciones que deciden seguir este tipo de técnicas.

Los resultados obtenidos en el mapeo sistemático presentado en este artículo demuestran la novedad de este campo y la necesidad de elaborar un marco de auditoría de Green in IT que permita controlar las prácticas adoptadas por las organizaciones al respecto y, también, establecer unas guías de buenas prácticas validadas empíricamente.

Por ello, es importantísimo seguir en el desarrollo de esta idea, y, respecto al trabajo futuro, ya estamos trabajando en:

- Desarrollo de un nuevo mapeo sistemático en el que se aplique una cadena de búsqueda más amplia y se incluyan más motores de búsqueda. En este nuevo mapeo se pretende paliar la limitación explicada en la sección anterior y ampliar el objeto de estudio al Green IT en general.
- Elaboración de un marco de auditoría de Green in IT, que servirá de base para un posterior marco de auditoría de Green IT.

Agradecimientos. Esta investigación es parte del proyecto GINSENG (TIN2015-70259-C2-1-R) financiado por el Ministerio de Economía y Competitividad de España y por el fondo FEDER (Fondo Europeo de Desarrollo Regional); y GLOBALIA (PEII-2014-038-P), Consejería de Educación y Ciencia, Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha.

Referencias

1. Budgen, D., Turner, M., Brereton, P., Kitchenham, B.: Using mapping studies in software engineering. In: Proceedings of PPIG 2008, pp. 195-204. Lancaster University (2008)
2. Calero, C., Piattini, M.: Green in Software Engineering. Springer International Publishing AG, Cham, ZG, Switzerland (2015)
3. Du, W., Pan, S. L., Zuo, M.: How to Balance Sustainability and Profitability in Technology Organizations: An Ambidextrous Perspective. In: IEEE Transactions on Engineering Management, Vol. 60, Issue 2, pp. 366-385 (2013)
4. Erdélyi, K.: Special factors of development of green software supporting eco sustainability. In: IEEE 11th International Symposium on Intelligent Systems and Informatics (SISY), pp. 337-340. Subotica, Serbia (2013)
5. Esteve Zarazaga, F. J.: Grupo "Green ICT" de CEPIS. In: Novática, Num. 234, pp. 13 (2015)

6. Esteve Zarazaga, F. J.: Las "TIC verdes" en el Horizonte 2025. In: *Novática*, Num. 234, pp. 80-84 (2015)
7. Genero Bocco, M., Cruz-Lemus, J. A., Piattini Velthuis, M. G.: *Métodos de investigación en ingeniería del software*. Ra-Ma Editorial, Madrid, Spain (2014) 199-246
8. Kitchenham, B.: *Guidelines for Performing Systematic Literature Reviews in Software Engineering*, Version 2.3. EBSE Technical Report, Keele University, UK (2007)
9. Petersen, K., Feldt, R., Shahid, M., Mattsson, M.: Systematic mapping studies in software engineering. In: 12th International Conference on Evaluation and Assessment in Software Engineering (EASE). Department of Informatics, University of Bari, Italy (2008)
10. Unhelkar, B.: *Green IT Strategies and Applications: Using Environmental Intelligence*. CRC Press, Boca Raton, FL, USA (2011)
11. COBIT 5 - An ISACA Framework, <http://www.isaca.org/cobit>

Apéndice A: Estudios Primarios Seleccionados

- S01. Gabriel, C.: Why it's not naive to be green. In: *Business Information Review*, Vol. 25, pp. 230-237 (2008)
- S02. Gray, G. L., No, W. G., Miller, D. W.: Internal Auditors' Experiences and Opinions Regarding Green IT: Assessing the Gap in Normative and Positive Perspectives. In: *Journal of Information Systems*, Vol. 28, pp. 75-109 (2013)
- S03. Park, S.-H., Eo, J., Lee, J. J.: Assessing and Managing an Organization's Green IT Maturity. In: *MIS Quarterly Executive*, Vol. 11 (2012)
- S04. Jain, R., Benbunan-Fich, R., Mohan, K.: Assessing green IT initiatives using the balanced scorecard. In: *IT Professional Magazine*, Vol. 13, pp. 26-32 (2011)
- S05. Agarwal, S., Nath, A.: Green computing-a new horizon of energy efficiency and electronic waste minimization: a global perspective. In: 2011 International Conference on Communication Systems and Network Technologies (CSNT). Jammu, India (2011)
- S06. Cater-Steel, A., Tan, W.-G.: The role of IT service management in Green IT. In: *Australasian Journal of Information Systems*, Vol. 17 (2011)
- S07. Chou, D. C., Chou, A. Y.: Awareness of Green IT and its value model. In: *Computer Standards & Interfaces*, Vol. 34, pp. 447-451 (2012)
- S08. Loeser, F.: Green IT and Green IS: Definition of constructs and overview of current practices. In: 19th Americas Conference on Information Systems (AMCIS). Chicago, IL, USA (2013)
- S09. Schmidt, N.-H., Kolbe, L. M.: Towards a contingency model for green IT governance. In: European Conference on Information Systems (ECIS). Helsinki, Finland (2011)
- S10. Opitz, N., Krüp, H., Kolbe, L. M.: How to Govern your Green IT? - Validating a Contingency Theory Based Governance Model. In: 19th Pacific Asia Conference on Information Systems (PACIS). Chengdu, China (2014)
- S11. Ardito, L., Morisio, M.: Green IT - Available data and guidelines for reducing energy consumption in IT systems. In: *Sustainable Computing: Informatics and Systems*, Vol. 4, pp. 24-32 (2014)
- S12. Murugesan, S.: Harnessing green IT: Principles and practices. In: *IT professional*, Vol. 10, pp. 24-33 (2008)
- S13. Wati, Y., Koo, C.: An Introduction to the Green IT balanced scorecard as a strategic IT management system. In: 2011 44th Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS). Kauai, HI, USA (2011)

Apéndice B: Resultados de los Estudios Primarios

Tabla 4. Resultados de los estudios primarios.

ID	Q1					Q2					Q3					Q4					Q5					Q6									
	a	b	c	d	e	a	b	c	d	e	a	b	c	d	e	a	b	c	d	e	a	b	c	d	e	a	b	c	d	e	a	b	c	d	e
S01			X				X				X	X									X	X									X	X			
S02	X						X																			X	X	X			X	X	X		
S03	X	X									X	X	X	X												X					X	X	X	X	
S04	X										X	X	X			X	X	X								X	X	X	X		X	X	X	X	
S05	X						X				X	X				X										X					X				
S06	X	X				X	X				X	X	X			X										X	X	X			X	X	X		
S07		X									X	X	X	X		X										X	X	X	X		X	X	X	X	
S08	X										X	X	X	X		X										X	X	X	X		X	X	X	X	
S09	X	X									X										X	X	X			X	X	X			X	X	X		
S10	X	X									X					X	X									X	X	X			X	X	X		
S11	X										X	X				X	X	X								X	X	X			X	X	X		
S12			X								X	X	X	X		X										X	X	X			X	X	X		
S13	X						X				X	X				X	X	X								X	X	X			X	X	X		