

Patricia Arroba García¹, Marina Zapater Sancho¹, José Luis Ayala Rodrigo²

¹Universidad Politécnica de Madrid; ²Universidad Complutense de Madrid

<{parroba, marina}@die.upm.es>, <jayala@fdi.ucm.es>

Hacia la conciencia social del consumo energético en el centro de datos

1. Introducción

La utilización desmedida de la energía ocasiona un fuerte impacto medioambiental, reduciendo la sostenibilidad de las actividades de la sociedad. El conocimiento de esta realidad ha contribuido a generar una conciencia ecológica orientada a su uso responsable y a aumentar la perdurabilidad de los recursos necesarios para su producción.

Dado que los usuarios finales conforman un sector de gran volumen, y además son quienes demandan la energía, históricamente han sido el objetivo prioritario de las políticas de concienciación ambiental. De esta forma, cada individuo independiente y autónomo, conoce su responsabilidad hacia el medioambiente y actúa siendo consciente de su entorno como consecuencia de la convivencia en sociedad.

No obstante, la actuación individual no es suficiente, ya que las infraestructuras industriales, cada vez más numerosas, demandan una gran cantidad de energía que no es controlable al nivel de este sector.

Con el avance de las nuevas tecnologías, la conciencia ambiental se ha implantado en las empresas mediante el impulso de medidas y normativas que promueven la eficiencia energética. En este caso, además de la imagen de responsabilidad social que ofrecen a sus clientes, uno de los principales incentivos para la aplicación de esta serie de medidas es el ahorro económico.

Protocolos como el de Kyoto, sobre el cambio climático, pretenden acuerdos internacionales para la reducción de las emisiones de CO₂ por parte de estas industrias a nivel mundial. Sin embargo, este compromiso no ha estado fuertemente respaldado por las principales potencias consumidoras y las iniciativas ambientales presentan una débil cooperación ahora en su segunda fase, prevista hasta 2020.

Por lo tanto, es el momento de que la conciencia del entorno sea parte de los verdaderos consumidores: los equipos y sistemas que requieren la energía para dar soporte a las actividades de la sociedad. Dichas infraestructuras realizan un consumo ineficiente debido a la falta de conocimiento sobre su entorno. La gestión de sistemas colaborativos que compartan información

Resumen: Ante el problema creciente del consumo en los centros de datos, unido a la adopción paulatina de las mejores prácticas actuales para mejorar la eficiencia energética, se hace imprescindible un cambio radical en el enfoque de la energía en dichos centros de datos para poder seguir reduciendo de manera significativa su impacto medioambiental. En este artículo presentamos una propuesta inicial para la optimización integral del consumo de energía en centros de datos, que ha sido validado en un escenario de monitorización poblacional de salud, con ahorros de hasta un 50% frente al estado del arte en eficiencia energética. Defendemos una conciencia global del Estado y el comportamiento térmico del centro de datos, utilizando modelos predictivos para anticipar las variables determinantes para la optimización. Además, las estrategias de optimización energética de los centros de datos del futuro tienen que ser sociales: los distintos elementos (servidores, software de gestión, sistemas de refrigeración) deben tener cierta conciencia del estado de los demás elementos del sistema y de cómo el entorno los puede perjudicar o favorecer, buscando el consenso en estrategias colaborativas para reducir el consumo total.

Palabras clave: Análisis poblacional de salud, centros de datos, cloud computing, eficiencia energética, gestión de recursos, Green IT.

Autores

Patricia Arroba García es investigadora del Laboratorio de Sistemas Integrados de la Universidad Politécnica de Madrid. Obtuvo el título de Ingeniera de Telecomunicación en 2011 y el título de Máster en Ingeniería de Sistemas Electrónicos en 2012, ambos por la Universidad Politécnica de Madrid. Actualmente, está realizando el doctorado en el Departamento de Ingeniería Electrónica en la misma universidad. Sus intereses de investigación se centran en la optimización de sistemas heterogéneos complejos y en el desarrollo de técnicas de eficiencia energética para Centros de Datos de *Cloud Computing*.

Marina Zapater Sancho es actualmente estudiante de doctorado en el Departamento de Ingeniería Electrónica de la Universidad Politécnica de Madrid, España. En 2011 le fue concedida una beca del Programa Internacional de Captación de Talento (PICATA) del Campus de Excelencia Internacional de Moncloa. En verano de 2012 realizó una estancia en el grupo PeacLab de Boston University, donde trabajó bajo la supervisión de la Profesora Ayse. K. Coskun. Desde entonces ha seguido colaborando con Boston University, implicada en un proyecto con Oracle Inc., cuyos resultados de investigación han sido publicados en conferencias de reconocido prestigio en el área, en colaboración con el Dr. Kenny Gross. En 2010, obtuvo su título de Ingeniera Electrónica y su título de Ingeniería de Telecomunicación por la *Universitat Politècnica de Catalunya*, recibiendo el premio al Segundo Mejor Expediente de su promoción de Ingeniería Electrónica. Es miembro de la red de excelencia HiPEAC y de la rama de estudiantes de IEEE. Su investigación actual se centra en la optimización proactiva y reactiva de sistemas heterogéneos complejos, y en la eficiencia energética en centros de datos.

José Luis Ayala Rodrigo es actualmente Profesor Contratado Doctor en el Departamento de Arquitectura de Computadores y Automática de la Universidad Complutense de Madrid. Obtuvo sus títulos de Máster y Doctorado en Ingeniería de Telecomunicación por la Universidad Politécnica de Madrid, en 2001 y 2005 respectivamente. Es miembro de la red de excelencia HiPEAC, IEEE, ACM, IFIP 10.5 y CEDA (*Council of Electronic Design Automation*). Ha sido organizador de varios eventos internacionales como *General Chair* y *Program Chair*, como por ejemplo VLSI-SoC, GLSVLSI and PATMOS. Ha sido miembro del Comité Técnico de Programa de varias conferencias internacionales, incluyendo DATE, DAC, VLSI-SoC, ICCAD, GLSVLSI, etc. Ha liderado y participado en un gran número de proyectos de investigación internacionales y de proyectos con la industria, en los campos de la optimización de consumo y potencia de sistemas empujados, y en la monitorización de salud no invasiva. Sus intereses de investigación se centran en el diseño de sistemas basados en procesador con restricciones de temperatura y consumo, el diseño de sistemas empujados, la estimación térmica, la integración en chips 3D, la monitorización de salud y las redes de sensores.

sobre lo que ocurre a su alrededor es el punto de partida para la mejora de la eficiencia energética global.

El análisis en profundidad del nuevo paradigma que se propone en este trabajo tiene

la siguiente estructura: La **sección 2** describe brevemente los antecedentes y la situación actual. La **sección 3** detalla nuestra propuesta para la optimización energética continua de centros de datos. En la **sección 4** se muestra un caso práctico. La **sección**

“ Sólo en 2008, el consumo de energía mundial de estas tecnologías superó los 30.000 millones de dólares, siendo el consumo medio de un único centro de datos equivalente al consumo de energía de 25.000 hogares ”

5 destaca los retos en cuanto a la colaboración entre empresas para que un enfoque como éste sea aplicable y, por último, las conclusiones se presentan en la **sección 6**.

2. Antecedentes y situación actual

2.1. Situación de la energía en los centros de proceso de datos

Hoy en día, las empresas líderes deben soportar la creciente demanda de servicios de Internet, entre los que existe un gran crecimiento de aplicaciones basadas en *cloud computing* (computación en la nube). Estos servicios ya forman parte de la sociedad debido a que dan soporte a numerosas actividades humanas del día a día a nivel global.

La tendencia hacia la computación en la nube ha desencadenado la proliferación de centros de datos, ya que constituyen la infraestructura que da soporte a este nuevo paradigma de computación y almacenamiento de la información. Cada centro de datos alberga un repositorio centralizado para almacenar, gestionar y difundir la información de una amplia gama de aplicaciones y servicios.

Sólo en 2008, el consumo de energía mundial de estas tecnologías superó los 30.000 millones de dólares [8], siendo el consumo medio de un único centro de datos equivalente al consumo de energía de 25.000 hogares [4]. La mayor parte del consumo en los centros de datos se debe a la computación, así como a la refrigeración necesaria para evitar fallos en el servicio y en las máquinas físicas.

Según las estimaciones de los centros de datos de Amazon [3], los gastos relacionados con los costes operativos de los servidores alcanzaron el 53% del presupuesto total, mientras que el 42% restante se descompone en los gastos relacionados con la refrigeración (19%) y el consumo de energía de la infraestructura (23%).

El calor y las emanaciones de dióxido de carbono asociados a estos sistemas de refrigeración son altamente dañinos para el medio ambiente. Sólo en EE.UU. los centros de datos utilizan alrededor de 59.000 millones de kWh de electricidad, superando los 4.100 millones de dólares y generando 864 millones de toneladas de CO₂ a la atmósfera [5].

Además, las tendencias actuales orientadas hacia las *Smart Cities* (o ciudades inteligentes) generarán nuevas aplicaciones y favorecerán la realización de análisis poblacionales a gran escala en los centros de datos, dados sus altos requisitos de procesamiento.

Este contexto muestra la necesidad de seguir avanzando hacia el desarrollo de políticas de sostenibilidad, con la finalidad de lograr un compromiso de progreso sostenible y un sentido de responsabilidad social, minimizando el impacto ambiental y económico.

2.2. Políticas actuales aplicadas en centros de datos. Análisis del Impacto.

Actualmente se están aplicando ciertas medidas de actuación en los centros de datos para la reducción de su consumo energético. La inteligencia implantada en estas infraestructuras que soportan las tecnologías de la información y las telecomunicaciones se centra en tres aspectos:

■ **Equipos más eficientes.** Los servidores, las unidades de refrigeración, las fuentes de alimentación así como las redes de distribución de nueva generación contribuyen a la mejora de la eficiencia en los centros de datos reduciendo las pérdidas de energía hasta en un 25% [2]. También, se tiende a diseñar servidores cuyo consumo se acerca más a ser proporcional a la utilización de los recursos.

■ **Mejora de la refrigeración.** El dimensionamiento de la refrigeración se realiza actualmente en función de la máxima potencia disipada por la totalidad de los servidores en el centro de datos. Es por esto que la calibración de las máquinas de aire acondicionado se realiza conforme a las hojas de especificaciones de los fabricantes de equipos.

No obstante, la temperatura ambiente recomendada por ASHRAE para evitar fallos en los equipos ha aumentado hasta los 27°C [1], por lo tanto, la energía requerida para enfriar las salas a la máxima temperatura permitida es significativamente menor. Cada aumento de 1°C en la temperatura ambiente de un centro de datos supone un ahorro del 4% en los costes energéticos totales de la infraestructura [9].

Además, el ajuste regulable de los flujos de aire mejora la eficiencia energética de la refrigeración ofreciendo una temperatura

adecuada a los requerimientos de la carga de trabajo en cada momento.

Otras técnicas que se están extendiendo consisten en la utilización de la ventilación exterior o *Free Cooling*, lo que permite una reducción significativa de la energía necesaria para la refrigeración de los centros de datos.

Tradicionalmente esta técnica se ha aplicado únicamente en zonas geográficas con temperatura ambiente suficientemente baja para la refrigeración completa del centro de datos. Sin embargo, la tendencia actual es la combinación de refrigeración mediante máquinas de aire acondicionado y *Free Cooling* en función de las condiciones de temperatura y humedad exteriores de forma estacional. Esto beneficia a los centros de datos urbanos, que pueden incluso aprovechar las bajas temperaturas que se producen a ciertas horas del día para ventilar las salas de forma más eficiente y económica.

Virtualización. Un gran número de servidores en los centros de datos se encuentra infrautilizado la mayor parte del tiempo. Las técnicas de virtualización y consolidación, en las que se basan los centros de datos de *cloud computing*, permiten la compartición de recursos aumentando la utilización de los servidores. De esta forma, la misma carga de trabajo puede ejecutarse en un número inferior de equipos aumentando su utilización y por lo tanto la eficiencia computacional. El resto de servidores que no están siendo utilizados pueden apagarse, por lo que las necesidades de refrigeración se ven reducidas. El informe de Schneider Electric [7] sobre eficiencia confirma que el 17% del ahorro energético de 2011 se corresponde a los beneficios de la virtualización.

La aplicación de cada una de estas políticas ayuda, de forma individual, a la mejora de la eficiencia energética en cada centro de datos. No obstante, las decisiones para la compra de equipación eficiente, la gestión de la refrigeración y la virtualización se toman de forma independiente sin tener en cuenta una visión de conjunto. Cada una de las políticas reduce por sí misma el consumo de energía de la infraestructura pero, en la actualidad, no se realizan análisis que evalúen el impacto global. El estudio de la colaboración de las distintas políticas de actuación mejoraría

“El modelado del comportamiento energético de cada uno de los subsistemas que componen el centro de datos es clave para la estimación de su consumo en base a los parámetros del entorno”

la administración de los sistemas de computación, tanto software como hardware, y de los sistemas de refrigeración de forma simultánea.

3. Un enfoque holístico y adaptativo a la gestión energética en un centro de datos

Hasta ahora, en trabajos previos hemos demostrado el gran potencial que posee el conocimiento del entorno y las optimizaciones globales a nivel energético en el ámbito de los centros de datos.

El comportamiento de un centro de datos depende de un gran número de parámetros, tan diversos como las condiciones climatológicas externas, la carga de trabajo entrante, la refrigeración de la sala, la temperatura de los servidores, las características técnicas de cada máquina, etc. Por lo tanto, es necesario tener una monitorización y una previsión del comportamiento de la infraestructura ante los cambios que puedan producirse con las distintas políticas a aplicar (ver figura 1).

El modelado del comportamiento energético de cada uno de los subsistemas que componen el centro de datos es clave para la estimación de su consumo en base a los parámetros del entorno. Cada uno de estos modelos ofrece la información necesaria a las distintas optimizaciones que generan las

propuestas de actuación. Dichas propuestas se evalúan en conjunto para finalmente actuar sobre el centro de datos consiguiendo una optimización global multinivel.

El nuevo paradigma que se presenta en este trabajo se centra en el cuidado de la energía de forma global. Todos los elementos del centro de datos son conscientes de la evolución de la demanda energética global y del comportamiento térmico de la sala, y basan las decisiones para la optimización energética en la información obtenida de todas las fuentes disponibles.

Actualmente, la toma de decisiones se suele realizar de forma centralizada, con un método propio de obtención de los datos que se consideran de interés, aplicando las políticas estipuladas para el beneficio de un sistema específico. De este modo, toda la información se gestiona por una misma entidad que es la que toma las decisiones.

Lo que se pretende con este nuevo paradigma es la colaboración entre sistemas diversos, renovando la forma de ver la compartición de información y la aplicación de políticas con una finalidad común. El conjunto de sistemas en su totalidad tiene como objetivo común la minimización del consumo de energía de forma global, obteniendo el beneficio colectivo y descentralizando las decisiones de actuación.

Cada sistema debe conocer con anticipación su comportamiento, así como la información de los sistemas de su entorno que pueda tener relevancia en la determinación del comportamiento óptimo para la minimización del consumo global. Para ello es necesario un sistema de compartición de datos global para lograr el beneficio mutuo.

En base a esto, los sistemas pueden generar propuestas de colaboración que se valoren de forma conjunta. Cada sistema implementa las acciones sobre las cuales tiene poder de actuación. No obstante, todas las posibles políticas han sido evaluadas colectivamente por aquellos con poder de decisión para encontrar la mejor decisión a nivel global (tecnocracia).

La minimización del consumo de energía en el ámbito de los centros de datos es un caso de uso claro de este nuevo paradigma, aunque no es el único. La combinación de las políticas de actuación en este tipo de infraestructuras con conceptos emergentes como las *Smart Cities*, la *e-Health*, etc. ofrece un amplio abanico de posibilidades para el crecimiento sostenible de las necesidades energéticas. La capacidad de generación de información sobre el entorno que prometen estas nuevas tecnologías puede ser aprovechada para aumentar la eficiencia conjunta tanto de la gestión de diversas actividades sociales como de los centros de datos.

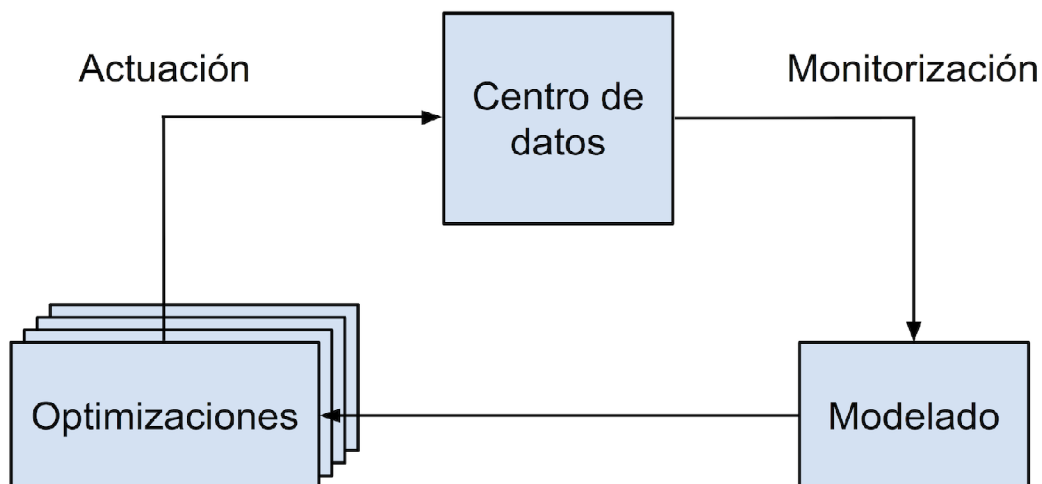


Figura 1. Esquema simplificado de un enfoque de optimización basada en modelos.

monografía Eficiencia energética en centros de procesos de datos

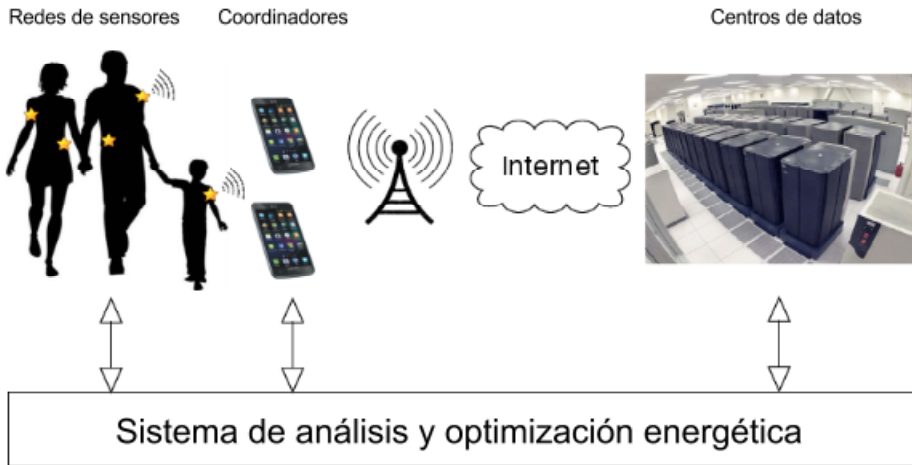


Figura 2. Distintos elementos que interactúan en el caso de uso.

Por ejemplo, el pronóstico de la meteorología es importante actualmente para la predicción del estado del tráfico en nuestras carreteras. Esta información es también muy útil para los sistemas de refrigeración de los centros de datos, que, a ciertos valores de temperatura y humedad, pueden aplicar políticas de *Free Cooling*, permitiendo la entrada de ventilación exterior. De esta forma, el mismo sistema de adquisición de información dota de un conocimiento global a distintos sistemas con distintas funcionalidades, mejorando la eficiencia de forma coordinada.

4. Caso de uso: monitorización de la salud de poblaciones de

riesgo o enfermos crónicos

e-Health es un nuevo concepto de la gestión de la salud que consiste en el sensorizado de pacientes, de forma no invasiva mediante dispositivos portátiles, favoreciendo su independencia.

Los datos generados permiten la actuación apropiada y anticipada ante situaciones de decaimiento en la salud de cada usuario. Además, la recopilación y el estudio de la información del conjunto de pacientes puede ser utilizada para otros propósitos, como la mejora de la prevención y la evaluación de enfermedades mediante el análisis de los factores que tienen influencia en su evolución.

Los ingenieros biomédicos prevén un nuevo sistema de herramientas de computación distribuida que recogerá datos médicos autorizados y los almacenará de forma segura en una red diseñada para ayudar a gestionar una atención rápida y eficiente [6].

El sistema global que se propone se compone de diferentes elementos (ver figura 2) que interactúan entre sí de la forma que describimos seguidamente.

El usuario dispone de sensores corporales que miden distintos parámetros en relación con su afección. Estos nodos, distribuidos en la población para su monitorización, son muy numerosos y cada uno de ellos tiene unos requerimientos específicos de energía para preservar su autonomía, así como de conectividad para la extracción de la información.

Los datos obtenidos de cada usuario se comunican a un nodo coordinador que puede consistir en un *Smartphone*, *PDA*, etc., lo que implica una comunicación inalámbrica. Además, parte del procesamiento de las señales recibidas de los sensores corporales del usuario podría realizarse en esta etapa. Este tipo de dispositivos a su vez tiene ciertas necesidades en cuanto al estado de las baterías y de la conectividad, así como especificaciones de seguridad y privacidad.

La gran cantidad de información generada por toda la población de usuarios debe ser

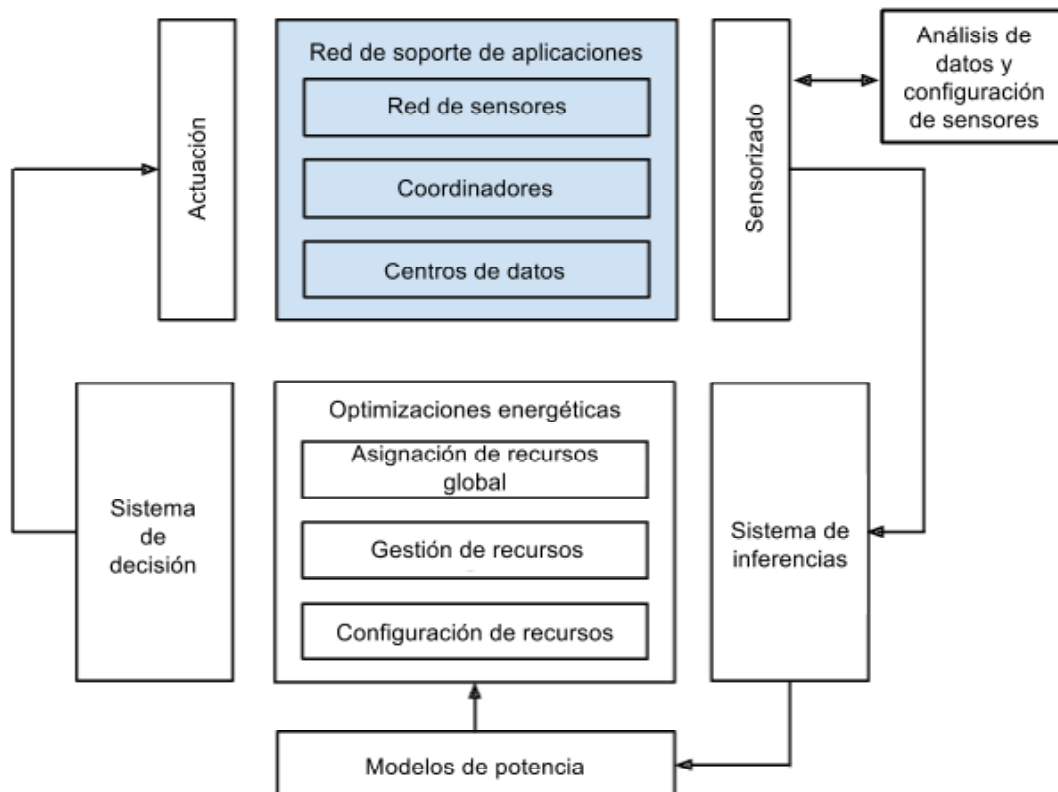


Figura 3. Componentes de la arquitectura propuesta.

“Las agrupaciones de ecosistemas de empresas en torno a plataformas horizontales es el primer paso para la actuación hacia este paradigma de protección de los recursos energéticos”

analizada mediante algoritmos de diagnóstico específicos para cada paciente en relación con su afección de modo que se pueda ofrecer realimentación rápida y precisa. Por otra parte el conjunto de datos se puede procesar de forma conjunta con el propósito de realizar evaluaciones epidemiológicas.

Debido al gran volumen de datos y a los altos requerimientos de este tipo de algoritmos, la computación en la nube es idónea para su ejecución, proporcionando la escalabilidad necesaria para estos servicios.

El principal problema en los centros de datos dedicados al *Cloud computing* se centra en el elevado consumo energético debido a la computación de los algoritmos, así como de la refrigeración necesaria para evitar fallos en el servicio y en las máquinas físicas. Los problemas derivados de este consumo energético masivo son tanto el impacto medioambiental en forma de emisiones de CO₂, al generar la energía necesaria, como la contaminación térmica.

Por lo tanto, las redes de sensores corporales, los nodos coordinadores y los centros de datos, que ya tienen en cuenta cada uno sus propios requerimientos, conforman una infraestructura distribuida. Lo que se pretende con este nuevo paradigma es dotar al sistema del conocimiento necesario para conseguir el objetivo común de mejora de la eficiencia energética de forma global sin afectar al propósito para el que ha sido diseñado.

La implementación de este escenario se encuentra enmarcada dentro del proyecto GreenDisc [10], donde se ha aplicado la optimización global multinivel aplicada a un caso real en el ámbito de *e-Health*.

4.1. Modelos de potencia

La arquitectura final incluye varios modelos que describen el comportamiento del consumo de potencia estático y dinámico de los sensores corporales y de los nodos coordinadores de la red inalámbrica, así como de la refrigeración y los servidores del centro de datos. Dichos modelos de potencia han sido entrenados con datos reales, con el fin de adaptarse a las variaciones y a la heterogeneidad de la carga de trabajo, y predecir la potencia consumida de forma precisa.

4.2. Optimizaciones energéticas

Se han utilizado diversos algoritmos basados en el estado del sistema, el histórico de

datos y las características energéticas de las aplicaciones y recursos para mejorar el sistema de monitorización y análisis de la población.

1) Asignación de recursos global. Se propone una metodología de dos pasos para obtener nuestra política global de gestión de recursos: (i) clasificación de las tareas de la carga de trabajo de acuerdo a su demanda de computación, y (ii) ejecución de un algoritmo de asignación de grano grueso para decidir si cada tarea debe ser ejecutada en el coordinador o trasladada al centro de datos para maximizar la eficiencia energética del sistema completo.

2) Gestión de recursos en el centro de datos. El análisis de la carga de trabajo que se va a ejecutar en el centro de datos es necesario desde el punto de vista de la adecuación de los servidores y la refrigeración a la demanda de recursos. Esta optimización consiste en la selección del conjunto de servidores, que pueden ser heterogéneos, y de las máquinas de aire acondicionado, que sea más apropiado para ejecutar la carga.

3) Configuración de recursos en el centro de datos. La virtualización y la consolidación de recursos que ofrece la computación en la nube permite acomodar simultáneamente varias máquinas virtuales en un mismo servidor que pueden ser arrancadas o paradas dependiendo de la carga de trabajo en un instante de tiempo determinado. De esta forma la consolidación permite compartir recursos de una misma máquina física maximizando su utilización, y por lo tanto, minimizando el número de servidores operativos. El apagado de máquinas no utilizadas contribuye al aumento de la eficiencia energética reduciendo el consumo estático del centro de datos.

La asignación de recursos global consigue por sí misma un ahorro energético desde el 3,6% hasta el 24% en función de la carga de trabajo y la capacidad de recursos del sistema. Por otra parte, la gestión y la configuración de recursos del centro de datos supone un ahorro de la energía de computación entre el 1,4% y el 7,5% y de la energía de refrigeración desde el 2,7% y el 11,3%.

4.3. Sistema de decisión

Todas las optimizaciones parciales propuestas por el sistema se integran para obtener las mejores decisiones para el ahorro energético global de la arquitectura. En este caso,

la integración multinivel de las distintas optimizaciones supone un ahorro en el consumo energético desde el 14.5% hasta el 54.3%, dependiendo de la demanda de la carga de trabajo y de la capacidad del centro de datos.

4.4. Actuación

Finalmente, las decisiones son ejecutadas. El comportamiento de los sensores corporales, los coordinadores y la infraestructura de refrigeración y procesamiento de los centros de datos se reconfigura cada vez que se toma una decisión de optimización.

5. Nuevas necesidades para la actuación

Para la aplicación del nuevo paradigma para el cuidado de la energía que propone este trabajo es necesario modificar ciertos aspectos que relacionen los distintos sistemas que se pretende aunar.

El enfoque del negocio y la forma de operar de las entidades colaborativas debe sufrir una revolución, debido a la necesidad de compartir información e infraestructuras para su adquisición y distribución.

Existe también el nuevo objetivo de tarificar y rentabilizar la colaboración con la finalidad común de reducir el consumo energético, lo que debe beneficiar a todas las partes. De este modo, el consumo de los sistemas podría variar adecuándose a dicha tarificación, incluso ofreciendo la posibilidad de reubicación del trabajo en períodos de demanda crítica para favorecer el ahorro económico y de energía.

La creación de sistemas de evaluación de políticas conjuntas, en los que se valore la aplicación de las diferentes propuestas generadas por todos los sistemas, es prioritaria. Estos sistemas deben tener acceso a información local de cada subsistema para predecir qué acciones proporcionarán una mayor optimización energética global. Adicionalmente, este contexto permite la integración de fuentes de energía renovables “no confiables”, ya que se pueden alternar con las fuentes tradicionales en función de los parámetros del entorno (como por ejemplo el caso de aplicación de *Free Cooling* en los centros de datos).

Finalmente, la integración de procedimientos para la prevención de riesgos es crucial para imponer unos umbrales de actuación, que tengan como objetivo la fiabilidad de los

sistemas y la satisfacción de la calidad de servicio que ofrecen. La aplicación de las políticas de eficiencia energética no debe alterar la funcionalidad y el rendimiento de una forma perceptible para el usuario.

Esto se traduce en un gran reto común ya que se deben eliminar muchas barreras. En el ámbito personal, la sociedad implica un aumento de las capacidades de cada individuo gracias a la actuación colectiva. Sin embargo, la colaboración entre entidades empresariales es aún incipiente, por lo que es necesario focalizar en que las asociaciones sean beneficiosas para todas las partes. En este nuevo paradigma la razón de la colaboración no es un hecho puntual sino que se traduce en un objetivo común. Esto requiere un esfuerzo de todas las partes en el que se obtenga una contraprestación: incrementar las oportunidades del sistema global frente al aislamiento individual.

Las agrupaciones de ecosistemas de empresas en torno a plataformas horizontales es el primer paso para la actuación hacia este paradigma de protección de los recursos energéticos. En el ámbito de las aplicaciones para la Internet de las Cosas, esta tendencia puede verse representada por el creciente interés en torno a la plataforma FIWARE [11].

6. Conclusiones

El aumento imparable del número de centros de datos y la densidad de potencia, unido a la adopción gradual de las mejores prácticas actuales para mejorar la eficiencia energética, hace imprescindible un cambio radical en el enfoque de la gestión energética en centros de datos para poder seguir reduciendo de manera significativa su impacto medioambiental.

En este artículo se ha presentado una propuesta inicial para la optimización integral del consumo de energía en centros de datos, que ha dado unos resultados muy buenos en un escenario de monitorización poblacional de salud. Pero esto sólo supone un punto de partida para las técnicas de optimización energética para los centros de datos del futuro.

La optimización energética no debe continuar siendo considerada en una etapa posterior, como un aspecto secundario, sino que debe ser promovida a ciudadano de primera categoría, en paralelo con la capacidad de cómputo, como criterio de máxima importancia a la hora de diseñar el centro de datos, seleccionar los equipos (servidores y sistemas de refrigeración y alimentación), configurar los equipos, ajustar las políticas de los sistemas operativos, diseñar las aplicaciones, operar el centro de datos, ampliar el centro de datos, etc.

Hasta ahora, la optimización energética se ha basado fundamentalmente en un conocimiento de ámbito muy local: umbrales de temperatura seleccionados de manera local, ajuste de los modos de bajo consumo basado en lo que se está ejecutando en este instante en cada servidor, reparto de carga basado en listas locales, con prioridades prefijadas.

Para obtener mejores tasas de ahorro energético es necesario tener en cuenta el estado y el comportamiento global del centro de datos. Porque las decisiones sobre el ajuste de la frecuencia de un procesador (por poner un ejemplo, de ámbito muy reducido) tienen un impacto térmico en el servidor y en el entorno del servidor que puede suponer un incremento en las necesidades de refrigeración global. Todos los elementos del centro de datos tienen que ser conscientes del consumo global, aunque sea con modelos simplificados de muy bajo coste computacional.

Además, el comportamiento térmico no es inmediato. Desde que se toma una decisión con impacto térmico, hasta que se estabiliza la temperatura, pasa un tiempo no despreciable. Por lo tanto, la aplicación de estrategias proactivas como la que se ha descrito pasa necesariamente por el desarrollo de modelos predictivos que permitan anticipar el estado y el comportamiento térmico de los sistemas.

Por supuesto, cualquier estrategia que se adopte tiene que ser adaptativa, porque las características de la carga de trabajo del centro de datos cambian con el tiempo, y con ellas el comportamiento térmico de la sala.

Pero además, las estrategias de optimización energética de los centros de datos del futuro tienen que ser sociales. Los distintos elementos tienen cierta conciencia del estado de los demás elementos del centro de datos y de cómo el entorno los puede perjudicar o favorecer. Se establece lo que es positivo y negativo para el ahorro energético global, y los dispositivos buscan consenso en estrategias colaborativas para reducir el consumo total.

Referencias

- [1] ASHRAE. 2011 *Thermal Guidelines for Data Processing Environments Expanded Data Center Classes and Usage Guidance*. White paper. Technical report, ASHRAE, 2011.
- [2] Google Data Centers. *Efficiency: How we do it. Temperature control*. <<http://www.google.com/intl/en/about/datacenters/efficiency/internal/index.html#servers>>, enero 2014.
- [3] James Hamilton. Cooperative expendable micro-slice servers (cems): Low cost, low power servers for internet-scale services. *Proceedings of the 4th Biennial Conf. Innovative Data Systems Research*, CIDR '09, Asilomar, CA, USA, 2009.
- [4] J. Kaplan, W. Forrest, N. Kindler. Revolutionizing data center energy efficiency. *McKinsey Company Tech Rep*, (July):15, 2008.
- [5] R. Mullins. *HP service helps keep data centers cool*. <http://www.pcworld.com/article/135052/hp_service_helps_keep_data_centers_cool.html>, 2007. [Último acceso: 9 de marzo de 2012].
- [6] National Academy of Engineering. *Grand challenges for engineering*. <<http://www.engineeringchallenges.org>>.
- [7] P. Niles, P. Donovan. *Virtualization and Cloud Computing: Optimized Power, Cooling, and Management Maximizes Benefits*. White paper 118. Revision 3. Technical report, Schneider Electric, 2011.
- [8] Ramya Raghavendra, Parthasarathy Ranganathan, Vanish Talwar, Zhikui Wang, Xiaoyun Zhu. No power struggles: Coordinated multi-level power management for the data center. *En ASPLOS*, 2008.
- [9] Rich Miller. *Google: Raise Your Data Center Temperature*. <<http://www.datacenterknowledge.com/archives/2008/10/14/google-raise-your-data-center-temperature/>>, octubre 2008.
- [10] Marina Zapater, Patricia Arroba, José L. Ayala, José M. Moya, Katzalin Olcoz. "A novel energy-driven computing paradigm for e-health scenarios". *Future Generation Computer Systems*, 34, mayo 2014, pp. 138-154.
- [11] D. Havlik, S. Schade, W. Van Wijk, T. Usländer, J. Hierro. Leveraging the Future Internet for the Environmental Usage Area. *EnvirolInfo 2011 - Innovations in Sharing Environmental observation and Information. Proceedings of the 25th International Conference on Informatics for Environmental Protection*, 2, pp. 897-908. Ispra, Italy: Schaker Verlag.