

# vt

informe de **vigilancia tecnológica**

# mi+d

vt  
19

## green IT: tecnologías para la eficiencia energética en los sistemas TI

*Marisa López-Vallejo  
Eduardo Huedo Cuesta  
Juan Garbajosa Sopeña*

[www.madrimasd.org](http://www.madrimasd.org)





# vt

informe de vigilancia tecnológica

# miod

# 19

green IT: tecnologías  
para la eficiencia  
energética  
en los sistemas TI

*Marisa López-Vallejo  
Eduardo Huedo Cuesta  
Juan Garbajosa Sopeña*

[www.madrimasd.org](http://www.madrimasd.org)

**citic**  
miod

**ceim**   
CONFEDERACIÓN  
EMPRESARIAL  
DE MADRID  
CEDE

fundación  
**madriod**  
para el conocimiento

*Dirigida por:*

José de la Sota Ríos

*Coordinada por:*

Fundación madri+d para el Conocimiento  
CEIM Confederación Empresarial de Madrid - CEOE

**citic**  
**miod**



**POLITÉCNICA**

**INES**

**Iniciativa Española de  
Software y Servicios**

Este informe ha sido elaborado por CITIC (Círculo de Innovación en las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones), siendo autores del mismo:

- *Marisa López-Vallejo*, ETSI de Telecomunicación, Universidad Politécnica de Madrid.  
– Equipos hardware, influencia del consumo y temperatura.
- *Eduardo Huedo Cuesta*, Facultad de Informática, Universidad Complutense de Madrid.  
– Tecnología Grid y virtualización.
- *Juan Garbajosa Sopena*, Escuela Universitaria de Informática, Universidad Politécnica de Madrid.  
– Tecnologías software, servicios y gobierno de las Green IT.

Este trabajo ha sido realizado a petición de la Plataforma Tecnológica Española de Software y Servicios INES y definido dentro de las líneas marcadas en su Agenda Estratégica de Investigación.

El equipo de CITIC que ha participado en la definición y seguimiento del trabajo ha sido: Coordinador: *Juan M. Meneses Chaus*. Equipo de trabajo: *Ana Belén Bermejo Nieto* e *Iván Martínez Salles*.

El equipo de INES que ha participado en la definición y seguimiento del trabajo ha sido: Coordinador: *Santi Ristol* y *Mélanie Biette* (Atos Origin). Equipo de seguimiento: *Ana María Juan Ferrer* (Atos Origin), *Manuel Carro* (UPM), y *César Veiga* (CESGA, Centro de Supercomputación de Galicia).

Todos los derechos están reservados. Se autoriza la reproducción total o parcial de este informe con fines educativos, divulgativos y no comerciales citando la fuente. La reproducción para otros fines está expresamente prohibida sin el permiso de los propietarios del copyright.

**Título:** Informe de Vigilancia Tecnológica madri+d

“Green IT: tecnologías para la eficiencia energética en los sistemas TI”

**Autores:** Marisa López-Vallejo, Eduardo Huedo Cuesta y Juan Garbajosa Sopena.

- © De los textos: Los autores
- © De las ilustraciones: Autores y fuentes citadas
- © De la colección «vt» y de la presente edición:  
CEIM Confederación Empresarial de Madrid - CEOE  
Dirección General de Universidades e Investigación  
Fundación madri+d para el Conocimiento

**Edita:** Fundación madri+d para el Conocimiento  
Velázquez, 76. E-28001 Madrid

**Proyecto Gráfico:** base12 diseño y comunicación s.l.

**ISBN:** 978-84-613-3121-5

9 RESUMEN EJECUTIVO

13 EXECUTIVE SUMMARY

17 METODOLOGÍA DE TRABAJO

19 CAPÍTULO 1

Introducción

- 1.1 Green IT (PÁG. 20)
- 1.2 Análisis de la situación actual  
y beneficios derivados de Green IT (PÁG. 21)
- 1.3 Métricas de eficiencia energética (PÁG. 29)
  - 1.3.1 A nivel de componente hardware.  
TDP (Thermal Design Power) (PÁG. 29)
  - 1.3.2 A nivel de centros de datos (PÁG. 29)
  - 1.3.3 Herramientas para la medida  
de la eficiencia energética (PÁG. 31)

33 CAPÍTULO 2

Revisión de actividades relacionadas con Green IT

- 2.1 The Green Grid (PÁG. 35)
- 2.2 Climate Savers (PÁG. 36)
- 2.3 SNIA Green Storage Initiative (PÁG. 37)
- 2.4 Energy Star (PÁG. 38)
- 2.5 Directiva Europea de Eco-Diseño (PÁG. 40)
- 2.6 Código de conducta de la Unión Europea  
para centros de datos (PÁG. 41)
- 2.7 Grupo de trabajo sobre Green IT de la plataforma INES (PÁG. 42)
- 2.8 Otras actividades (PÁG. 45)

47 CAPÍTULO 3

Tecnologías y soluciones para una optimización  
energética de los sistemas TI

- 3.1 A nivel de equipos hardware (PÁG. 49)
  - 3.1.1 Antecedentes: el problema del consumo  
en las nuevas tecnologías (PÁG. 49)
  - 3.1.2 El ordenador personal (PÁG. 54)
  - 3.1.3 Optimización del consumo en microprocesadores (PÁG. 66)
  - 3.1.4 Fuentes de energías alternativas (PÁG. 76)
  - 3.1.5 ACPI: Advanced Configuration and Power Interface (PÁG. 78)
  - 3.1.6 Gestión térmica (PÁG. 81)
- 3.2 A nivel de software y gobierno  
de las tecnologías de la información (PÁG. 89)
  - 3.2.1 Software (PÁG. 89)
  - 3.2.2 Sistemas operativos y compiladores (PÁG. 89)
  - 3.2.3 Gobierno de las tecnologías de la información (PÁG. 90)
- 3.3 A nivel de sistemas (PÁG. 95)
  - 3.3.1 Técnicas de virtualización (PÁG. 95)
  - 3.3.2 Técnicas de utilización dinámica de recursos (PÁG. 104)

115	CAPÍTULO 4	Recomendaciones: hacia una gestión energética eficiente de los SI
		4.1 Síntesis de recomendaciones de iniciativas y consorcios (PÁG. 117)
		4.2 Recomendaciones a nivel de PC (PÁG. 121)
		4.3 Recomendaciones a nivel de gobernanza de las TI (PÁG. 123)
127	CAPÍTULO 5	Conclusiones
131	CAPÍTULO 6	Referencias

## LISTADO DE FIGURAS

- FIGURA 1.1. Gasto energético. \$bn. Fuente: IDC y [68] (PÁG. 21)
- FIGURA 1.2. Aumento del consumo de energía en los centros de datos. Fuente: VMware (PÁG. 22)
- FIGURA 1.3. Desglose del coste de un centro de datos. Fuente: Intel (PÁG. 22)
- FIGURA 1.4. Relación PIB vs consumo energético. Fuente: [41] (PÁG. 24)
- FIGURA 1.5. Calificación Medioambiental de las Empresas relacionadas con la Electrónica. Fuente: GreenPeace International, diciembre 2008 (PÁG. 24)
- FIGURA 1.6. Enfoque holístico del problema, Green IT. Fuente: [5] (PÁG. 25)
- FIGURA 1.7. Ciclo de vida completo de un PC verde. Fuente: [5] (PÁG. 26)
- FIGURA 1.8. Herramienta de control de consumo en una placa de ASUS. Fuente: ASUS (PÁG. 28)
- FIGURA 2.1. El conocido logotipo del programa Energy Star. Fuente: Energy Star (PÁG. 38)
- FIGURA 2.2. Productos vendidos calificados por Energy Star. Fuente: Energy Star (PÁG. 39)
- FIGURA 3.1. Verificación de la ley de Moore en los microprocesadores de Intel desde 1970. Fuente: Intel (PÁG. 50)
- FIGURA 3.2. Prospectiva de evolución del consumo estático y dinámico en tecnologías CMOS hasta 2020. Fuente: [7] (PÁG. 52)
- FIGURA 3.3. Modelado de temperatura en el banco de registros de una arquitectura VLIW. Fuente: [47] (PÁG. 54)
- FIGURA 3.4. Consumo por componente en una placa base con un procesador dual típico 2U de 450W. Fuente: Intel (PÁG. 55)
- FIGURA 3.5. Detalle de actividad de un ordenador de sobremesa. Fuente: [9] (PÁG. 56)
- FIGURA 3.6. Distribución del consumo en un PC de sobremesa con un procesador Intel Core™2 Quad. Fuente: [9] (PÁG. 57)
- FIGURA 3.7. Consumo de un LCD de 14" integrado en un portátil IBM ThinkPad R40 en función del nivel de brillo. Fuente: [12] (PÁG. 60)
- FIGURA 3.8. Comparación de consumo medio y prestaciones por vatio del disco WD Caviar Green y similares. Fuente: [15] (PÁG. 62)
- FIGURA 3.9. Comparación del consumo de ordenadores de sobremesa y portátiles. Fuente: [8] (PÁG. 64)
- FIGURA 3.10. Utilización de los estados de baja energía en ordenadores portátiles y de sobremesa. Fuente: [8] (PÁG. 65)
- FIGURA 3.11. Comparación de prestaciones por vatio entre procesadores Intel Pentium (mono-core) y las arquitecturas Core 2. Fuente: [15] (PÁG. 70)
- FIGURA 3.12. Trazado del microprocesador OpenSPARC T2, basado en UltraSPARC T2, con ocho núcleos multi-thread y con unidades de punto flotante. Fuente: [17] (PÁG. 73)
- FIGURA 3.13. Distribución de consumo y mapa térmico del microprocesador Niagara (UltraSPARC T1) de Sun Microsystems. Fuente: [18] (PÁG. 74)

- FIGURA 3.14. Trazas de consumo en la experimentación con un sistema basado en intel y otro en amd. Fuente: [15] (PÁG. 75)
- FIGURA 3.15. Comparación de tres microprocesadores de bajo consumo de Intel, AMD y Via. Fuente: [15] (PÁG. 76)
- FIGURA 3.16. Captura de energía de fuentes alternativas: datos actuales y previsión de impacto en el consumo diario. Fuente: Intel (PÁG. 77)
- FIGURA 3.17. Elementos involucrados en la gestión de potencia en un sistema ACPI. Fuente: [19] (PÁG. 79)
- FIGURA 3.18. Estados definidos en el estándar ACPI y transiciones entre los mismos. Fuente: [19] (PÁG. 81)
- FIGURA 3.19. Evolución de la densidad de potencia en los procesadores de Intel hasta 2001 y pronóstico para tecnologías posteriores. Fuente: Intel (PÁG. 82)
- FIGURA 3.20. Estructura de las dos arquitecturas térmicas utilizadas habitualmente en microprocesadores. Fuente: [18] (PÁG. 83)
- FIGURA 3.21. Ejemplo de trazado microprocesador en el que se detallan los principales elementos de la arquitectura para identificar puntos calientes en una simulación con HotSpot. Fuente: presentación de K. Skadron (PÁG. 84)
- FIGURA 3.22. Mapa de temperatura dentro de un ordenador. Fuente: [40] (PÁG. 87)
- FIGURA 3.23. Simulación de la distribución espacial de temperatura en un servidor en rack. Fuente: [22] (PÁG. 88)
- FIGURA 3.24. CobiT para gobierno de las TI. Fuente: [63] (PÁG. 93)
- FIGURA 3.25. Modelo de madurez verde de Accenture. Fuente: [66] (PÁG. 94)
- FIGURA 3.26. Consolidación de servidores con VMware ESX. Fuente: VMware (PÁG. 98)
- FIGURA 3.27. Gestión del consumo con DPM (Distributed Power Management) de VMware DRS (Distributed Resource Scheduler). Fuente: VMware (PÁG. 98)
- FIGURA 3.28. Arquitectura de OpenNebula. Fuente: OpenNebula (PÁG. 99)
- FIGURA 3.29. Virtualización del almacenamiento. Fuente: [29] (PÁG. 101)
- FIGURA 3.30. Aprovisionamiento fino. Fuente: 3PAR (PÁG. 102)
- FIGURA 3.31. Aprovisionamiento dinámico de EC2. Fuente: OpenNebula (PÁG. 112)
- FIGURA 3.32. Comparación del uso de electricidad. Fuente: Google (PÁG. 113)
- FIGURA 3.33. Plano del centro de datos de Green House Data. Fuente: Green House Data (PÁG. 114)



## LISTADO DE TABLAS

- TABLA 1.1. Benchmarks para PUE y Dice.  
Fuente: Info-Tech Research Group (PÁG. 30)
- TABLA 2.1. Beneficios de la aplicación de virtualización y provisión bajo demanda.  
Fuente: INES (PÁG. 44)
- TABLA 3.1. Consumo de ordenadores de sobremesa (W), abril 2008.  
Fuente: University of Pennsylvania [11] (PÁG. 58)
- TABLA 3.2. Valores de consumo típicos en monitores CRT y pantallas LCD de diferentes tamaños. Fuente: [8] (PÁG. 59)
- TABLA 3.3. Consumo de ordenadores portátiles (W), abril 2008.  
Fuente: University of Pennsylvania [16] (PÁG. 65)
- TABLA 3.4. Estrategias de reducción de consumo aplicadas por Intel a lo largo de todo el proceso de fabricación de un microprocesador.  
Fuente: [43] (PÁG. 68)
- TABLA 3.5. Frecuencias y consumos de los microprocesadores más representativos de Intel. Fuente: Intel, 2008 (PÁG. 70)
- TABLA 3.6. Frecuencias y consumos de los microprocesadores más representativos de AMD. Fuente: AMD (PÁG. 72)



## RESUMEN EJECUTIVO

En 1992, coincidiendo con el inicio del programa *Energy Star*, el concepto de Green IT emergió con fuerza. En un principio, el objetivo de este programa fue únicamente etiquetar el equipamiento electrónico que se ajustara a una normativa determinada sobre eficiencia energética. En los últimos años, el número de ordenadores y sistemas de computación ha crecido de forma significativa. Los centros de datos son ahora un elemento clave en una sociedad en el que las TI juegan un papel esencial. Los datos disponibles indican que, mientras que en 1996 el número de servidores era inferior a 5 millones, la tendencia para 2011 se aproxima a 40, por lo que se plantea el problema del suministro de energía, no sólo para mantener en funcionamiento estos centros de datos, sino para las nuevas instalaciones necesarias. El consumo de energía destinado al funcionamiento de servidores en 1996 supuso un gasto algo menor a 100.000 millones de dólares, mientras que la tendencia para 2011 es de 250.000 millones. Por tanto, esta necesidad de energía aumenta de forma vertiginosa y las implicaciones que esto supone son varias, una de ellas, el impacto medioambiental.

Este informe proporciona una revisión de tecnologías orientadas a mantener el consumo de energía al nivel más bajo posible, abarcando diferentes niveles: desde el desempeño del microprocesador, hasta el funcionamiento de los centros de datos. Siendo esencial la contribución de la tecnología para la gestión actual de Green IT, la gobernanza de las TI se contempla también como factor decisivo para un concepto de Green IT sostenible. Actualmente, Green IT puede definirse como *“the holistic approach to environmentally friendly, sustainable governance and management of the organization (business and IT), its process and projects”*. Se desprende que Green IT resulta completamente provechosa cuando se considera e integra en la estrategia global de la organización.

Así, el presente informe se estructura en cinco capítulos.

El primero aporta una breve introducción orientada a recalcar la importancia de este concepto emergente de Green IT teniendo en cuenta la necesidad de energía a nivel mundial para mantener las infraestructuras TI. Debido al continuo incremento del precio de la energía, éste se considera uno de los factores de coste fundamentales en cualquier tipo de presupuesto global de funcionamiento. Además, los aspectos de emisión de CO<sub>2</sub> asociados con este gasto energético están centrando igualmente el interés de la sociedad por estos temas.

El capítulo 2 proporciona una revisión de actividades, grupos de trabajo y aspectos de regulación relacionados con Green IT. En la actualidad, iniciativas similares están apoyando y fomentando la adopción de tecnologías “limpias” para mejorar la eficiencia de los sistemas TI y reducir el consumo energético.

El capítulo 3 incluye la citada revisión tecnológica desde tres puntos de vista, todos ellos orientados a mejorar el desempeño TI en términos de eficiencia energética. El primer apartado abarca temas relacionados con el diseño de circuitos digitales de baja potencia, consumo de potencia y optimización vía hardware, así como gestión de la temperatura. Asimismo, se centra la atención en aspectos relacionados con el funcionamiento del PC y los microprocesadores, en función de su relevancia y requisitos de energía. La segunda sección incluye referencias a aspectos implicados del software, sistemas operativos y gobernanza de las TI, mientras que la última aporta información sobre estrategias de virtualización y consolidación de servidores, equipos de escritorio y sistemas de almacenamiento, tecnologías grid y el diseño de centros de datos eficientes energéticamente.

El capítulo 4 describe un conjunto de recomendaciones destinadas al ahorro de energía en sistemas TI, agrupadas por iniciativas reconocidas en este ámbito y a diferentes niveles de aplicación.

Finalmente, se incluye un apartado de conclusiones que destaca los principales aspectos tecnológicos mencionados en el documento que influyen en la eficiencia energética de sistemas TI, así como el papel de la gobernanza en la gestión de Green IT.



## EXECUTIVE SUMMARY

In 1992, just after the Energy Star programme was initiated, the term Green IT emerged. Originally the objective of this programme was simply to label equipment compliant with energy efficiency regulations. During the last years the number of computers and computer based systems has been growing steadily. Data centers are now an essential element of a society in which IT plays a key role. Available figures indicate that while in 1996 the number of servers was less than 5 millions, the projection for 2011 is right less than 40 millions. This brings us the problem of providing the energy required not only to keep data centres working but set up new installations. Energy spending for the servers installed in 1996 was less than 100 \$ billions while the projection for 2011 is 250 \$ billions. Energy needs are growing dramatically and the implications of this include a number of issues, one of which is environment.

This report provides an overview of the technologies that can be used to keep energy consumption as down as possible, to save energy at all levels: from microprocessors to data centers. Being essential the contribution from technology at present Green IT management and governance, part of the IT governance, is seen as the essential issue that will make possible a sustainable Green IT. Now, Green IT can be defined as “the holistic approach to environmentally friendly, sustainable governance and management of the organization (business and IT), its process and projects”. Green IT becomes worthwhile and profitable when it is considered within the whole strategy of the company or institution.

Then, the report has been divided into five chapters.

The first one brings a brief introduction in order to emphasize the importance of this emerging concept of Green IT taking into consideration worldwide power requirements to support IT infrastructures. Due to the increase in energy prices, power is considered to be one of the main cost factors in calculations of overall operating cost. Apart from that, CO<sub>2</sub> issues associated with this power consumption are focusing public interest on these themes.

Chapter 2 provides an overview of activities, working groups and regulation issues related to Green IT. Nowadays, similar initiatives are supporting the promotion and adoption of clean technologies to improve IT systems efficiency and reduce energy consumption.

Chapter 3 provides the named technology overview from three different points of view, which are aimed to achieve a better IT performance in terms of energy efficiency. The first one deals with low power digital circuits design, power consumption and optimization by hardware, and temperature management. In addition to this, this subsection focuses on PC and microprocessors issues according to their relevance and power requirements. The second section brings some references about software issues,



operating systems and IT governance, while the third one provides information about strategies in virtualization and consolidation of servers, desktops and storage systems, grid computing and the design of efficient data centers.

Chapter 4 describes a set of relevant recommended measures for power saving in IT infrastructure, grouped by Green IT initiatives and structured at different levels.

Finally, a section of conclusions is provided, placing emphasis on the mentioned technology issues that deal with IT systems energy efficiency and the importance of governance at Green IT management.



## METODOLOGÍA DE TRABAJO

El presente informe de Vigilancia Tecnológica ha sido coordinado por CITIC, el Círculo de Innovación en Tecnologías de la Información y las Comunicaciones, iniciativa del sistema madri+d y gestionado por la Universidad Politécnica de Madrid (UPM). Metodológicamente, los informes de vigilancia realizados por CITIC se desarrollan en las siguientes cuatro fases:

La primera fase involucra la definición de la temática y de los factores críticos de vigilancia. Esta actividad se hace conjuntamente entre el equipo del CITIC y, en este caso, la Plataforma Tecnológica Española de Software y Servicios, INES, de acuerdo a las líneas marcadas en su Agenda Estratégica de Investigación. Una vez cumplida esta etapa, se decide, por un lado, el equipo de trabajo, en este caso formado por profesores expertos de la UPM y de la Universidad Complutense de Madrid, y por otro, el equipo de seguimiento designado por la Plataforma INES, que son un conjunto de empresas e instituciones, representadas por miembros destacados de ellas, con experiencia y líneas de negocio en la temática, que deberán definir, seguir y evaluar el trabajo de Vigilancia Tecnológica.

Tras la formación de los equipos, se procede a la reunión de lanzamiento del trabajo, cuyo objetivo es aclarar el enfoque idóneo y las líneas prioritarias del estudio. Con las ideas resultantes de la reunión, se inicia la segunda fase, donde el equipo de trabajo reúne la información solicitada y considerada de interés por las empresas, concretando la primera versión del informe que se envía al equipo de seguimiento.

La tercera fase involucra al equipo de seguimiento que, tras analizar el informe, aporta su opinión y sugerencias sobre el avance del trabajo y, si es el caso, procede a la redefinición y concreción de algún aspecto referido a los objetivos y perfil de Vigilancia Tecnológica establecida.

En la cuarta y última fase, el equipo de trabajo elabora la versión final del informe, añadiendo y completando los comentarios aportados por el equipo de seguimiento y concluyendo de este modo el trabajo.

Esta metodología favorece la existencia en todo momento de una fluida comunicación entre el personal que realiza el trabajo y la plataforma INES, obteniéndose de ese modo un informe ajustado a las necesidades del cliente. La relación entre el equipo de trabajo y el equipo de seguimiento está coordinada por el equipo de CITIC, desde la Universidad Politécnica de Madrid.

## CAPÍTULO 1

# Introducción

1.1 Green IT (PÁG. 20)

1.2 Análisis de la situación actual y beneficios derivados de Green IT (PÁG. 21)

1.3 Métricas de eficiencia energética (PÁG. 29)

## 1.1 Green IT

Vivimos una época en la que asuntos tan graves como la escasez de energía, el calentamiento global o el efecto invernadero han hecho necesario que el cuidado del medio ambiente sea una prioridad tanto para los gobiernos como para las empresas y la sociedad en su conjunto. Las tecnologías de la información (TI) no pueden quedar ajenas a esta preocupación y todos los agentes involucrados en su desarrollo, implantación o utilización deben hacer todos los esfuerzos posibles para mitigar el impacto que se tiene en el medio ambiente.

Ésta es la temática en la que se centra la corriente denominada Green IT, identificada por Gartner como una de las 10 tecnologías más estratégicas para 2009 [1]. El término *green computing* se acuñó posiblemente por primera vez tras el inicio del programa *Energy Star* en 1992 (ver sección 2.4), promocionado por el gobierno estadounidense. Tenía por objetivo etiquetar monitores y equipamiento electrónico caracterizados por su eficiencia energética. El término quedó registrado ya en 1992 en un grupo de noticias. Hoy en día el programa *Energy Star* es el motor de la eficiencia energética en los sistemas electrónicos (no sólo de procesamiento de la información, sino también del equipamiento electrónico doméstico).

La adopción de productos y aproximaciones más eficientes pueden permitir más equipamiento dentro del mismo gasto energético (lo que se denomina huella energética, o *energy footprint*), o dentro de un centro previamente completo. Las regulaciones se están multiplicando y podrían limitar seriamente a las empresas a la hora de construir centros de procesamiento de datos, ya que el efecto de las redes de suministro eléctrico, las emisiones de carbono por el incremento de uso y otros impactos medioambientales están siendo investigadas. Por tanto, las organizaciones deben considerar las regulaciones y tener planes alternativos para el crecimiento de sus centros de procesamiento de datos y de su capacidad.

## 1.2 Análisis de la situación actual y beneficios derivados de Green IT

El consumo de energía es hoy una cuestión crítica para las organizaciones de TI, ya sea para reducir costes, para preservar el medio ambiente o para mantener el centro de datos operativo. Sólo en los Estados Unidos, los centros de datos consumieron 4.500 millones de dólares de electricidad en 2006. El analista industrial Gartner [2] estima que durante los próximos cinco años, la mayoría de centros de datos de empresas gastarán tanto dinero en energía (potencia y refrigeración) como en infraestructura hardware. La Figura 1.1 muestra una comparativa del gasto energético desde 1996 hasta una proyección para 2011. Es interesante ver cómo aumenta el número de servidores en los centros de proceso de datos al tiempo que crece el gasto energético para la refrigeración y para la gestión de los servidores. Estos indicadores muestran áreas en las que se puede optimizar el gasto energético.

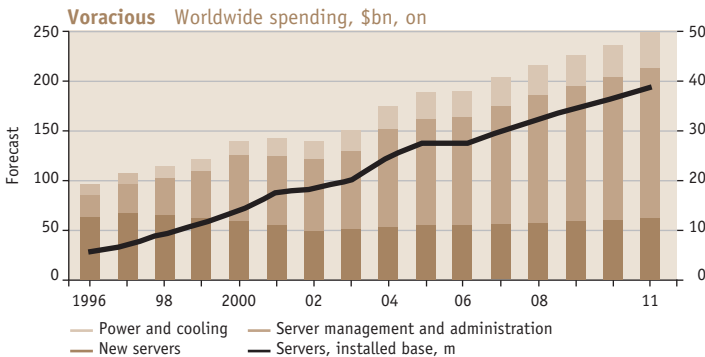


FIGURA 1.1. Gasto energético, \$bn.

Fuente: IDC y [68].

Aproximadamente, el 40-50% del consumo de energía de las empresas va a las TI, y el coste de la energía de los centros de cálculo se ha más que doblado en los últimos cinco años (ver Figura 1.2). Muchos entornos de computación de alto rendimiento (*High-Performance Computing*, HPC) y centros de datos están apurando sus límites en cuanto a tamaño físico, suministro de energía y capacidad de refrigeración (ver Figura 1.3).

Algunas organizaciones están incluso agravando estos límites y el problema asociado del marcado incremento de los costes de energía mediante la expansión de sus instalaciones, el incremento de su suministro de energía para TI y la implementación de otras medidas provisionales en lugar de resolver realmente sus problemas de

consumo de energía y refrigeración. De hecho, bajo la tendencia actual, el coste de la energía usada para alimentar el hardware de TI por año excederá en poco tiempo el coste de adquisición de hardware.

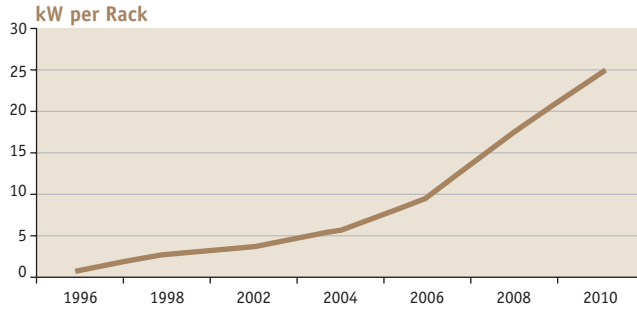


FIGURA 1.2. Aumento del consumo de energía en los centros de datos.

Fuente: VMware.

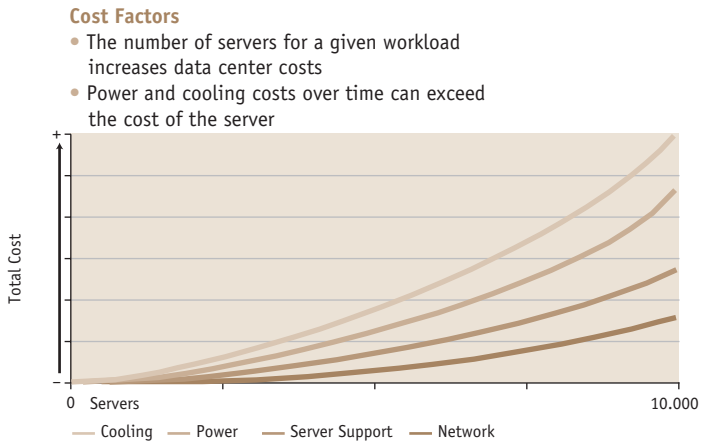


FIGURA 1.3. Desglose del coste de un centro de datos.

Fuente: Intel.

Por otro lado, la mayoría de servidores y equipos de escritorio se usan sólo un 8-15% del tiempo en que están encendidos, a pesar de que la mayoría del hardware x86 consume el 60-90% de la potencia normal cuando está ocioso. La firma de analistas IDC [3] afirma que esta capacidad no utilizada de los servidores es aproximadamente igual a:

- 140.000 millones de dólares.
- 3 años de suministros hardware.



- Más de 20 millones de servidores.

Con 4 toneladas de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) emitidas anualmente por servidor, estos servidores no utilizados producirían un total de más de 80 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> por año. Esto es más de lo que se emite en Tailandia y más de la mitad de lo que emiten todos los países de Sudamérica.

IDC realizó una encuesta sobre Green IT [4] cuyos resultados fueron que:

- Más del 50% de los clientes consideran la preocupación por el medio ambiente (“greenness”) de los vendedores de TI a la hora de seleccionar un proveedor.
- Un tercio de los clientes ya consideran “importante” o “muy importante” que los proveedores de TI tengan ofertas ecológicas.
- Casi un 80% de ejecutivos dicen que la importancia de Green IT está creciendo para su organización.
- El principal impulsor para la adopción de Green IT es de tipo económico, para reducir los costes operacionales.

El consumo energético no es el único problema relacionado con las TI. La etapa de fabricación de equipos presenta serios problemas relacionados con el medio ambiente: materiales de desecho tóxicos, producción de gases contaminantes, etc. La tendencia actual es la de minimizar el impacto contaminante (*carbon footprint*) presente en las tecnologías de fabricación de los sistemas electrónicos.

Finalmente, también tiene un impacto inmediato la eliminación de equipos para las TI, caracterizados por un tiempo de vida increíblemente breve de unos dos o tres años. Si no se reciclan de forma eficiente, terminan tirados en vertederos, y debido a la presencia de componentes tóxicos, son una fuente de contaminación terrestre y de las aguas.

Todos estos aspectos deben ser considerados de manera global por los fabricantes y usuarios de equipos TI. La concienciación de la existencia de este problema ha llevado a la elaboración de numerosas y rígidas normativas a todos los niveles, lo que empieza a obtener algunos resultados. Un indicador de los logros de las políticas de Green IT se puede observar en la Figura 1.4, donde se representa el consumo eléctrico vs. PIB en España en los últimos 25 años [41]. En la gráfica aparece una clara correlación entre el crecimiento económico y el aumento del consumo de energía. Sin embargo, en los últimos años (desde 2005) se puede observar que aunque continúa el crecimiento económico, el consumo energético experimenta un decrecimiento significativo, sólo achacable a las políticas actuales de ahorro energético y compromiso con el medio ambiente.

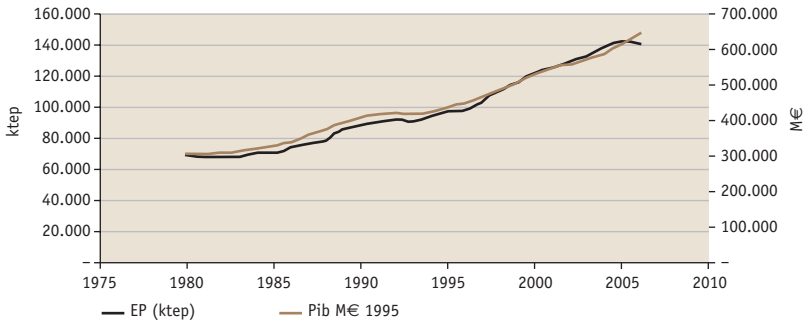


FIGURA 1.4. Relación PIB vs consumo energético.

Fuente: [41].

Este esfuerzo es muy loable, pero no es suficiente. Es preciso atacar todos los frentes simultáneamente, tanto a nivel de administración como de empresas o usuarios finales. En lo que respecta a las empresas, queda aún mucho por hacer. GreenPeace Internacional realiza un ranking con los 18 principales fabricantes del sector electrónico (ordenadores personales, teléfonos móviles etc.) de acuerdo con sus políticas de reducción de emisiones tóxicas, reciclado o minimización de impacto en el cambio climático, y lo publica en su Guía para la Electrónica Verde (*Guide to Greener Electronics*), de publicación trimestral. Como se puede ver en los resultados de Diciembre de 2008 (Figura 1.5), las empresas del sector obtienen unas calificaciones realmente bajas, siendo la mejor Nokia con un 6,9 sobre 10. La mitad de estas 18 empresas suspenden un estudio que busca que las empresas analizadas:

- Limpian sus productos al eliminar sustancias peligrosas. Los productos químicos peligrosos con riesgo impiden el posterior reciclado de los equipos.
- Reciclen de equipos/productos bajo su responsabilidad una vez quedan obsoletos.
- Reduzcan el impacto climático debido a sus operaciones y productos.

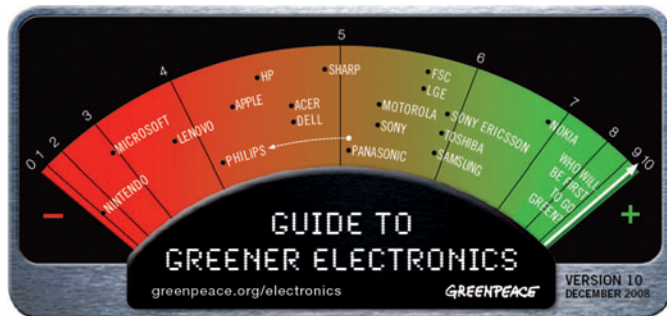


FIGURA 1.5. Calificación Medioambiental de las Empresas relacionadas con la Electrónica.

Fuente: GreenPeace Internacional, diciembre 2008.

Por todo lo expuesto, la resolución efectiva del impacto ambiental de las tecnologías TI requiere un enfoque holístico [5] del problema que englobe las cuatro vías representadas en la Figura 1.6:

- Utilización ecológica: principalmente a través de la reducción del consumo energético. La producción de energía eléctrica es la principal fuente de generación de gases de efecto invernadero.
- Diseño ecológico o eco-diseño: incluye diseño de equipos más eficientes energéticamente y respetuosos con el medio ambiente.
- Fabricación ecológica: eliminando completamente o minimizando el impacto del proceso de fabricación en el medio ambiente (emisiones, materiales de desecho, etc.).
- Eliminación ecológica: una vez finalizado el período de utilización de un equipo se deben poner en marcha las estrategias denominadas *tres R*: reutilización y renovación de equipos y, si no son aprovechables, reciclado.

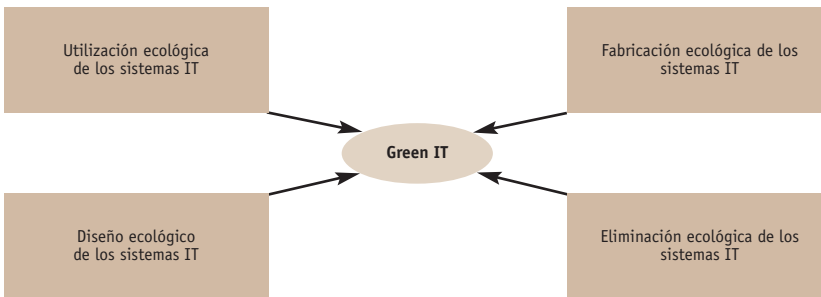


FIGURA 1.6. *Enfoque holístico del problema, Green IT.*

Fuente: [5].

La idea principal del enfoque holístico es que se cierre el ciclo de vida de los equipos TI de forma que no se perjudique el medio ambiente, lo que permitiría conseguir una mejora sustancial de cara al desarrollo sostenible. Un ejemplo de este ciclo de vida “verde” de los equipos TI se muestra en la Figura 1.7, donde se representa el ciclo de vida de un ordenador conforme a Green IT.

Este enfoque global lo están empezando a aplicar las empresas multinacionales relacionadas con el sector. Un claro ejemplo es Intel ([www.intel.com](http://www.intel.com)), que ha definido una estrategia agresiva orientada a la sostenibilidad con el medio ambiente, y ha creado el programa “*Eco-smart Technology: delivering environmental innovation through sustainable practices*”. Esta iniciativa aborda el problema mediante cuatro sub-programas principales:

- *Fabricación sostenible*: se ha mejorado sustancialmente el proceso de fabricación, consiguiendo metas muy significativas:
  - Una reducción del consumo de energía del 20% por unidad de producto en los últimos tres años;
  - El reciclado o reutilización del 87% de los residuos orgánicos y el 80% de los residuos sólidos en 2007;
  - El desarrollo de productos libres de plomo y de halógenos en 2008.
- *Prestaciones eficientes en energía*: los ingenieros de diseño de Intel siguen teniendo como objetivo mejorar prestaciones, pero ahora deben además minimizar la energía que consumen. Con la implantación del proceso de fabricación Intel® 45nm se han desarrollado nuevos esquemas para la reducción del consumo en los microprocesadores (como se verá en la sección 3.1.3.1).
- *Diseño para el medio ambiente*: los productos de Intel de la línea *eco-smart* se diseñan con materiales innovadores para proporcionar altas prestaciones manteniendo eficiencia energética y procesos de fabricación responsables con el medio ambiente. De esta forma se reduce la huella contaminante achacable a Intel.
- *Política de sostenibilidad*: en colaboración con organizaciones ecologistas, gobiernos y líderes del sector industrial, Intel fomenta iniciativas medioambientales, desarrolla nuevos programas respetuosos con el medio ambiente y promueve esfuerzos en este sentido a nivel mundial.

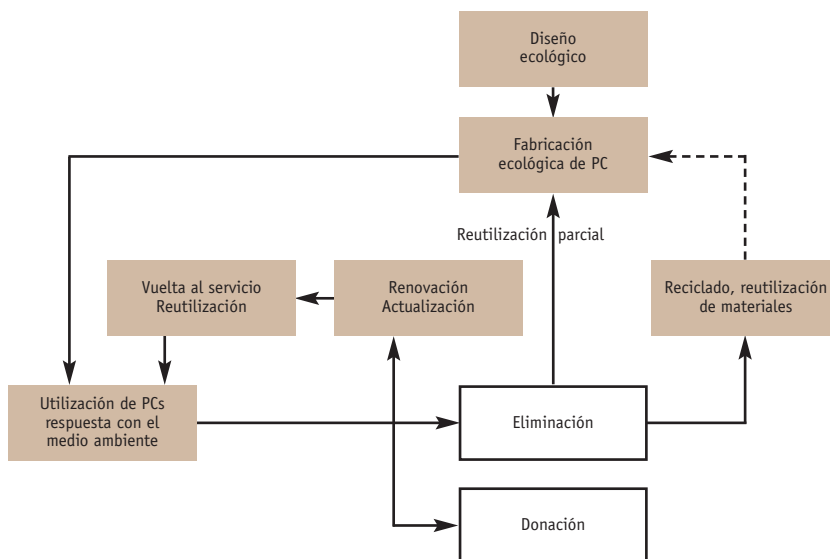


FIGURA 1.7. Ciclo de vida completo de un PC verde.

Fuente: [5].

Otro ejemplo de empresa que comienza a seguir las políticas de concienciación con el respeto al medio ambiente es Apple ([www.apple.com/environment](http://www.apple.com/environment)), que ha iniciado un programa de mejora para reducir el impacto ambiental de los productos que fabrica. Dado que el 95% de la huella contaminante de Apple (*Apple's Carbon Footprint*) se debe a la fabricación de productos, han puesto especial empeño en adaptar todas las actividades (desde el diseño hasta la fabricación y uso por parte del cliente de sus productos) para que sean respetuosas con el medio ambiente. Para ello se emiten regularmente Informes Medioambientales de Productos (accesibles en la web) que recogen el progreso conseguido en la minimización de las emisiones de CO<sub>2</sub> de cada producto. El trabajo se ha encauzado en cuatro áreas clave:

- *Diseño de producto*: punto inicial de la cadena, en el diseño se deciden la cantidad, tipo y reciclabilidad de los materiales base que se necesitan. Además se determina la cantidad de energía que se consume tanto en la fabricación del producto como durante su posterior utilización. Por ejemplo, el ultra-fino iMac de 20 pulgadas se fabrica con vidrio y aluminio, materiales altamente reciclables, y su consumo de potencia es comparable al de una bombilla encendida.
- *Materiales*: se restringe el uso de componentes lesivos con el entorno tanto en fabricación como en producto final. Se está intentando eliminar sustancias tóxicas (PVC, BFRs,..). De esta forma, la nueva familia MacBook utiliza pantallas con LEDs libres de mercurio y cristal líquido libre de arsénico.
- *Eficiencia energética*: en los últimos años Apple ha dedicado un esfuerzo especial a conseguir una elevada eficiencia energética en sus productos. Para ello ha creado herramientas dedicadas (Energy Safer en el sistema operativo Mac X) que permiten al usuario gestionar el consumo de potencia de sus ordenadores. Desde 2001 todos los ordenadores Apple (sobremesa, portátiles y displays) cuentan con la calificación de Energy Star.
- *Reciclado*: siguiendo el mencionado enfoque holístico, el reciclado es fundamental para cerrar el ciclo de vida de un producto. Apple apuesta por los materiales altamente reciclables, además de promocionar programas de recogida para la eliminación de equipos Apple utilizados. Desde la primera iniciativa de recogida, que tuvo lugar en Alemania en 1994, Apple ha iniciado programas de reciclado en el 95% de los países en los que se venden sus productos, eliminando hasta 24.000 Tm. de desechos de los vertederos de todo el mundo.

Todas estas iniciativas son muy loables, y están encaminadas a conseguir reducir de forma significativa el impacto negativo en el medio ambiente que producen empresas del sector TI. Sin embargo, aún queda mucho camino por recorrer, como se ha visto en el ranking de “empresas verdes” que edita trimestralmente GreenPeace. En la gráfica de la Figura 1.5 se puede ver cómo Apple ha obtenido una calificación de 4,3/10, muy pobre a pesar de mejorar frente a calificaciones anteriores. Esto se debe a que las mejoras que anuncia no las aplica a todos sus productos, aún participa en la emisión de gases nocivos en fabricación y el sistema de reciclado no funciona correctamente.

Además de los evidentes beneficios ecológicos, ya introducidos en este apartado, existen una serie de beneficios adicionales derivados de Green IT que merece la pena analizar y citar aquí, sobre todo desde el punto de vista de las empresas fabricantes y distribuidoras de equipos TI.

1. El ahorro en la factura energética resulta incuestionable. En una oficina, sólo la iluminación supera el consumo de los ordenadores personales. Más aún, si se tiene en cuenta que la mayor parte del tiempo están infrautilizados (noches, fines de semanas), una buena gestión del consumo puede representar un ahorro más que considerable.
2. La preocupación y el compromiso por el medio ambiente son cada vez mayores, por lo que muchos clientes potenciales tienen en cuenta si su proveedor colabora con el desarrollo sostenible a la hora de tomar la decisión de una compra.
3. El adoptar una política *verde* resulta obligatorio en la actualidad por las incipientes regulaciones relacionadas. Sin embargo, se espera que las regulaciones encaminadas a disminuir el impacto en el medio ambiente de las nuevas tecnologías se recrudescan en un futuro inminente, por lo que es importante anticiparse a futuras obligaciones.

Las empresas del sector, conscientes de la necesidad de reducir el impacto de las nuevas tecnologías en el medio ambiente, han introducido en sus equipos controles que relacionan directamente el ahorro energético con la reducción de la huella de carbono que implica ese ahorro. Por ejemplo, las placas madre de ASUS incluyen la herramienta de la Figura 1.8, que permiten regular el consumo de la placa en función de las necesidades del usuario, y mide el impacto que esa reducción de consumo tiene en la correspondiente emisión de CO<sub>2</sub> al ambiente.



FIGURA 1.8. Herramienta de control de consumo en una placa de ASUS.

Fuente: ASUS.

## 1.3 Métricas de eficiencia energética

A la hora de mejorar la eficiencia energética de un componente, sistema o instalación, es esencial comprender cómo se comporta realmente, es decir, cómo consume la energía, cómo disipa el calor, etc. Debe hacerse una valoración de la situación actual, de forma que pueda establecerse un seguimiento de las mejoras conseguidas o una comparación con otras alternativas. Hay que recordar que no se puede mejorar lo que no se mide. En la Figura 3.25 aparece el modelo de madurez verde. Este modelo se estudia en la sección correspondiente y aún cuando no es un modelo de eficiencia energética sí permite estudiar la evolución de una organización en el sentido *verde*.

### 1.3.1 A nivel de componente hardware. TDP (Thermal Design Power)

*Thermal Design Power* (TDP) representa la máxima potencia sostenida que puede disipar un microprocesador al ejecutar un conjunto realista de aplicaciones. Por ejemplo, un microprocesador de un ordenador portátil puede estar diseñado para 15 W TDP, lo que significa que puede disipar (por diversas vías: disipador, ventilador...) 15 vatios de calor sin exceder la máxima temperatura de funcionamiento para la cual está diseñado el chip.

El problema de esta métrica es que existe indefinición cuando se habla de “conjunto realista de aplicaciones”, por lo que no se pueden comparar exactamente los valores proporcionados por dos fabricantes diferentes. Eso sí, dan una idea de la capacidad de disipación de potencia que tienen esos microprocesadores.

### 1.3.2 A nivel de centro de datos

El consorcio *The Green Grid* (ver sección 2.1) ha establecido una serie de métricas para evaluar, de forma estándar, la eficiencia de los centros de datos [70].

A corto plazo, este consorcio propone el uso de las métricas PUE (*Power Usage Effectiveness*) y DCiE (*Data Center infrastructure Efficiency*), recientemente introducidas en la industria, que permiten a los operadores de centros de datos estimar rápidamente la eficiencia energética de sus instalaciones, comparar sus resultados y determinar si se deben realizar mejoras en la eficiencia energética. A más largo plazo, el consorcio propone la métrica DCPE (*Data Center Performance Efficiency*) y una versión refinada de la métrica PUE para los principales subsistemas consumidores de energía del centro de datos.

La métrica PUE se define como:

$$PUE = \text{Total Facility Power} / \text{IT Equipment Power}$$

Y la métrica DCiE, que es su recíproca, se define como:

$$DCiE = \text{IT Equipment Power} / \text{Total Facility Power}$$

En las ecuaciones anteriores, *IT Equipment Power* incluye la carga asociada con todo el equipamiento de TI, es decir servidores, almacenamiento y conexión, junto con otro equipamiento adicional, como conmutadores KVM (*Keyboard-Video-Mouse*), monitores y equipos fijos o portátiles para monitorizar o controlar el centro de datos. Por otro lado, *Total Facility Power* incluye el *IT Equipment Power* y todo lo necesario para soportar su carga, es decir:

- Componentes de distribución de energía: UPS (*Uninterruptible Power Systems*), conmutadores, generadores, PDU (*Power Distribution Unit*), baterías y pérdidas de distribución externas al equipamiento TI.
- Componentes del sistema de refrigeración: refrigeradores, unidades de aire acondicionado de la sala de ordenadores (*Computer Room Air Conditioning*, CRAC), unidades de expansión directa, bombas y torres de refrigeración.
- Otras cargas de componentes misceláneos: por ejemplo, la iluminación.

La métrica original es PUE, sin embargo, la que se está adoptando es DCiE, expresándola normalmente como porcentaje, lo que facilita su comprensión (Tabla 1.1). Las mejoras en la eficiencia energética se traducen en un acercamiento al 100% del DCiE, que es el número ideal. Empresas como IBM o Google han adoptado la métrica DCiE, y también lo ha hecho el código de conducta de la Unión Europea para centros de datos (ver sección 2.6).

<i>Escenario</i>	<i>PUE</i>	<i>DCiE</i>	<i>Coste anual para alimentar y refrigerar un rack de 20 kW (\$0.09/kWh)</i>
<b>Centro de datos energéticamente eficiente del futuro</b>	1,2	83,3%	\$18.922
<b>Centro de datos energéticamente eficiente de 2007</b>	1,6	62,5%	\$25.229
<b>Centro de datos típico de 2007</b>	2,5-3,0	33%-40%	\$39.420-\$47.304

TABLA 1.1. *Benchmarks para PUE y Dice.*

Fuente: Info-Tech Research Group.

El consorcio *The Green Grid* también está considerando el desarrollo de métricas que proporcionen más granularidad a la métrica PUE, mediante la descomposición de *Total Facility Power* en varios componentes. Por ejemplo:

$$\text{Total Facility Power} = \text{Cooling Load} + \text{Power Load} + \text{IT Equipment Power}$$



Con lo que PUE quedaría así:

$$\text{PUE} = \text{Cooling Load Factor} + \text{Power Load Factor} + 1.0$$

Donde *Cooling Load Factor* (CLF) es la energía total consumida por los componentes del sistema de refrigeración, normalizada con *IT Equipment Power*. Y *Power Load Factor* (PLF) es la energía total disipada por los componentes del sistema de distribución de energía, también normalizada con *IT Equipment Power*.

Es importante aclarar que las métricas PUE y DCiE no proporcionan información acerca de la eficiencia energética del propio equipamiento de TI (servidores, almacenamiento y conexión) o sobre el retorno de la inversión (*Return on Investment, ROI*) obtenido de este equipamiento, que dependería del trabajo útil que realizara.

Para esto último, se está desarrollando la métrica DCPE, como evolución natural de PUE y DCiE, que se define como:

$$\text{DCPE} = \text{Useful Work} / \text{Total Facility Power}$$

Esta métrica es mucho más difícil de determinar, ya que habría que establecer una medida estándar para el trabajo útil. Sin embargo, es de gran ayuda, ya que permite tratar el centro de datos como una caja negra, donde entra energía, sale calor, entran y salen datos y se realiza una cantidad neta de trabajo útil.

### 1.3.3 Herramientas para la medida de la eficiencia energética

Las herramientas para la medida de la eficiencia energética, por ejemplo, aunque no únicamente, para centros de procesos de datos se están difundiendo y popularizando. Valga como ejemplo “The Data Center Energy Profiler”, o DC Pro. Se trata de una herramienta on-line diseñada para ayudar a las industrias de todo el mundo a diagnosticar de forma rápida cuánta energía utiliza su centro de proceso de datos y cuánta se podría ahorrar, y cuánto dinero. Esta herramienta ha sido desarrollada dentro del programa “Save Energy Now” y está disponible on-line. Un conjunto amplio de herramientas para definir el perfil de un centro de proceso de datos se encuentra on-line [72]. Una información más amplia se puede encontrar en la página del Departamento de Energía de USA [73].

También hay que mencionar la popularización que están sufriendo estas herramientas. Por ejemplo, Lenovo distribuye como una entrada de interés asociada a su correo un enlace para una calculadora energética [74].



## CAPÍTULO 2

# Revisión de actividades relacionadas con Green IT

- 2.1 The Green Grid (PÁG. 35)
- 2.2 Climate Savers (PÁG. 36)
- 2.3 Snia Green Storage Initiative (PÁG. 37)
- 2.4 Energy Star (PÁG. 38)
- 2.5 Directiva Europea de Eco-Diseño (PÁG. 40)
- 2.6 Código de conducta de la Unión Europea para centros de datos (PÁG. 41)
- 2.7 Grupo de trabajo sobre Green IT de la plataforma INES (PÁG. 42)
- 2.8 Otras actividades (PÁG. 45)

Se incluyen en este capítulo una revisión de actividades, proyectos y consorcios relacionados con las prácticas de Green IT.

Estas actividades están patrocinadas bien desde administraciones públicas, bien desde empresas, que están entendiendo que Green IT, además de una necesidad, puede ser un negocio, desde el punto de vista de consultoría y servicios, o bien por consorcios de empresas. Green IT está logrando que exista una gran energía a su alrededor. Una cuestión queda flotando en el aire: aunque es indudable su importancia y que ésta no decaerá en absoluto, ¿cuál será el aspecto del movimiento Green IT cuando éste madure?

---

---

## 2.1 The Green Grid

*The Green Grid* (<http://www.thegreengrid.org>) es un consorcio global dedicado a avanzar en la eficiencia energética de los centros de procesamiento de datos y en ecosistemas de computación de negocio. En cumplimiento de su misión, *The Green Grid* se centra en:

- Definir métricas y modelos significativos y centrados en el usuario.
- Desarrollar estándares, métodos de medida, procesos y nuevas tecnologías para mejorar el rendimiento de los centros de procesamiento de datos frente a las métricas definidas.
- Promocionar la adopción de estándares, procesos, medidas y tecnologías energéticamente eficientes.

El comité de directores de *The Green Grid* está compuesto por las siguientes compañías miembros: AMD, APC, Dell, HP, IBM, Intel, Microsoft, Rackable Systems, Sun Microsystems y VMware. Por tanto, el conjunto de los miembros del grupo cubre la totalidad de los segmentos implicados en la tecnología de centros de datos –procesadores, servidores, software y gestión de suministro eléctrico– y ahora invita a los clientes a sumarse.

Aunque los miembros de *The Green Grid* no esperan reducir el uso global de la potencia eléctrica, sí confían en poder compensar mediante un consumo más eficiente los aumentos que, de otro modo, se producirían como consecuencia del inevitable y progresivo incremento en las demandas de procesamiento informático.

## 2.2 Climate Savers

Iniciada por Google e Intel en 2007, *Climate Savers Computing Initiative* ([www.climatesaverscomputing.org](http://www.climatesaverscomputing.org)) es un grupo sin ánimo de lucro de consumidores y negocios con conciencia ecológica y organizaciones conservacionistas. La iniciativa se inició bajo el espíritu del programa *Climate Savers* de WWF (<http://www.worldwildlife.org/climate/projects/climateSavers.cfm>), que ha movilizó a una docena de compañías desde 1999 a recortar las emisiones de dióxido de carbono, demostrando que reducir las emisiones es bueno para el negocio. Su objetivo es promover el desarrollo, despliegue y adopción de tecnologías inteligentes que puedan mejorar la eficiencia de uso de la energía del computador y reducir su consumo cuando el computador se encuentra inactivo.

Como participantes en esta iniciativa, los fabricantes de computadores y componentes se comprometen a crear productos que cumplan los objetivos de eficiencia energética especificados, y las empresas se comprometen a adquirir productos energéticamente eficientes.

Para 2010, esperan reducir las emisiones globales de CO<sub>2</sub> debidas al funcionamiento de los computadores en 54 millones de toneladas por año, equivalente a lo generado anualmente por 11 millones de coches o entre 10 y 20 centrales térmicas de carbón. Con la ayuda de todos, este esfuerzo conducirá a una reducción del 50% en el consumo de energía por los computadores para 2010, y los participantes en la iniciativa podrían ahorrar colectivamente varios millones de euros en costes de energía.

---

---

## 2.3 SNIA Green Storage Initiative

SNIA (*Storage Networking Industry Association*, <http://www.snia.org>) es una organización global sin ánimo de lucro compuesta por unas 400 compañías y 7000 individuos que abarcan prácticamente la totalidad de la industria del almacenamiento. La misión de SNIA es liderar la industria del almacenamiento en el desarrollo y promoción de estándares, tecnologías y servicios de formación para fortalecer a las organizaciones en la gestión de la información.

SNIA *Green Storage Initiative* (<http://www.snia.org/green>) está llevando a cabo una iniciativa para avanzar en el desarrollo de soluciones energéticamente eficientes para el almacenamiento en red, incluyendo la promoción de métricas estándares, la formación y el desarrollo de buenas prácticas energéticas o el establecimiento de alianzas con organizaciones como *The Green Grid*. Actualmente, unos 20 miembros de SNIA se han unido a esta iniciativa.

## 2.4 Energy Star

En 1992 la Agencia de Protección Medioambiental de EEUU (*U.S. Environmental Protection Agency*) lanzó el programa *Energy Star*, que se planificó para promocionar y reconocer eficiencia energética en monitores, equipos de climatización y otras tecnologías. Aunque de carácter voluntario inicialmente, resultó pronto de amplia aceptación, pasando a ser un hecho la presencia de un modo de descanso (*sleep mode*) en la electrónica de consumo. Hoy en día prácticamente todos los proveedores principales de equipos electrónicos se han adherido al programa, luciendo sus sistemas el logotipo *Energy Star* (Figura 2.1).

Los resultados del programa son muy prometedores. En el informe anual de 2007 se estima que en EEUU se ahorró energía cuyo importe económico supondría 16 billones de dólares y evitó la emisión de 40 millones de toneladas de gases de efecto invernadero.



FIGURA 2.1. El conocido logotipo del programa *Energy Star*.

Fuente: Energy Star.

El programa juega un papel determinante como fuente de información creíble y objetiva para que los consumidores y empresarios puedan tomar decisiones basadas en información útil para ellos mismos y para el medio ambiente. Como resultado, los beneficios de Energy Star han ido aumentando con los años (a modo de ejemplo, en la Figura 2.2 se muestra el número de productos vendidos calificados por *Energy Star*) y se espera que continúen con esta tendencia positiva en el futuro.



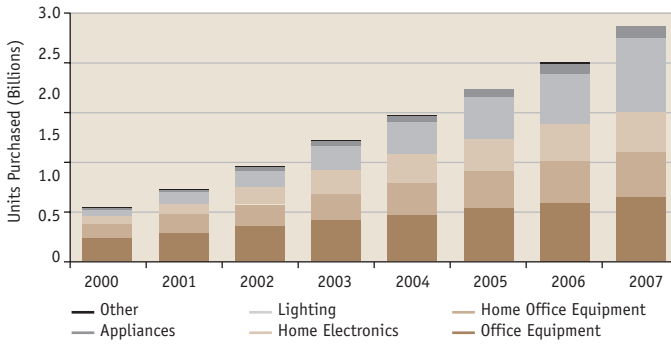


FIGURA 2.2. *Productos vendidos calificados por Energy Star.*

Fuente: Energy Star.

---

---

## 2.5 Directiva Europea de Eco-Diseño

Siguiendo la misma línea que la iniciativa *Energy Star* de EEUU, la Unión Europea aprobó la directiva 2005/32/EC para el eco-diseño, nuevo concepto creado para reducir el consumo de energía de productos que la requieren, tales como los dispositivos eléctricos y electrónicos o electrodomésticos. La información relacionada con las prestaciones medioambientales de un producto debe ser visible de forma que el consumidor pueda comparar antes de comprar, lo cual está regulado por la Directiva de Etiquetado de la Energía (*Energy Labelling Directive*). Los productos a los que se conceda la Eco-etiqueta serán considerados como cumplidores con la implementación de las medidas, de forma muy similar a la etiqueta de *Energy Star*.

Otros ejemplos de medidas relacionadas son las directivas que regulan la gestión de los equipos eléctricos y electrónicos obsoletos (*Waste from Electrical and Electronic Equipment, WEEE*) y el uso de ciertas sustancias peligrosas usadas en este tipo de equipamiento.

---

---

## 2.6 Código de conducta de la Unión Europea para centros de datos

El Código de Conducta de la Unión Europea para Centros de Datos [75] está siendo creado como respuesta al creciente consumo de energía en centros de datos y a la necesidad de reducir el impacto ambiental, económico y de seguridad de abastecimiento energético relacionado. El objetivo del informe es informar y estimular a los operadores o propietarios de los centros de datos a que reduzcan el consumo de energía de una forma rentable sin dificultar su funcionamiento. El código de conducta quiere conseguir esto mediante la mejora de la comprensión de la demanda de energía dentro del centro de datos, aumentando la concienciación, y mediante la recomendación de prácticas y objetivos energéticamente eficientes. Este código de conducta es una iniciativa voluntaria dirigida a reunir a los participantes interesados, incluyendo la coordinación de otras actividades similares realizadas por fabricantes, vendedores, consultores y proveedores de servicios. Se espera que los grupos firmantes cumplan con el propósito de este código y lo acaten por medio de una serie de compromisos acordados.

## 2.7 Grupo de trabajo sobre Green IT de la plataforma INES

INES (*Iniciativa Española de Software y Servicios*, <http://www.ines.org.es>) es la Plataforma Tecnológica Española en el área de los Sistemas y Servicios Software y constituye una red de cooperación científico-tecnológica integrada por los agentes tecnológicos relevantes de este ámbito (empresas, universidades, centros tecnológicos, etc.).

Según la Agenda Estratégica de Investigación de INES, el plan de dinamización para el Grupo de Trabajo de Green IT consiste en las siguientes acciones:

- Situación de España: analizarán la influencia e importancia que tiene la tecnología “green” ahora en España. Destacarán las tendencias tecnológicas, sociales y económicas, y las oportunidades de negocio que ofrecen las soluciones de Green IT.
- Difusión por Internet y comunidad académica e industrial: comunicarán las informaciones, noticias y existencia de este grupo de trabajo por Internet. La creación de un blog añadirá dinamismo a la información y permitirá interacción con la comunidad académica e industrial. Además escribirán comunicados de prensa, artículos en los medios que usan las comunidades de investigación y las empresas. Green IT es un área en crecimiento y es importante seguir su evolución desde el principio.
- Fomentar el interés y apoyar su desarrollo: el grupo de trabajo ayudará a atraer y reagrupar a los actores claves en este reto para garantizar resultados eficientes. Para esto, apoyarán la participación en eventos, como eventos de INES y de otras plataformas tecnológicas para compartir ideas, proyectos y solidificar el grupo de trabajo Green IT. Participarán también en eventos nacionales e internacionales para crear contactos para el grupo de trabajo y para crear y apoyar nuevos proyectos claves para la expansión de la temática de la sostenibilidad en las TIC. Contactarán con administraciones públicas autonómicas para comunicarles lo importante que es seguir invirtiendo en sus respectivas programas I+D para respetar las nuevas directivas europeas. Entrarán también en contacto con las asociaciones de empresa, cámaras de comercio para aumentar los contactos e interés y fomentarán las empresas españolas en la investigación europea en Green IT.

El objetivo de este grupo de trabajo es el de analizar la situación en España y destacar las oportunidades y beneficios de Green IT dentro de las empresas y del mercado español:

- Análisis económico de la situación en España.
- Evaluación y adaptación de las soluciones dentro de las empresas.
- Elaborar un plan director u hoja de ruta para las TIC en España a seguir, alineado con las directivas e iniciativas europeas.
- Proyectos nacionales e internacionales para combinar competencias en nuevas soluciones.
- Incrementar los beneficios socio-económicos de las empresas españolas por mayor reducción de costes indirectos.
- Mejorar la calidad de los ciudadanos españoles y calidad de vida en España.
- Y por último pero no por ello menos importante, desacelerar el cambio climático.

El aspecto tecnológico del grupo se centrará principalmente en las posibles acciones para la consolidación de servidores en un número inferior de recursos físicos. La consolidación de servidores propicia el ahorro energético mediante la reducción de las necesidades de espacio, potencia y refrigeración.

Las tecnologías de virtualización proporcionarán una mejor consolidación de los servidores, mientras los modelos de utilización bajo demanda permitirán mejorar la eficiencia en la utilización de recursos y aplicar criterios de reducción de consumo energético a su manejo. Estos nuevos modelos son más sostenibles ambientalmente por dos razones fundamentales:

- Por una parte, la provisión bajo demanda hace que no se produzcan fenómenos de sobre-provisión de recursos, ya que éstos únicamente están disponibles cuando son necesarios.
- Por otra parte, estos modelos facilitan la proliferación de economías de escala gracias a su manejo centralizado. Mediante un adecuado balance de carga, pueden implementarse políticas de mejora energética.

La virtualización y la provisión bajo demanda permiten responder de forma eficiente a los siguientes desafíos:

<i>Desafío</i>	<i>Solución aportada</i>
Dinamicidad	Permite la re-dimensión de la infraestructura física de los CPDs, añadiendo o eliminando recursos de forma transparente.
Optimización	Proporciona a los CPDs la capacidad de re-configurar dinámicamente la asignación entre aplicaciones y recursos físicos, mediante la capacidad de optimizar el balance de la carga de trabajo. Consolidación de los servidores.
Disponibilidad	Reduce la proliferación de servidores y el gasto, de adquisición, de mantenimiento, y de consumo energético. Incrementa o iguala los niveles de disponibilidad proporcionados mediante un menor coste. Garantiza la recuperación de servidores en situaciones críticas, de una forma mucho más rápida y eficiente.
Escalabilidad	Proporciona a las aplicaciones los recursos que necesitan en cada momento, sin caer en la sobre-provisión de recursos.
Rendimiento	Provisión bajo demanda de los recursos de forma que los sistemas mantengan sus niveles de rendimiento. Garantiza que en cada momento las aplicaciones estén alcanzando los niveles de calidad de servicio esperados.

TABLA 2.1. *Beneficios de la aplicación de virtualización y provisión bajo demanda.*

Fuente: INES.

---

---

## 2.8 Otras actividades

Existen actualmente multitud de iniciativas y actividades relacionadas con Green IT, cuya enumeración y descripción está fuera del alcance de este informe.

Por ejemplo, IBM está desarrollando el programa *Big Green Innovations* (<http://www.ibm.com/technology/greeninnovations/>). Dentro de este programa, y con fines educativos, IBM ha presentado un centro de datos virtual ecológico denominado *Virtual Green Data Center* ([http://www-03.ibm.com/systems/optimizeit/cost\\_efficiency/energy\\_efficiency/vgdc/](http://www-03.ibm.com/systems/optimizeit/cost_efficiency/energy_efficiency/vgdc/)).

La lista Green500 (<http://www.green500.org>) proporciona una clasificación de los supercomputadores más eficientes energéticamente del mundo, sirviendo como una visión complementaria a la lista Top500 (<http://www.top500.org>).

Otras empresas, como Google, Dell o Symantec, están desarrollando programas de eficiencia energética, tanto para sus propios procesos de TI como para los de sus clientes.





## CAPÍTULO 3

# Tecnologías y soluciones para una optimización energética de los sistemas TI

3.1 A nivel de equipos hardware (PÁG. 49)

3.2 A nivel de software y gobierno de las tecnologías de la información (PÁG. 89)

3.3 A nivel de sistemas (PÁG. 95)

Este capítulo presenta tanto enfoques tecnológicos como de gestión y gobierno para acercarnos a una situación en el que las TI colaboren de una forma más efectiva a un desarrollo industrial y económico sostenible. La sección 3.1 presenta aspectos más cercanos al hardware; la sección 3.2 se centra tanto en el software como en los aspectos de gobierno y gestión; la parte tercera abarca la virtualización y la provisión bajo demanda y aquellos aspectos de gestión derivados justamente de las posibilidades que abren.

---

---

## 3.1 A nivel de equipos hardware

Como se ha visto en la introducción, la reducción del consumo energético es la medida de las tecnologías Green IT que se puede abordar de forma más fructífera desde los sectores involucrados en las Tecnologías de la Información. En esta sección se revisará la problemática asociada a la mejora de la eficiencia energética de los equipos electrónicos propiamente dichos. Para ello comenzaremos por analizar los orígenes del consumo en equipos TI y posteriormente revisaremos la forma en que se ha abordado el tema de la reducción del consumo a nivel de equipos *hardware*, principalmente los ordenadores personales. Para los lectores interesados se ha incluido en el Anexo A un listado de patentes relevantes para la gestión de consumo y temperatura en ordenadores personales

### 3.1.1 Antecedentes: el problema del consumo en las nuevas tecnologías

En la actualidad no parece posible el día a día sin recurrir al uso intensivo de las TI, cuyo funcionamiento se fundamenta en el uso de sistemas basados en procesador (desde el común PC hasta servidores o complejos centros de datos). Estos equipos, a los que cada vez se les demanda mayores prestaciones, funcionan alimentados por energía eléctrica, resultando en muchos casos el principal gasto que repercute en este tipo de actividades. A modo de ejemplo, cada vez que accedemos a Google para realizar una búsqueda, o entramos en la red social Facebook no somos conscientes de la cantidad de energía eléctrica que se está consumiendo con nuestra simple acción. No sólo se debe contabilizar la energía del PC desde el que se hace el acceso, sino que principalmente se debe considerar toda la potencia consumida en los centros de datos y servidores de estas empresas.

Simultáneamente, cientos de miles de usuarios acceden a estos servicios desde la web, y este tráfico exige cantidades ingentes de ordenadores. La alimentación de estos ordenadores requiere un suministro continuo y elevado de corriente eléctrica. Además, dado que el funcionamiento de los equipos electrónicos disipa calor es necesario refrigerar estos sistemas, lo que constituye un suministro adicional de energía eléctrica. Este enorme consumo supone una agresión severa al medio ambiente, además de un elevadísimo gasto. Por este motivo, las principales empresas del sector han iniciado políticas agresivas para mejorar la eficiencia energética de sus centros de datos y servidores. Un ejemplo es Google, que inició hace diez años una política de optimización de consumo en sus servidores, llegando a crear el centro de datos con mejores métricas de sostenibilidad del planeta. Los centros de datos de Google consumen cinco veces menos energía en su alimentación y refrigeración que instalaciones convencionales similares. Este es un claro ejemplo de cómo se puede mejorar de forma evidente la eficiencia energética de un sistema de TI de elevada complejidad con políticas adecuadas de diseño y funcionamiento.

Otro ejemplo es la red social Facebook, que ha contratado una empresa especializada en optimizar el consumo eléctrico de los centros de datos, *Power Assure* ([www.powerassure.com](http://www.powerassure.com)). *Power Assure* proporciona *software* para monitorizar el consumo de los servidores y apagar los servidores si están inactivos o encenderlos si es necesario. Con esto se producen ahorros de energía de hasta un 80%.

A continuación vamos a detallar cuál es la situación actual de los dos puntos clave que se han mencionado relacionados con el consumo energético de los equipos TI: el consumo de los circuitos integrados propiamente dicho y el aumento de la temperatura en la superficie del chip.

### 3.1.1.1 El problema del consumo en las tecnologías CMOS submicrónicas

Todos los equipos electrónicos tienen el denominador común de incluir circuitos integrados. En la actualidad, las tecnologías de fabricación han conseguido reducir hasta tamaños increíblemente pequeños las geometrías que se utilizan para fabricar los circuitos integrados. Curiosamente, se ha cumplido hasta ahora de forma estricta la conocida Ley de Moore, formulada en 1965 por un co-fundador de Intel, Gordon Moore [6]. Moore afirmó que el número de transistores que se pueden integrar en un circuito integrado se puede doblar cada dos años. Esta predicción se ha cumplido durante casi 50 años, como se puede observar en la Figura 3.1 para el caso de los microprocesadores de Intel. Se ha llegado a lo que se denominan las tecnologías sub-micrónicas, en las que la longitud del canal de los transistores CMOS es muy inferior a la micra. De hecho, uno de los principales fabricantes del mundo, TSMC (Taiwan Semiconductor Manufacturing Company, [www.tsmc.com](http://www.tsmc.com)) ofrece un proceso de fabricación con tecnología de 40 nm. Por otro lado, Intel ya ha probado tecnología de 32 nm ([www.intel.com/technology/architecture-silicon/32nm](http://www.intel.com/technology/architecture-silicon/32nm)) mediante la fabricación de memorias SRAM.

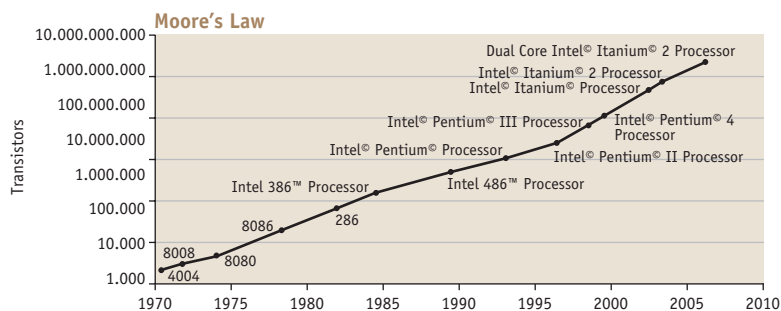


FIGURA 3.1. Verificación de la ley de Moore en los microprocesadores de Intel desde 1970.

Fuente: Intel.

Estas increíbles densidades de integración presentan algunas importantes desventajas, como son acoplamiento entre conexiones, ruido *crosstalk*, o problemas en la verificación de la integridad de las señales. Las dimensiones de las geometrías utilizadas son tan pequeñas que las variaciones de proceso toman ahora un papel determinante en la caracterización y diseño de los circuitos electrónicos. Pero sobre todo, el problema principal de las tecnologías sub-micrónicas es la aparición de valores de consumo muy elevados. Por un lado, la enorme cantidad de transistores que se concentran en un milímetro cuadrado provocan un elevado consumo cuando están en funcionamiento. Es el denominado consumo dinámico, debido a la carga y descarga de las capacidades internas del circuito cuando los transistores conmutan. Este consumo era el principal en los circuitos integrados CMOS hasta hace unos años, cuando los procesos de fabricación alcanzaron las dimensiones sub-micrónicas. Por otro lado, en este tipo de tecnologías, comenzó a aparecer una componente más que significativa del consumo estático, que se debe a las corrientes de fugas y a las corrientes sub-umbrales [7].

Como se ve en la Figura 3.2, según se alcanzan fabricaciones con dimensiones de puerta por debajo de la micra (en 1995) los valores de consumo estático comienzan a tomar importancia, llegando a sobrepasar el consumo dinámico en 2005. Esto nos lleva a densidades de potencia dentro de un chip completamente inabordables, tanto desde el punto de vista de las fuentes de alimentación como por los sistemas de refrigeración. Esta situación ha hecho necesario definir estrategias de bajo consumo a todos los niveles para mitigar la clara tendencia de aumento de consumo de energía:

A nivel tecnológico, destaca la creación de nuevos dieléctricos denominados de “baja K”, que prácticamente eliminan las fugas entre puerta y óxido. Por ejemplo, Intel utiliza una tecnología de 45 nm que incluye como dieléctrico un nuevo material de alta K basado en la utilización de hafnio, que permite reducir aún más las dimensiones de los dispositivos y bajar de forma significativa el consumo estático a través del aislante de la puerta del transistor CMOS.

A nivel de circuito se han planteado numerosas estrategias de reducción de consumo dinámico,  $P_{\text{din}} \propto f C_L V_{\text{DD}}^2$ , que como se ve depende de la tensión de alimentación al cuadrado, de la capacidad de carga y de la frecuencia de conmutación del circuito. Entre las múltiples técnicas desarrolladas cabe destacar: escalado de tensión de alimentación, escalado de frecuencia, bloqueo de la red de reloj o reducción de conmutaciones parásitas o *glitching*.

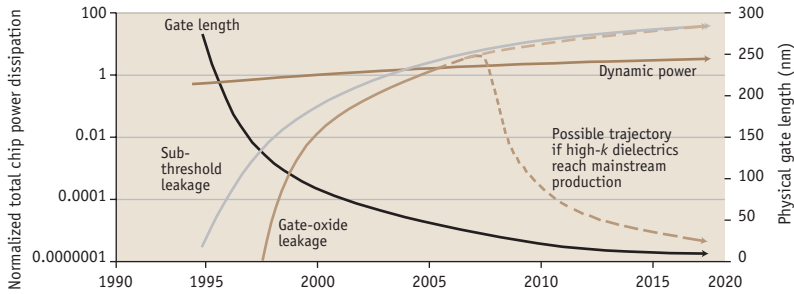


FIGURA 3.2. *Prospectiva de evolución del consumo estático y dinámico en tecnologías CMOS hasta 2020.*

Fuente: [7].

- A nivel de arquitectura se han diseñado también numerosas estrategias de reducción de consumo, como puede ser la definición de islas con diferentes tensiones de alimentación (se pueden incluso apagar), o la utilización de memorias de bajo consumo (con células *drowsy*), y el apagado selectivo de unidades. En procesadores, las arquitecturas multi-core, multi-thread y *clusters* son arquitecturas que facilitan el balance de carga con objetivos de optimización de consumo o térmica. Para ello se deben coordinar *hardware* y *software* para que en función de las características particulares de la carga en un momento dado se puedan ajustar la frecuencia y tensión de cada uno de los cores/sub-arquitecturas (cluster, unidad funcional) involucrados.
- A nivel de sistema se habla de **gestión dinámica de potencia**, de forma que se puede controlar el estado de un sub-sistema poniéndolo en diferentes estados con diferentes niveles de requerimiento de energía. Durante los períodos de inactividad se deben mantener activos los elementos críticos del sistema, mientras que se pueden pasar a modo de descanso (*sleep*) el resto. El conjunto de estados de bajo consumo permiten jugar al sistema operativo con la configuración óptima de componentes que mantiene activos y el tiempo que tarda en recuperarse desde un estado de bajo consumo. Normalmente se realiza la gestión dinámica de potencia mediante un gestor global y a nivel de *software*, pero el *hardware* debe proporcionar los mecanismos oportunos para el correcto funcionamiento de la gestión dinámica de potencia, como se especifica en la interfaz ACPI. Este enfoque se verá con mayor profundidad en el apartado 3.1.5.

Todas estas estrategias son necesarias para resolver el problema del consumo en las tecnologías CMOS actuales, por lo que se deben aplicar simultáneamente. Sin embargo, los grandes ahorros de energía suelen ir asociados a estrategias de reducción de consumo realizadas desde un alto nivel de abstracción.

### 3.1.1.2 El problema de la gestión térmica en circuitos integrados

El problema del elevado consumo de los circuitos integrados actuales (fabricados con tecnologías sub-micrónicas que permiten una elevadísima densidad de integración) no es sólo una cuestión relacionada con las fuentes de alimentación de los mismos. Existe un aspecto adicional que no se puede despreciar, y es el aumento de la densidad de potencia dentro del circuito integrado y en particular su distribución no homogénea, lo que da lugar a la aparición de puntos calientes. Las consecuencias negativas del calentamiento de los circuitos son múltiples, destacando claramente las dos siguientes:

- Degradación en las prestaciones y aumento de consumo estático al ser las corrientes de fugas proporcionales a la temperatura. El aumento de fallos por las elevadas temperaturas que se alcanzan, sobre todo en puntos concretos del espacio y del tiempo, es significativo (electromigración, rotura de dieléctrico, migración de tensiones, etc.). Esto repercute en bajas tasas de fiabilidad, con el consiguiente encarecimiento del circuito y la necesidad de estrategias de resolución de fallos (por ejemplo, redundancia mediante duplicación de elementos de la arquitectura, lo que provoca un mayor consumo).
- Elevación de la temperatura del sistema electrónico, lo que exige costosos dispositivos de refrigeración. En los microprocesadores actuales el coste del encapsulado y sistemas de refrigeración es más elevado que el propio circuito integrado en silicio. Además, representan un incremento sustancial del consumo de energía eléctrica del sistema completo.

Se impone por lo tanto una doble estrategia para minimizar el impacto de las elevadas temperaturas en los circuitos integrados. En primer lugar, la denominada **gestión térmica**, es la encargada de realizar el diseño orientado a la optimización térmica para asegurar el funcionamiento fiable del circuito. Por consiguiente, su labor consistirá en extraer el calor que se genera en los circuitos electrónicos hasta el ambiente exterior. Para ello será necesario utilizar nuevas herramientas con modelado térmico que den soporte al diseñador. En segundo lugar, se deben implementar sistemas de **gestión dinámica de temperatura** (DTM, *Dynamic Thermal Management*) que permitan en un equipo electrónico complejo redistribuir la carga para regular la temperatura y evitar así la aparición de puntos calientes, tanto en el tiempo como en el espacio. En la Figura 3.3 se puede ver un ejemplo de cómo funciona la gestión dinámica de temperatura: se trata del banco de registros de un microprocesador complejo. Las políticas de DTM se encargan de aliviar la carga de los elementos afectados por estos recalentamientos tan fuertes de forma que se pueda distribuir de forma homogénea la temperatura en toda la superficie del chip. En este caso, si se detecta un patrón de accesos frecuentes y sucesivos a una zona de registros determinados se puede intentar repartir la asignación de variables a registros distribuidos en todo el banco de registros y así no se concentran en una zona única, con la consiguiente eliminación de un punto caliente y la correspondiente bajada de temperatura.

Todas las técnicas relacionadas con la optimización térmica se revisarán en el apartado 3.1.6.

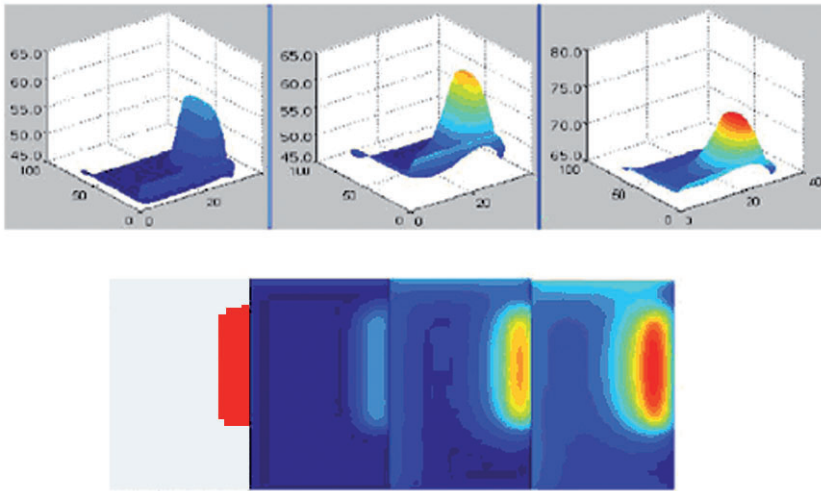


FIGURA 3.3. *Modelado de temperatura en el banco de registros de una arquitectura VLIW.*  
Fuente: [47].

### 3.1.2 El ordenador personal

Es la estrella de los equipos TI. Está presente en todas las empresas, oficinas e incluso en casi todos los hogares, a pesar de las primeras previsiones que suponían que el ordenador personal no tendría nunca una implantación masiva en ellos. Por lo tanto, es una de las principales fuentes de consumo y merece atención especial cuando se analiza la eficiencia energética de los equipos TI.

Ordenadores y monitores consumen entre el 40% y el 60% de la energía suministrada a una oficina [8]. Este consumo es fácilmente reducible mediante técnicas de gestión de potencia, pues se da el caso de que la mayoría de los ordenadores tienen amplios tiempos de inactividad en los que continúan conectados y funcionando. Si un ordenador no dispone de técnicas de gestión de potencia, en media dedica un 30% de su consumo a periodos de inactividad, y un 40% del consumo se produce fuera del horario de oficina [9]. Por lo tanto se ha impuesto la implementación de sistemas eficientes de gestión de potencia que permitan reducir el consumo de un ordenador en función del nivel de actividad que esté realizando.

Pero antes de profundizar en las medidas de reducción de consumo existentes para ordenadores personales es importante realizar un análisis de cómo se distribuye la



energía entre los diferentes componentes de un PC. Este análisis no es sencillo, puesto que la energía que requieren ordenadores y monitores depende de dos factores:

- La energía necesaria para que funcione el PC, es decir, la corriente eléctrica que consume.
- El patrón de uso: cómo y cuándo se utiliza el PC.

Por este motivo es muy difícil realizar una comparativa entre los múltiples estudios que se han realizado, tanto por las grandes empresas fabricantes como por centros de investigación trabajando en la mejora de la eficiencia energética. A continuación se recogen algunos datos recientes que se han considerado de interés respecto a los consumos medios y desglose de consumos de ordenadores personales, tanto en equipos de sobremesa como en portátiles.

### 3.1.2.1 Análisis del consumo en un ordenador personal de sobremesa

Contrariamente a lo que se pudiera pensar, el consumo del microprocesador (auténtico cerebro del ordenador) no es el dominante. Se pierde, en primer lugar, gran cantidad de energía eléctrica en las conversiones de corriente (AC/DC y DC/DC), resultando la principal fuente de ineficiencia energética, como se ve en la Figura 3.4. Además, aunque en esta figura no aparece reflejado, la sección de gráficos del ordenador no se queda corta. Tanto las modernas y poderosas tarjetas de gráficos, como los monitores/pantallas LCD se llevan una parte sustancial de la energía que consume un PC.

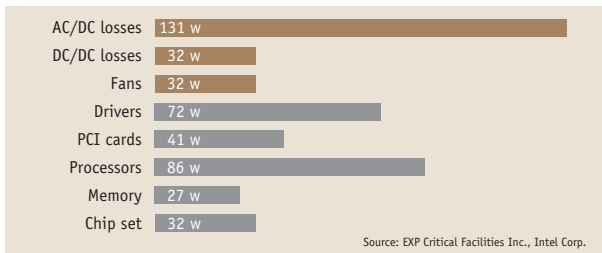


FIGURA 3.4. Consumo por componente en una placa base con un procesador dual típico 2U de 450W. Fuente: Intel.

Intel ha publicado en el *Intel Technology Journal* en Noviembre de 2008 [10] un análisis detallado del consumo de la electrónica de un ordenador de sobremesa de última generación (incluyendo procesadores Intel Core™ 2 Duo/Quad). No se utilizó en la configuración del ordenador una tarjeta de gráficos independiente por el elevado consumo de energía que requieren, y porque en la mayoría de los usos de oficina de un PC no es necesaria la potencia de procesamiento de gráficos que presentan estas tarjetas.

Para el estudio se aplicó un nivel de utilización del PC determinando por el modelo EEP (*Energy-Efficient Performance*) 2.0 Workday (Figura 3.5). El modelo EEP 2.0 Workday, considera jornadas de trabajo de nueve horas ejecutando de forma alternada el *benchmark* Sysmark 2007 (que incluye periodos de inactividad), y descansos del usuario (algunos de larga duración que llevan al PC al estado de descanso-*sleep*).

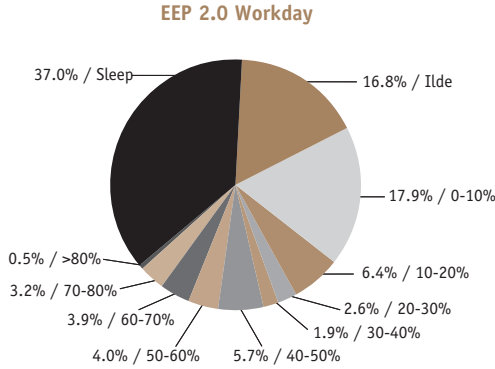


FIGURA 3.5. *Detalle de actividad de un ordenador de sobremesa.*

Fuente: [9].

En el estudio todos los componentes electrónicos del ordenador de prueba (Figura 3.6, arriba) se alimentan directamente de la fuente de alimentación o mediante reguladores de tensión (VRs) de la placa madre, contándose hasta 14 reguladores independientes. Evidentemente, con semejante nivel de conversión las pérdidas AC/CD y DC/DC son una de las principales fuentes de ineficiencia energética de un ordenador personal, como ya se ha mencionado. Hay componentes que requieren hasta tres etapas de conversión desde AC hasta su nivel final de DC, con sus correspondientes pérdidas.

Los resultados de consumo medidos se pueden ver en el gráfico de la Figura 3.6, abajo. Se puede observar cómo las pérdidas de conversión son la principal fuente de consumo (36%), seguidas por los principales componentes del sistema: microprocesador (18%), controlador de gráficos y memoria, GMCH (13%), y discos duros SATA (11%). Si se suma el consumo de todos los componentes electrónicos no se llega al 40%.

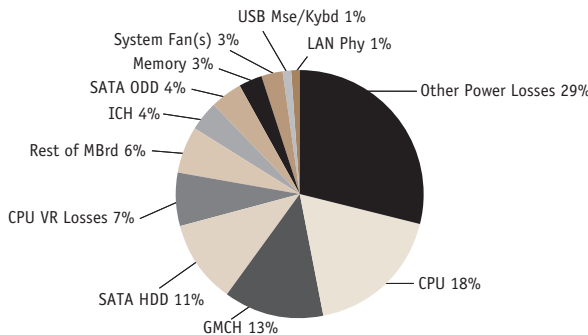
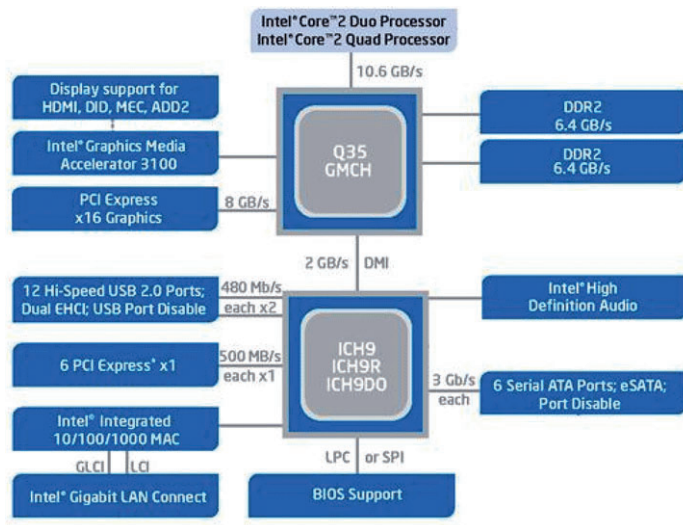


FIGURA 3.6. Distribución del consumo en un PC de sobremesa con un procesador Intel Core™ 2 Quad. Fuente: [9].

Resulta complicado comparar el consumo de diferentes ordenadores personales, pues no se realizan estudios por la complejidad asociada mencionada. Por un lado, la variedad de configuraciones es muy grande (microprocesadores, memoria, tarjetas de gráficos, monitores/LCD, etc.). Además, las condiciones de carga y de aplicaciones instaladas hacen que las combinaciones posibles sean innumerables. Por ello es realmente complicado realizar un conjunto de medidas significativas, aunque sí disponemos de algo de información actualizada.

La Universidad de Pensilvania lleva estadísticas del consumo de una serie de equipos *hardware* con que cuenta en su campus. En la Tabla 3.1 se ha reproducido la lectura de consumos que se realizó en Abril de 2008, resultando estos datos de gran interés. Para la medida se mantuvo la conexión de red de los ordenadores y la resolución de pantalla

original. Para considerar condiciones de “uso normal” se utilizaron las últimas versiones de los clientes gráficos funcionando en modo de pantalla completa. En las especificaciones básicas se ha empleado el calificativo “clean” y “dirty” para especificar la cantidad de aplicaciones, *middleware* y datos cargados en el momento de la medida.

<i>Marca y modelo</i>	<i>Especificaciones básicas</i>	<i>Off (enchufado)</i>	<i>Boot (pico)</i>	<i>Uso normal (rango)</i>	<i>Sleep</i>
<b>Apple</b> iMac/G5 20-inch (comprado inicio 2005)	2.0 GHz PowerPC G5, 1.0 GB RAM, 250 GB/7200 RPM hard drive, Mac OS 10.3.9 (clean)	1	110	112-113	4
<b>Apple</b> iMac/G5 20-inch (comprado inicio 2005)	2.0 GHz PowerPC G5, 1.0 GB RAM, 250 GB/7200 RPM hard drive, Mac OS 10.4.9 (clean)	1	135	105-106	3
<b>Apple</b> iMac/Intel 17-inch (comprado inicio 2006)	1.83 GHz Core Duo, 1.0 GB RAM, 160 GB/7200 RPM hard drive, Mac OS 10.4.9 (clean)	1	72	60-61	3
<b>Apple</b> PowerMac G5 w/20-inch Apple LCD (comprado mediado 2005)	dual 2.0 GHz PowerMac G5, 1.5 GB RAM, 160 GB/7200 RPM hard drive, Cinema Display, Mac OS 10.4.9 (dirty)	1	52	48-49	2
<b>Dell</b> OptiPlex 745 w/19-inch Dell LCD (comprado mediado 2006)	Core 2 Duo, 2.0 GB RAM, 100 GB/7200 RPM hard drive, UltraSharp 1907FPV display, Windows Vista Enterprise (clean)	1	145	111-133	2
<b>Dell</b> OptiPlex 740 w/19-inch Dell LCD (comprado final 2006)	Athlon X2, 2.0 GB RAM, 100 GB/7200 RPM hard drive, UltraSharp 1907FP display, Windows XP Professional SP2 (clean)	1	151	108-138	3
<b>Dell</b> OptiPlex GX620 w/17-inch Dell LCD (comprado mediado 2005)	3.6 GHz Pentium 4 521, 1.0 GB RAM, 160 GB/7200 RPM hard drive, UltraSharp 1704FPV display, Windows XP Professional SP2 (clean)	2	167	164-170	5
<b>Dell</b> OptiPlex GX270 w/17-inch Dell LCD (comprado mediado 2003)	Pentium 4, 1.0 GB RAM, 100 GB/7200 RPM hard drive, UltraSharp 1703FP display, Windows XP Professional SP1 (clean)	6	150	104-162	4
<b>Dell</b> OptiPlex GX260 w/17-inch Dell LCD (comprado mediado 2003)	2.0 GHz Pentium 4, 512 MB RAM, 40 GB/7200 RPM hard drive, UltraSharp 1703FP display, Windows XP Home SP2 (clean)	1	93	104-162	5
<b>IBM</b> ThinkCentre M52 w/19-inch IBM LCD (comprado mediado 2006)	2.8 GHz Pentium D 820, 1.0 GB RAM, 160 GB/7200 RPM hard drive, UltraSharp 1703FP display, Windows Vista Enterprise (clean)	1	200	156-194	1

**TABLA 3.1.** *Consumo de ordenadores de sobremesa (W), abril 2008.*

*Fuente:* University of Pennsylvania [11].

Podemos extraer interesantes conclusiones tras analizar esta tabla. En primer lugar, se puede observar cómo la preocupación por el consumo hace que los ordenadores actuales estén más preparados para el ahorro de energía. Los valores más elevados de consumo apagado y en estado *sleep* corresponden a los ordenadores comprados en 2003, mientras los más recientes presentan todos unos valores de consumo muy reducidos en estas circunstancias.

Por otro lado, comparando el consumo normal de dos ordenadores equiparables (Dell y Apple de 2006, ambos con procesador similar y con pocas aplicaciones instaladas), se aprecia claramente que el consumo de los ordenadores Apple es menor que el de Dell, y lo mismo se puede extrapolar a las otras marcas analizadas (IBM). Cabe destacar que todos los ordenadores disponen de pantalla LCD, pues el consumo de los monitores CRT sería mucho más elevado, como se verá a continuación.

### 3.1.2.1.1 Monitores/LCDs

Es bien conocido el elevado consumo de energía eléctrica por los grandes monitores CRT ya prácticamente en desuso. En la Tabla 3.2 aparecen los consumos típicos de algunos monitores y pantallas LCD. Como se puede ver, existe una diferencia más que significativa en consumo entre ambos a favor de los LCD, a pesar de las grandes variaciones que se pueden producir entre los diferentes fabricantes y modelos. Una pantalla LCD media requiere 15 W si está activa, 1,5 en modo de bajo consumo y 0,5 W apagada [12]. Evidentemente, el consumo energético tanto de un LCD como de un monitor será proporcional a su tamaño (en particular su consumo en activo). Otro aspecto que merece la pena mencionar es la variación del consumo con el nivel de intensidad del brillo del LCD. La Figura 3.7 muestra la variación de consumo del LCD de un portátil IBM ThinkPad R40 de 14" en función del brillo aplicado. Se puede observar que dependiendo de este valor los consumos aumentan de forma clara, llegando incluso a duplicarse su valor. En este estudio se han analizado todos los parámetros involucrados en la configuración del LCD, y se ha llegado a la conclusión de que ningún otro parámetro tiene un efecto tan significativo.

Descripción	Consumo (W)			Fuente
	Activo	Bajo consumo	Off	
CRT	85	5	0,5	Webber et al (2006)
CRT 17"	80	0-15	0	Bluejay (2006)
CRT 15"-21"	76	7	1	Roberson et al (2002)
LCD 15"-18"	30	2	2	Roberson et al (2002)
LCD	15	1,5	0,5	Webber et al (2006)
LCD 17"	35	0-15	0	Bluejay (2006)

TABLA 3.2. Valores de consumo típicos en monitores CRT y pantallas LCD de diferentes tamaños.

Fuente: [8].

En muchas oficinas y centros de trabajo se han sustituido ordenadores obsoletos por otros más modernos manteniendo los monitores antiguos. Esto es una política de ahorro errónea, pues en la actualidad el ahorro de energía que proporcionan las nuevas pantallas planas compensa con creces el desembolso asociado a la renovación de los monitores.

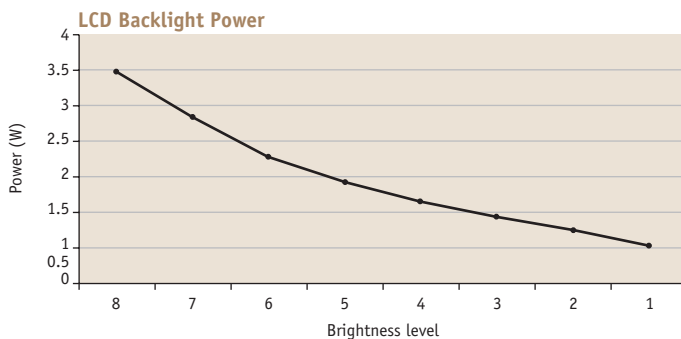


FIGURA 3.7. Consumo de un LCD de 14" integrado en un portátil IBM ThinkPad R40 en función del nivel de brillo.

Fuente: [12].

### Pantallas OLED

En los últimos años se ha revolucionado el mercado de las pantallas de ordenador con la aparición de la tecnología OLED (*Organic Light Emitting Diode*), basadas en la utilización de diodos LED cuya capa electro-luminiscente se hace con un compuesto orgánico (un polímero que se ilumina al aplicarle un voltaje).

La ventaja principal de este tipo de pantallas frente a las tradicionales de cristal líquido (LCD) es que los diodos OLED no necesitan retro-iluminación, por lo que el consumo de energía que requieren es muy inferior. Por este mismo motivo estas pantallas presentan menor grosor, por lo que son más ligeras e ideales para equipos portátiles. Además presentan mejores rangos de colores, brillo y ángulo de visión, dado que los píxeles emiten luz directamente. Finalmente, el tiempo de respuesta de estas pantallas es mucho menor que el de los LCDs.

El principal problema asociado a este tipo de dispositivos es que se degradan con el uso (muy en particular los LEDs relacionados con el color azul), por lo que presentan un tiempo de vida limitado. Lógicamente, los principales fabricantes (Samsung y Toshiba) centran sus labores investigación en este punto, llegándose en la actualidad a resultados muy prometedores. De aproximadamente 10.000 horas de tiempo de vida que tenían los primeros modelos se ha conseguido extender su duración hasta las 40.000 de implementaciones actuales [14].

En 2002 Samsung puso en producción la primera pantalla basada en tecnología OLED con 256 colores. En la actualidad, aunque se pueden fabricar pantallas OLED de hasta 40 pulgadas (Samsung, Octubre de 2008), podemos encontrar este tipo de pantallas principalmente en aplicaciones menores: teléfonos móviles, reproductores MP3, consolas, etc. aunque ya se pueden ver prototipos netbooks con este tipo de pantalla (Sony Vaio).

#### 3.1.2.1.2 Disco Duro

Los sistemas de almacenamiento son otro punto crítico en los equipamientos para TI actuales, pues cada vez se demanda mayor capacidad y velocidad en el acceso a los datos. Los discos duros son el sistema de almacenamiento que más se utiliza actualmente, por lo que merece la pena que analicemos cuáles son las implicaciones de los mismos en el consumo y temperatura de los sistemas globales dependiendo de los modos de operación que presentan.

El consumo de los discos duros no es para nada despreciable, sobre todo en el arranque del sistema. Por ejemplo, el disco Seagate Barracuda 7200.8 requiere hasta 2,5 A de la línea de alimentación de 12 V. Si a esto le sumamos 3 W que extrae desde la línea de +5 V se puede llegar a un consumo de pico en el arranque de 33 W. Si en lugar de sólo un disco duro hablamos de un equipo con dos o más empezamos a hablar de cifras muy comprometidas.

Esto ha hecho que los fabricantes de discos duros comiencen a tener en cuenta el consumo en sus productos, creando casi todos una nueva gama denominada “verde” o “ecológica”. Así, Western Digital ha sacado una línea denominada *Caviar Green* cuyos discos se caracterizan por reducir el consumo de energía sin penalizar en las prestaciones. Esto es cierto para la última línea de discos duros que ha sacado con este calificativo, porque en los primeros discos *verdes* que sacó al mercado la pérdida de prestaciones era significativa. La misma política ha seguido Samsung con su línea de discos duros *EcoGreen*, o Hitachi con la línea *eco-friendly* Deskstar y Travelstar. En la Figura 3.8 aparecen los resultados de consumo y prestaciones por vatio obtenidos probando diferentes discos duros de características similares. Se puede observar cómo el menor consumo corresponde al disco *WD Caviar Green*, lo que no penaliza para nada sus prestaciones, como se ve en la Figura 3.8.

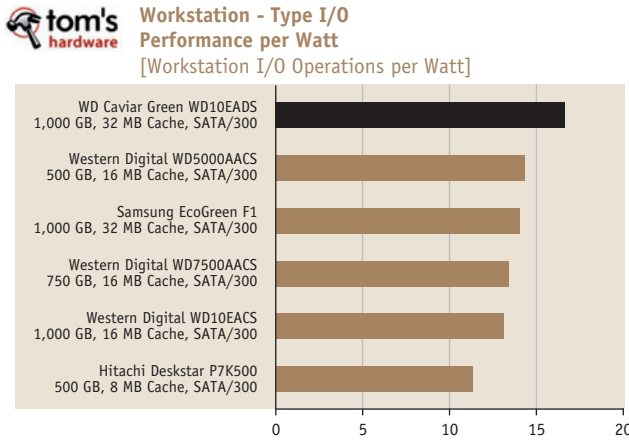
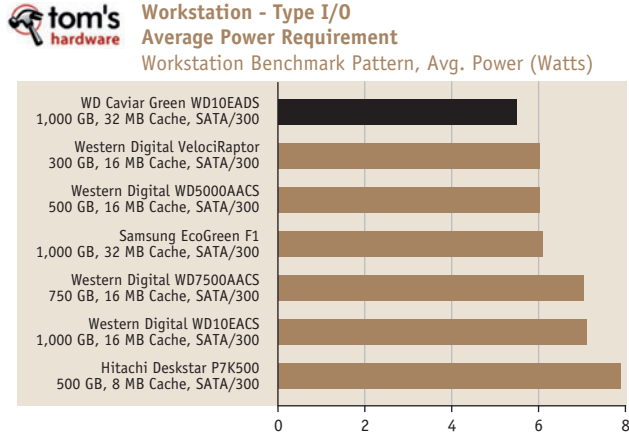


FIGURA 3.8. Comparación de consumo medio y prestaciones por vatio del disco WD Caviar Green y similares.

Fuente: [15].

Por otro lado, las elevadas temperaturas que pueden alcanzar los equipos de TI durante su funcionamiento impactan directamente en la fiabilidad y duración del disco duro. Un aumento de 5°C en la temperatura de un disco duro tiene el mismo efecto en la fiabilidad del mismo que un cambio en la carga de trabajo que soporta del 10 al 100%. Por esto, un descenso de un grado en la temperatura equivale a un aumento del 10% en su tiempo de vida. Por este motivo tanto servidores como centros de datos invierten una parte sustancial de su presupuesto en refrigerar los sistemas de almacenamiento de datos. Pero en la mayoría de los ordenadores personales no se presta atención ni al consumo ni al calentamiento debido a los discos duros, algo que debe cambiar en un futuro inmediato.



## Discos de estado sólido

Los problemas de consumo y temperatura de los discos duros tradicionales no son los únicos. Si se considera que incluyen partes mecánicas resulta evidente que su fiabilidad es baja y que además presentan un nivel de ruido bastante elevado. Por estos motivos se están buscando otras soluciones para el almacenamiento masivo de datos, lo que implica un cambio total de tecnología.

En este sentido surgen los discos en estado sólido (SSD) caracterizados por presentar mayor velocidad, menor calentamiento, mayor fiabilidad, no hacen ruido y consumen menos energía que los discos duros tradicionales. Sin embargo, presentan dos serios inconvenientes: la capacidad y el coste. Los actuales SSD tienen una capacidad máxima de 320 GB (de Fusion IO, aunque Toshiba anuncia SSDs de 512 GB para 2009) y cuestan por gigabyte casi 10 veces más que los discos duros que habitualmente se instalan en los ordenadores personales. Y otro problema importante que presentan es un tiempo de vida menor que el de los discos convencionales.

Sin embargo, se espera que su precio baje, pues la demanda está aumentando de forma continua, impulsada sobre todo por los nuevos portátiles de bajo peso (*netbooks*). El problema es que este cambio tecnológico no es rentable, al menos por el momento, para los grandes fabricantes de discos duros.

### 3.1.2.1.3 Fuentes de alimentación

La fuente de alimentación es el componente de un PC al que probablemente se ha dedicado menos atención en los últimos años. Sin embargo, las grandes necesidades energéticas de los sistemas TI actuales han hecho que la fuente de alimentación sea capaz de entregar elevadas corrientes en momentos determinados del funcionamiento del equipo (en muchos casos se demanda una potencia superior a los 500 W). Estos exigentes requerimientos hacen que el diseño de las fuentes de alimentación sea complejo y requiera elementos de refrigeración propios, lo que incrementa su coste y el nivel de ruido asociado al equipo.

Además, como se ha visto en la Figura 3.4, la mayor causa de ineficiencia energética en un ordenador se debe a las pérdidas en la conversión de energía. Estas pérdidas se deben a que la fuente realiza una transformación AC/DC y parte de la energía que extrae de la red se convierte en calor. El fabricante proporciona información sobre estas pérdidas mediante el valor de eficiencia en tanto por ciento que representa la energía producida respecto a la energía consumida por la fuente. Así por ejemplo, una fuente de 350 W con una tasa de eficiencia del 70% consumirá 500 W de la red eléctrica. Este valor de eficiencia es orientativo, pues no es constante al depender de la carga que tenga la fuente de alimentación. Por ello algunos fabricantes proporcionan valores mínimo, máximo y medio. Resulta por lo tanto interesante utilizar fuentes con la

menor variación posible de la eficiencia en función de la carga, pues así garantizaremos que el sistema está optimizado independientemente del rango de corrientes que demande en su funcionamiento.

Como conclusión, interesa utilizar fuentes de alimentación adecuadas para el consumo de pico del sistema que nutren (cuanto mayor es la fuente, mayor será su consumo y sus pérdidas) con los mejores valores de eficiencia posibles (alta eficiencia y con poca variación de la eficiencia con la carga). Además, dado que son una fuente de calentamiento del sistema, deben incluir elementos de ventilación bien situados que ayuden a reducir el coste de refrigeración del sistema.

### 3.1.2.2 Análisis del consumo en un ordenador portátil

Los ordenadores portátiles se han diseñado eficientes, energéticamente hablando, desde sus orígenes. No por cuestiones medioambientales, sino por la limitación del tiempo de vida de sus baterías. Además de por su diseño para bajo consumo, los ordenadores portátiles son más eficientes por los siguientes motivos:

- Sus componentes electrónicos requieren menor consumo de corriente eléctrica.
- El paso a modos de bajo consumo lo realizan de forma más rápida que los ordenadores de sobremesa.
- Los usuarios los apagan o desconectan con mayor frecuencia.

En la Figura 3.9 se observa claramente esta diferencia de consumo entre ordenadores portátiles y de sobremesa.

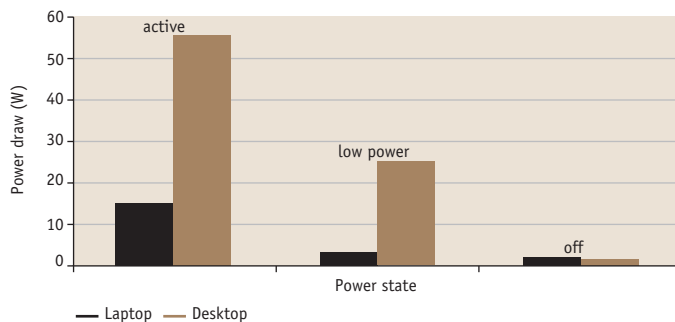


FIGURA 3.9. Comparación del consumo de ordenadores de sobremesa y portátiles.

Fuente: [8].

La Universidad de Pensilvania también tiene hechas medidas de consumo en ordenadores portátiles, en este caso con la conexión Wi-Fi encendida. Los resultados de la medida más reciente (Abril 2008) están en la Tabla 3.3. Estas medidas corroboran los comentarios anteriores: el consumo de los portátiles es mucho menor que el de los

ordenadores de sobremesa. Merece la pena destacar cómo el consumo de los portátiles más recientes es menor, resultado de las estrategias de ahorro de consumo desarrolladas a todos los niveles en este tipo de ordenadores.

Marca y modelo	Especificaciones básicas	Uso				
		Off (enchufado)	Boot (pico)	normal (rango)	Sleep	Carga Batería
<b>Apple</b> MacBook Pro 15-inch (comprado mediados 2006)	2.16 GHz Core Duo, 2.0 GB RAM, 100 GB/7200 RPM hard drive, Mac OS 10.4.9 (dirty)	1	59	26-38	2	76
<b>Apple</b> MacBook Pro 15-inch (comprador inicio 2008)	2.5 GHz Core 2 Duo, 4.0 GB RAM, 250 GB/5400 RPM hard drive, Mac OS 10.5.2 (dirty)	1	52	No medido	1	41
<b>Dell</b> Latitude D420 12-inch (comprado mediados 2006)	1.06 GHz Core Solo, 1.0 GB RAM, 40 GB/4200 RPM hard drive, Windows Vista Ultimate (clean)	3	28	23-26	1-4	51
<b>Lenovo</b> ThinkPad X41 Tablet 12-inch (comprador final 2005)	1.5 GHz Pentium M, 1.5 GB RAM, 40 GB/4200 RPM hard drive, Windows XP Tablet SP2 (dirty)	1	24	19-20	2	51
<b>Lenovo</b> ThinkPad X300 13-inch (comprador inicio 2008)	1.2 GHz Core 2 Duo, 2.0 GB RAM, 64 GB solid state drive, Windows Vista Business SP1 (dirty)	1	25	No medido	1	38-44

TABLA 3.3. Consumo de ordenadores portátiles (W), abril 2008.

Fuente: University of Pennsylvania [16].

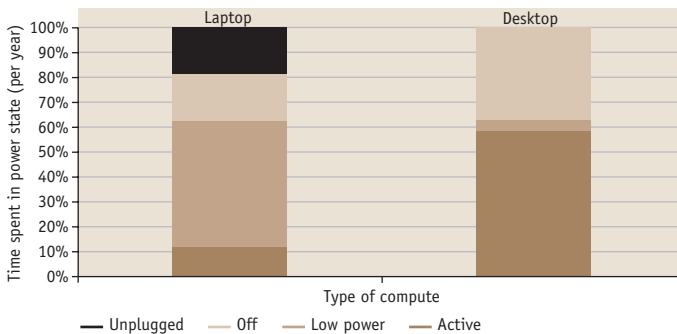


FIGURA 3.10. Utilización de los estados de baja energía en ordenadores portátiles y de sobremesa.

Fuente: [8].

De hecho, la experiencia adquirida en el diseño de sistemas portátiles eficientes energéticamente se evidencia en el gráfico de la Figura 3.9, en el que podemos ver cómo el uso de los ordenadores portátiles es más racional desde el punto de vista energético. En la gráfica se observa cómo se utilizan los estados de baja energía del sistema de forma más exhaustiva en ordenadores portátiles que en sobremesa.

Merece la pena mencionar la aparición de los mini-ordenadores portátiles o *netbooks*, ordenadores de bajo peso, bajo coste y bajo consumo con amplias capacidades de conexión (web, e-mail, conexión remota) y aplicaciones básicas. Han surgido en los últimos años para dar soporte a usuarios con elevada movilidad y con necesidad de conexión a equipos que les dan soporte para su tele-operación. Sus características habituales son:

- Peso inferior a 1,5 Kg.
- Pantalla LCD de 7 a 10 pulgadas.
- Microprocesador de muy bajo consumo, tipo Intel Atom.
- Disco duro de estado sólido (SSD).
- Soporte de red wireless.
- Coste inferior a 350€.

Los *netbooks* constituyen una buena solución para Green IT, pues no sólo son más eficientes energéticamente, sino que se requiere menos energía para su fabricación e incluyen menos componentes tóxicos. Además, para una gran mayoría de usuarios proporcionan “justo lo que necesitan”. Es un hecho que la mayoría de los ordenadores se diseñan para prestaciones que difícilmente se pueden alcanzar con la carga habitual de un trabajo de oficina. Por ello, los *netbooks* resultan una opción muy atractiva para un mercado muy grande: los dos fabricantes principales (Asus y Acer), han anunciado 1,1 millones de unidades vendidas en 2008, y el mercado muestra una clara tendencia alcista para 2009.

### 3.1.3 Optimización del consumo en microprocesadores

Como ya se ha mencionado, el consumo del microprocesador es una fracción importante dentro del consumo de un equipo electrónico. La optimización de este consumo ha sido una cuestión prioritaria para los fabricantes de microprocesadores, por múltiples razones:

- En primer lugar, la eficiencia energética se convierte en una cuestión de ahorro económico, ya que las facturas de electricidad son en la actualidad el gasto principal de la mayoría de las empresas del sector de la Tecnologías de la Información.

- En segundo lugar, al integrarse uno o varios microprocesadores en sistemas portátiles resultó fundamental reducir sus necesidades energéticas de forma que se prolongara el tiempo de vida de las baterías.
- En tercer lugar, las densidades de potencia que se alcanzan en las modernas tecnologías hacen que se produzcan puntos calientes que afectan negativamente a las prestaciones y fiabilidad de los sistemas. Sin técnicas de reducción de consumo es imposible continuar con el aumento de la densidad de integración en los microprocesadores.

Éstos son sólo algunos de los motivos por lo que los microprocesadores actuales se diseñan para dar grandes prestaciones y a la vez ser más eficientes desde el punto de vista del consumo de energía. A continuación vamos a revisar las principales estrategias seguidas por los grandes fabricantes de microprocesadores: Intel, AMD y SPARC.

### 3.1.3.1 Intel

Intel es líder mundial de fabricación y venta de microprocesadores, acaparando a finales de 2007 un 70% del mercado de ordenadores de sobremesa y portátiles, y un 85% de servidores. Intel saca al mercado una nueva arquitectura aproximadamente cada dos años, alternando estos nuevos diseños con la puesta en funcionamiento de nuevos procesos de tecnología de fabricación. Consciente de la necesidad de conseguir sistemas informáticos más eficientes desde el punto de vista energético, inició en 2001 un programa global de reducción de consumo, planteando el anteriormente denominado enfoque holístico, que busca reducir consumo atacando todos los frentes posibles. Como resultado, los diseños de Intel (microprocesadores multi-core) han reducido de forma drástica sus necesidades energéticas en los últimos años aprovechando múltiples técnicas de optimización de consumo que buscan la creación de un desarrollo sostenible. El objetivo es maximizar eficiencia energética manteniendo o mejorando prestaciones. Esto sólo se puede conseguir combinando mejoras a nivel de microarquitectura, tecnología de proceso de silicio, software y sistema, como se ve en la Tabla 3.4.

Tecnología		Chip			Sistema	
Transistor	Interconexión	Circuito	Arquitectura	Encapsulado	Gestión consumo	Software
Segunda generación de Strained Dieléctrico alta-K	Dieléctrico de alta-K dopado con Carbono como aislante entre capas	Body bias Transistores con apagado dinámico Apagado a demanda Reducción activa de consumo Regulación de tensión on-die	Arquitecturas multi-core Técnicas de optimización de consumo: - Power Gating - Macro Fusion - Memorias eficientes	Encapsulados más finos Difusores de calor Encapsulado para reducir puntos calientes Refrigeración líquida	Regulación de tensión Mejora especificaciones consumo en displays Diseño para optimización térmica	Desarrollo de herramientas específicas: Intel V Tune

TABLA 3.4. Estrategias de reducción de consumo aplicadas por Intel a lo largo de todo el proceso de fabricación de un microprocesador.

Fuente: [43].

Un primer hito en la reducción del consumo de Intel fue el diseño y fabricación del Intel® Centrino®, basado en un microprocesador especialmente concebido para aplicaciones portátiles (Intel® Pentium® M), que permitió prolongar en gran medida el tiempo de vida de las baterías de los primeros portátiles (año 2003). Cuatro innovaciones eran las principales causantes de la mejora de prestaciones simultánea con la reducción del consumo de esta arquitectura: predicción de saltos avanzada, fusión de micro-operaciones, bus de sistema optimizado para consumo y gestión dedicada de la pila. Además, se incluyó el sistema *Enhanced Intel SpeedStep® Technology* (EIST), que permite cambiar la tensión y frecuencia de funcionamiento del procesador en tiempo de ejecución, lo que proporciona un considerable ahorro de energía cuando no se precisa una frecuencia de funcionamiento elevada.

La segunda generación del procesador Pentium M se realizó con tecnología de menor tamaño, 90 nm, lo que se tradujo en mejora de prestaciones al proporcionar un aumento de la velocidad de reloj, mejoras de diseño y mayor tamaño de cache, manteniendo el sistema EIST para optimización de consumo. La tercera generación, fabricada con tecnología de 65 nm, ya integró dos cores e incluyó un nuevo sistema de gestión de consumo denominado *Intel® Dynamic Power Coordination*, ofreciendo el doble de prestaciones y eficiencia energética que el Pentium M de la primera generación.

En la actualidad, la principal estrategia de Intel para afrontar los retos de las tecnologías sub-micrónicas actuales y continuar con la tendencia de integración pronosticada por Moore es la utilización de arquitecturas multi-core (múltiples cores de ejecución encapsulados en un único microprocesador). La utilización de arquitecturas multi-core reduce el consumo de la siguiente forma. Dado que el consumo dinámico depende de la tensión de alimentación y de la frecuencia de funcionamiento, si

utilizamos múltiples cores procesadores, cada uno con una ligera reducción en la tensión de alimentación y frecuencia de funcionamiento, se reduce el consumo asociado al core. Pero las prestaciones no tienen por qué empeorar, pues se está aumentando el grado de paralelismo (existen múltiples ejecuciones de forma concurrente). De esta forma se puede llegar a una solución de compromiso global que equilibre prestaciones y consumo de energía.

La táctica inicial desarrollada por Intel para aumentar la eficiencia energética de los portátiles se extendió pronto a todos los segmentos de mercado, creando la microarquitectura Intel® Core™, basada en la utilización de múltiples cores procesadores para aumentar prestaciones y reducir consumo. A mediados de 2006 se sacaron al mercado nuevos equipos de sobremesa, móviles y servidores basados en esta arquitectura:

- El procesador para portátiles Intel® Core™ 2 Duo, que duplicaba prestaciones y reducía un 28% el consumo de la generación anterior.
- El procesador Core 2 Duo para equipos de sobremesa mejoraba prestaciones y eficiencia energética en un 40% con respecto a la generación anterior de procesadores Intel para ordenadores de sobremesa.
- La serie de procesadores para servidores Dual-Core Intel® Xeon® 5100 triplica las cifras de prestaciones por vatio del procesador Intel Xeon con un solo core.
- El procesador Dual-Core Intel Xeon LV 5148 para servidores *blade* en entornos con restricciones de consumo proporciona medidas de 40 W TDP (*Thermal Design Power*) frente a los 110W de muchos chips de servidores.

En la Figura 3.11 se puede ver el resultado de comparar las prestaciones por consumo de varios microprocesadores de Intel al ejecutar los benchmarks Sysmark 2007. Los avances de la generación Core 2 frente a la Pentium 4, de un solo core procesador, son impresionantes. Se puede observar cómo la relación de prestaciones por vatio mejora hasta un 400%.

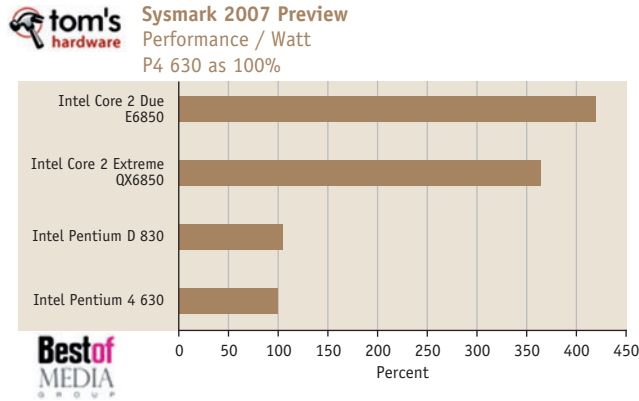


FIGURA 3.11. Comparación de prestaciones por vatio entre procesadores Intel Pentium (mono-core) y las arquitecturas Core 2.

Fuente: [15].

La nueva generación de Intel, Penryn, realizada con tecnología de 45 nm, proporciona resultados aún mejores, como se puede ver en la Tabla 3.5, que recoge información de frecuencia de funcionamiento y consumo de los últimos procesadores de Intel para las diferentes aplicaciones que fueron concebidos (sobremesa, portátil y servidor). Se ha utilizado para la medida de consumo la métrica TDP, *Thermal Design Power*, que representa la máxima cantidad de calor que necesita disipar el sistema de refrigeración del microprocesador.

Equipo destino	Familias de Procesadores	Modelo	Frecuencia (GHz)	Consumo TDP (W)
Sobremesa	Intel® Core™	Intel Corei7-920 45nm	2,6 (1,066)	130
	Intel® Core™	Core2Quad Q9650 45nm	3 (1,33)	95
Portátil	Intel® Core™	Core2 Q Q9600 (2 core) 45nm	2,6 (1,066)	45
	Intel® Core™	Core2 P9600 (2 core) 45nm	2,6 (1,066)	25
Mobile Internet Devices	Atom	Atom Z510/Z540	0,8-1,6	2-2,4
Servidor	Intel® Xeon®	X7460 (6 cores) 45nm	2,6 (1,066)	130
	Intel® Itanium®	Itanium 9150M (2 cores)	1,6 (0,66)	104
Estación de trabajo	Intel® Xeon® 5400	X5492 (4 cores) 45nm	3,4 (1,6)	150
	Intel® Core™2	Intel Corei7 Extreme 45nm	3,2 (1,066)	130

TABLA 3.5. Frecuencias y consumos de los microprocesadores más representativos de Intel.

Fuente: Intel, 2008.

Merece la pena destacar la existencia de los nuevos procesadores Atom para equipos móviles ultraligeros y de bajo presupuesto (por ejemplo portátiles de tipo netbook). Estos microprocesadores proporcionan prestaciones limitadas (hasta 1,6 GHz), pero con un consumo realmente bajo (2,4 W TDP para el ejemplo de la Tabla 3.5), lo que da unos resultados de prestaciones por vatio muy interesantes, no sólo para equipos de tipo netbook.



### 3.1.3.2 AMD

Es bien conocida la competencia directa que AMD hace a los microprocesadores de Intel. Es difícil comparar las características técnicas de los microprocesadores de AMD frente a los de Intel por las diferencias entre arquitecturas, aunque en general los microprocesadores de Intel proporcionan mejores prestaciones y consumen menos. Pero no es justa la comparación porque la arquitectura de AMD integra dentro del microprocesador el controlador de memoria. Por este motivo AMD ha definido una nueva métrica para reflejar de forma más realista el consumo del microprocesador con carga máxima, denominada ACP (*Average CPU Power*), frente al ya comentado TDP. ACP proporciona datos más cercanos al consumo real del microprocesador que el consumo de pico que pocas veces se produce. De esta forma, un microprocesador Opteron Quad-core con TDP de 137 W se caracteriza con una cifra ACP de 105W. Esto es un tanto arriesgado, porque puede llevar a los usuarios a un dimensionamiento incorrecto de la fuente de alimentación del equipo.

Los procesadores AMD ahorran energía gracias a la tecnología Cool'n'Quiet™, la cual permite que los ordenadores sean más pequeños, más atractivos y requieran menos energía. La tecnología *Cool'n'Quiet*™ es una innovadora solución que incorporan los sistemas basados en el procesador AMD Athlon™ 64, capaz de reducir de manera drástica el consumo bajando la frecuencia de funcionamiento y tensión de alimentación del procesador cuando está inactivo. Esta tecnología se hizo a imagen y semejanza que *PowerNow!*, desarrollada por AMD para reducir el consumo en sus procesadores de aplicaciones móviles.

AMD espera que los sistemas construidos con los procesadores AMD para equipos de sobremesa con ahorro de energía puedan cumplir, y en muchos casos superar, los requisitos del nuevo sistema de la especificación ENERGY STAR versión 4 de la agencia EPA, en vigor desde el 20 de julio de 2007.

En el caso de eficiencia energética, la estrella de los microprocesadores de AMD es Opteron™, un microprocesador con versiones de 2 y 4 cores que ha sido especialmente diseñado para proporcionar las mejores cifras de prestaciones por vatio en servidores. Además de la innovadora tecnología propietaria de AMD PowerNow!™ el Opteron implementa Gestión Optimizada de Potencia (OPM, *Optimized Power Management*), lo que no sólo reduce el consumo energético del procesador, sino que también reduce los costes de los entornos de servidores caracterizados por necesitar caros sistemas de ventilación y refrigeración. Esta combinación proporciona los siguientes beneficios:

- Proporciona prestaciones bajo demanda ajustando dinámicamente la utilización de la CPU. De esta forma el sistema funciona con prestaciones y niveles de consumo óptimos con el consiguiente ahorro energético.
- Optimiza el consumo de potencia del sistema completo al proporcionar entornos

menos calientes y ruidosos en las estaciones de trabajo y servidores.

- Reduce el consumo de la CPU inactiva hasta un 75%.

En la Tabla 3.6 aparecen detallados los consumos (TDP en este caso) y frecuencias de funcionamiento de los últimos procesadores AMD en todas las gamas disponibles.

<i>Equipo destino</i>	<i>Familias de Procesadores</i>	<i>Modelos</i>	<i>Frecuencia (GHz)</i>	<i>Consumo (W)</i>
Sobremesa	AMD Phenom™	Phenom™ X3 Triple-Core 8750	2,4	95
		Phenom™ X4 Quad-Core9950	2,6	140
	AMD Athlon™	Athlon™ 3500+	2,2	35
		Athlon™ X2 Dual Core 6400+	3,2	125
Portátil	AMD Sempron™	Sempron™ 3500+	3,0	35
	AMD Turion™	Turion X2 ZM-86 65nm	2,4	35
	AMD Athlon™ portátil	Athlon X2 QL-64 65nm	2,1	35
Servidor y estación de trabajo	AMD Opteron™	Opteron 8360SE 65nm	2,5	105
		Opteron 8384 45nm	2,7	75

TABLA 3.6. *Frecuencias y consumos de los microprocesadores más representativos de AMD.*

Fuente: AMD.

### 3.1.3.3 SPARC

El microprocesador SPARC (*Scalable Processor ARChitecture*) fue diseñado por primera vez en 1985 por un ingeniero de Sun Microsystems, Hill Joy, basándose en el diseño RISC de David Patterson (Universidad de California, Berkeley). Constituyó la primera arquitectura RISC abierta, es decir, sus especificaciones se hicieron públicas para permitir que diseñadores *hardware*, desarrolladores *software* y profesionales TI contribuyeran a revolucionar el campo de la computación. Hoy en día se pueden encontrar procesadores licenciados por SPARC International en múltiples equipos TI, desde las clásicas estaciones de trabajo y servidores de Sun Microsystems y Fujitsu hasta en sistemas de almacenamiento (Hitachi DK32EJ) o cámaras digitales (Olympus D300Zoom). Los principales fabricantes de procesadores SPARC son Sun Microsystems y Fujitsu.

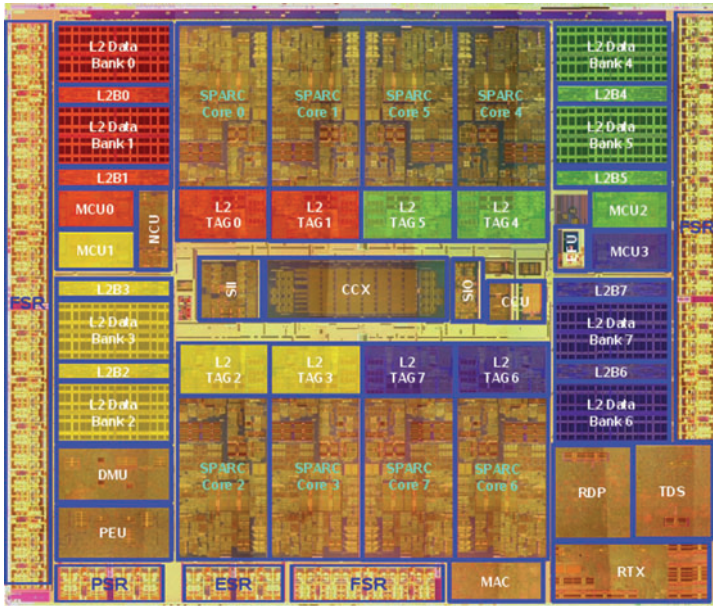


FIGURA 3.12. Trazado del microprocesador OpenSPARC T2, basado en UltraSPARC T2, con ocho núcleos multi-thread y con unidades de punto flotante.

Fuente: [17].

En la actualidad, el modelo más avanzado de microprocesador SPARC que se puede adquirir es el UltraSPARC T2 de Sun Microsystems (ver Figura 3.12), que presenta una elevadísima capacidad computacional al incluir ocho núcleos procesadores, lo que proporciona 64 hebras (*threads*), e integra todas las funciones de un servidor en un único chip: enorme capacidad de cálculo, red (ethernet multi-thread), seguridad (con unidades de punto flotante y de procesamiento criptográfico en cada core) y entrada/salida (PCI Express). Está perfectamente acoplado con el sistema operativo Solaris, de Sun Microsystems y presenta un consumo nominal de 95 W (123 W máximo), lo que representa menos de 2 W por hebra y mejora sustancialmente las cifras de la competencia (al menos eso se afirma en su web).

El diseño de este poderoso microprocesador destinado a integrarse en grandes servidores se basa en gran medida en su antecesor, UltraSPARC T1 (también llamado Niagara). Debido a las especiales restricciones de consumo, refrigeración y espacio de los servidores, en este procesador multi-core de Sun se hicieron importantes cambios de diseño para conseguir la mejor relación prestaciones por vatio de todos los microprocesadores equiparables del mercado. Se explotó la idea ya comentada de aumentar ancho de banda en lugar de elevar las frecuencias de funcionamiento de forma que se reduce complejidad en el *hardware* y por lo tanto el consumo. Para ello se utilizan múltiples cores procesadores de prestaciones limitadas pero que permiten gran paralelismo en la ejecución y proporcionan elevadas

cifras de prestaciones por vatio. En el caso de este procesador se han utilizado ocho cores muy sencillos (pipelines escalares de seis etapas en orden y caches de tamaño relativamente pequeño) a los que se les han aplicado todas las técnicas conocidas de reducción de consumo (se aproxima consumo de pico a consumo medio para mejor aprovechamiento del hardware, bloqueo de reloj, dimensionamiento de transistores para minimizar capacidades, datos ordenados en memoria para permitir apagar sub-bancos, etc.). Incorpora además técnicas de monitorización de consumo y temperatura que permiten mejorar tanto el rendimiento como la fiabilidad de la arquitectura multi-thread (CMT, *Chip Multi-Threading*). El chip, de menos de 400 mm<sup>2</sup>, contiene 279 millones de transistores y consume un máximo de 63 W a 1,2 GHz y 1,2 V. En la Figura 3.13 aparece la distribución del consumo en el chip y su mapa térmico.

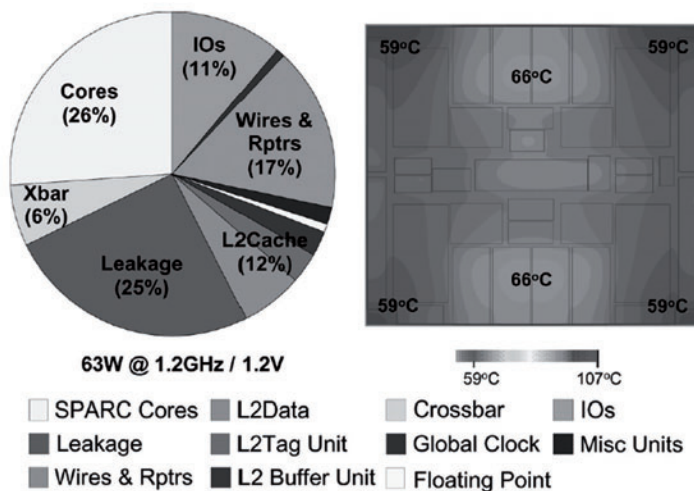


FIGURA 3.13. *Distribución de consumo y mapa térmico del microprocesador Niagara (UltraSPARC T1) de Sun Microsystems.*

Fuente: [18].

Un claro beneficio de esta arquitectura es la reducción de fallos debidos a puntos calientes, muy habituales en microprocesadores de altas prestaciones. La existencia de múltiples cores permite una distribución de carga que lleva a una densidad de potencia distribuida uniformemente con gradientes térmicos reducidos, y la correspondiente mejora en fiabilidad del circuito.

### 3.1.3.4 Comparativa de varios procesadores

Como se ha podido ver, cada fabricante destaca aquellas características en las que sus microprocesadores proporcionan los mejores resultados. De esta forma, cada uno dispone curiosamente de la mejor relación prestaciones por vatio del mercado. Esto es

claramente cuestionable, pues las condiciones en las que se realizan las medidas son muy diferentes de una prueba a otra, por lo que la comparación es prácticamente imposible. Se puede variar:

- Respecto al *hardware*, además de la arquitectura y frecuencia de funcionamiento del procesador, puede variar la memoria RAM, los discos duros, el tipo de tarjeta de gráficos, sistema de refrigeración, chipset, placa madre, etc.
- Respecto al *software*: el sistema operativo, la cantidad de aplicaciones instaladas, el nivel de carga de la ejecución, etc.

Por estos motivos la comparación de cada fabricante se puede llevar hasta el terreno en el que realmente su producto tiene una diferencia significativa. Resulta por lo tanto complicado poder evaluar qué microprocesador es más eficiente energéticamente y por qué. Solamente se han realizado estudios muy particulares comparando procesadores concretos de Intel y AMD, los principales fabricantes del sector. En la conocida página web de Tom's Hardware [15] aparecen algunos estudios recientes que se comentan a continuación.

La comparación entre microprocesadores de los dos principales suministradores del mercado, Intel y AMD, es muy compleja, por las diferencias existentes en sus enfoques. Para empezar, las placas madres de Intel suelen consumir más energía al incluir el chipset el controlador de memoria, que AMD integra en el microprocesador. Sin embargo, los procesadores de Intel son más eficientes y proporcionan mejores prestaciones. Para la comparación se va a medir el consumo de un sistema completo, de forma que se engloben microprocesador y chipset. Se eligieron dos procesadores típicos para ordenadores de sobremesa de prestaciones similares, el Athlon 64 X2 de AMD y el Core 2 Duo E6400 de Intel y se probaron con los ya mencionados ejemplos de Sysmark 2007. Los resultados del experimento resultaron bastante evidentes: el microprocesador de Intel proporciona mejores prestaciones y menor consumo. En la Figura 3.14 se ve la traza de consumo en ambos sistemas, pudiéndose apreciar claramente que el sistema de AMD requiere más potencia y tarda más en ejecutarse que el sistema de Intel.

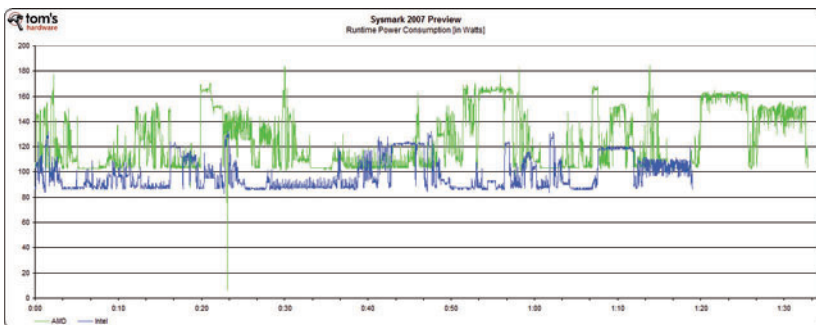


FIGURA 3.14. *Trazas de consumo en la experimentación con un sistema basado en Intel y otro en AMD.*

Fuente: [15].

Una conclusión interesante de este experimento es que el parámetro prestaciones no siempre va en dirección opuesta al consumo. Si se dispone de un sistema basado en un potente microprocesador pero con consumo en períodos de inactividad muy bajo puede ser más eficiente que un microprocesador con menor consumo pero con peores prestaciones. Esto es debido a que el primer microprocesador terminará más rápido sus tareas y pasará más tiempo en el estado de bajo consumo. Éste es el motivo principal por el que el equipo con el Intel Core 2 Duo ha ganado claramente al equipo basado en el AMD Athlon 64 X2.

Otro punto importante es que no hay que mirar sólo el consumo del microprocesador, sino también el de la placa madre y el chipset, pues puede que la suma de ambos contrarreste los posibles ahorros del microprocesador.

Otro estudio realizado por Tom's Hardware [15] realiza una comparativa entre microprocesadores para equipos ultra-ligeros, tipo netbook. En este caso se han comparado un Intel Atom 230 con un AMD Athlon 2000+ y un Via Nano L2100, ejecutando los benchmark Sysmark 2004, como se ve en la Figura 3.15. Claramente, los mejores resultados los proporciona el microprocesador de Intel, principalmente debido a las buenas prestaciones de su sistema de memoria y a la arquitectura Hyper-Threading que incorpora.

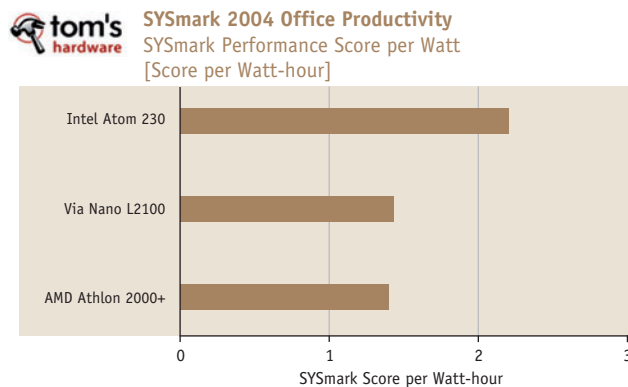


FIGURA 3.15. Comparación de tres microprocesadores de bajo consumo de Intel, AMD y Via.

Fuente: [15].

### 3.1.4 Fuentes de energías alternativas

Un nuevo foco de interés relacionado con las tecnologías verdes es la denominada “captura o recogida de energía” (del inglés, *energy/power harvesting*), potenciada principalmente desde los entornos inteligentes o las redes inalámbricas de sensores. El término se refiere al

proceso de extraer energía eléctrica útil desde otras fuentes ambientales (sol, energía térmica, eólica, solar, cinética, etc.) utilizando materiales especiales, denominados transductores, que poseen la habilidad de convertir una forma de energía en otra.

Existen cuatro fuentes principales de las que se puede extraer de energía eléctrica del medio ambiente:

- Fotovoltaica: obtiene energía a partir de la luz, tanto exterior (solar) como interior. Es seguramente la forma de captura de energía más evolucionada, presente en innumerables equipos electrónicos.
- Termoeléctrica: a partir del calor del sistema o de los seres vivos.
- Mecánica: principalmente a partir de vibraciones, aunque también incluiría la energía eólica, la del movimiento o cinética, etc.
- Radiación: vivimos rodeados de ondas electromagnéticas, como son las procedentes de sistemas Wifi, televisión y radio, teléfono, etc.

El potencial de estas tecnologías es enorme, y proporcionaría una ruptura en el actual sistema de generación de energía, basado en los combustibles fósiles. El problema es que aún no se ha conseguido que estos sistemas de recogida de energía resulten eficientes y puedan proporcionar el flujo de potencia continuo y elevado que requieren los equipos TI.

El tema es tan prometedor que la primera empresa fabricante de microprocesadores, Intel, ha anunciado en 2008 que va a realizar una fuerte inversión en la investigación de la recolección de energía (Figura 3.16).

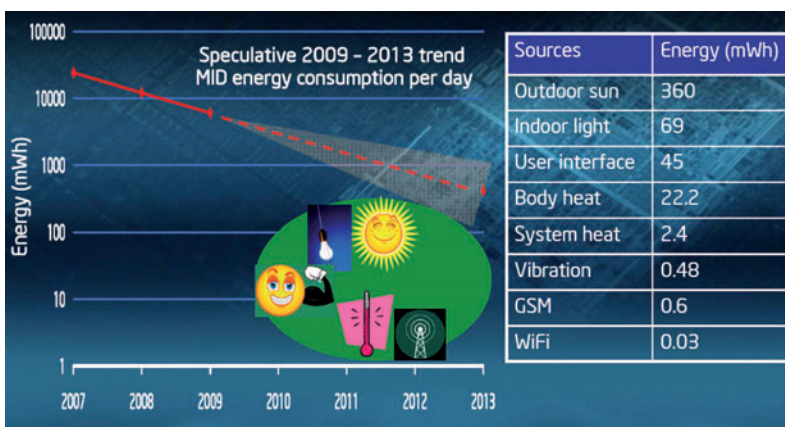


FIGURA 3.16. Captura de energía de fuentes alternativas: datos actuales y previsión de impacto en el consumo diario.

Fuente: Intel.



### 3.1.5 ACPI: Advanced Configuration and Power Interface

ACPI (*Advanced Configuration and Power Interface*) es una especificación abierta desarrollada conjuntamente por Hewlett-Packard, Intel, Microsoft, Phoenix, y Toshiba. ACPI define un conjunto de interfaces que son estándar industrial para facilitar al sistema operativo la configuración directa tanto de la gestión de potencia como la gestión térmica de ordenadores de sobremesa, portátiles y servidores. La idea es facilitar el paso de los diferentes componentes de un sistema basado en procesador a estados de menor consumo, perfectamente asumibles en los momentos de inactividad del sistema producidos por el usuario o por la aplicación. El ordenador puede modificar sus prestaciones reduciendo la tensión o frecuencia de funcionamiento de la CPU en función de las necesidades puntuales, consiguiendo ahorros de energía sustanciales mediante la denominada gestión dinámica de potencia (DPM).

ACPI, publicada por primera vez en 1999, constituyó una especificación bien definida de la interfaz de configuración y gestión de consumo. Aglutinó información de gestión de potencia completamente dispersa e inconexa, desde código de la BIOS, interfaces de programación (APIs) o tablas de especificación multiprocesador (MPS) entre otros. En el año 2006 se publicó la última versión de la interfaz, la 3.0b, y en la actualidad se está trabajando en la versión 4.0. Hoy en día es soportada por la mayoría de fabricantes con grandes volúmenes de producción.

ACPI es una capa de abstracción que se sitúa entre el Sistema Operativo (OS) y el *hardware* y *firmware* de las placas madre o plataformas (ver Figura 3.17). Esta abstracción permite la evolución independiente del *hardware* y del *software* en lo que a las nuevas tecnologías de gestión de potencia se refiere, a la vez que garantiza la sincronía necesaria entre ambos. No sólo un nuevo sistema operativo es capaz de manejar antiguo *hardware*, sino que también hace compatible un nuevo *hardware* con un sistema operativo antiguo.

La especificación ACPI tiene dos partes: configuración y gestión de potencia. ACPI ofrece a los sistemas operativos y a los controladores (*drivers*) de dispositivos el control total en la gestión de potencia. La BIOS simplemente proporciona al sistema operativo acceso a los controles *hardware* que gestionan potencia en el sistema. El sistema operativo y los controladores de dispositivos, que son quienes realmente conocen cuándo está el sistema activo, deciden cuándo apagar dispositivos no en uso y cuándo llevar al sistema completo a hibernación / letargo (*sleep*).

Dado que la gestión de potencia se controla por el sistema operativo, hay una única interfaz de usuario para controlar potencia que funciona en todos los sistemas ACPI y simplifica la práctica del usuario final. ACPI proporciona información detallada al sistema operativo sobre lo que puede hacer el sistema y sobre qué fuentes de eventos



se deben considerar. Por ejemplo, un ordenador, sistema operativo y aplicación que utilice ACPI puede realizar lo siguiente:

- Asegurar que el monitor no se apaga en medio de una presentación.
- Permitir al ordenador encenderse automáticamente en medio de la noche para realizar alguna tarea, conservando apagados el monitor y los controladores no involucrados en la tarea.
- Permitir al usuario elegir qué opciones de alimentación y letargo (*sleep*) puede realizar el sistema.

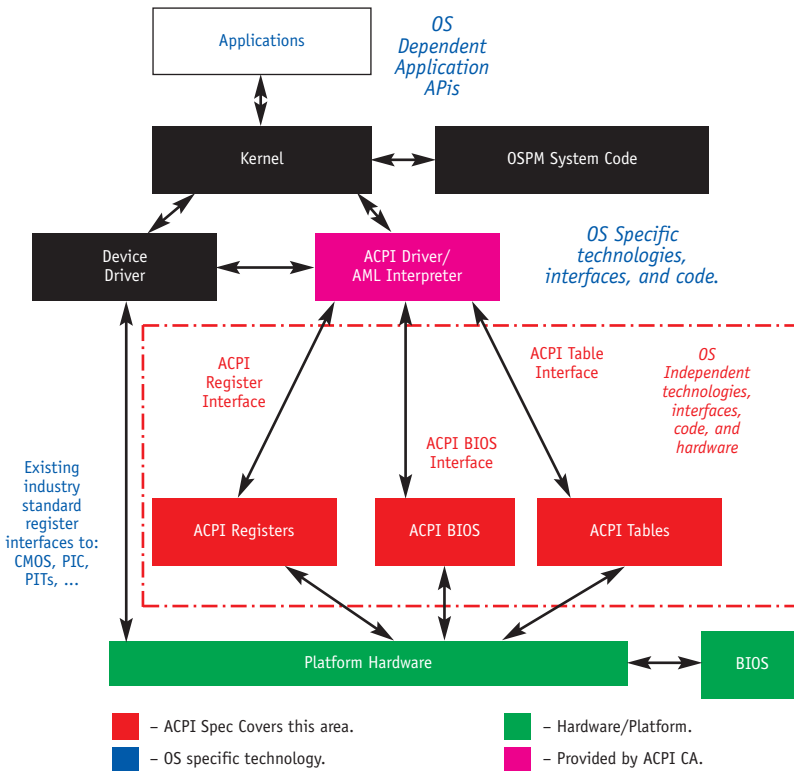


FIGURA 3.17. Elementos involucrados en la gestión de potencia en un sistema ACPI.

Fuente: [19].

En la Figura 3.17 se representa la relación existente entre los diferentes componentes que constituyen un ordenador que utiliza ACPI. Como se puede ver, los elementos de la interfaz ACPI, enmarcados por la caja punteada, deben permitir la comunicación entre los procedimientos para bajo consumo proporcionados por el *hardware* y el sistema operativo. Una serie de registros y tablas proporcionan las capacidades para gestión de

consumo de los componentes hardware a los que el sistema operativo accede mediante un controlador ACPI (*driver*) para configurarlos inicialmente y gestionarlos posteriormente en función de las demandas particulares del sistema.

El diseñador de un componente de ordenador compatible con ACPI debe generar y gestionar múltiples tensiones de alimentación sin la intervención del usuario según el sistema va pasando por diferentes estados de consumo. La especificación ACPI define seis posibles estados denominados S0-S5 en función de su menor-mayor consumo. En el estado S0 la CPU puede pasar por los estados C0-C3, y el sistema de potencia debe ser capaz de responder rápidamente a las transiciones de corriente resultantes. Otros elementos del sistema tienen también sus propios estados de consumo, por ejemplo D0-D3 para el caso del disco duro, y el sistema operativo debe poner estos elementos en el estado que requiera menor consumo satisfaciendo las necesidades del usuario y la aplicación. Los menores consumos están asociados a los estados S3 y S4, en los que el ordenador está en un estado de letargo correspondiente a un apagado virtual. En el estado S3 un sistema típico debe proporcionar energía de mantenimiento a la memoria, puertos USB y PS/2, tarjeta de red o modem. Si se pasa al estado S4 se eliminaría el consumo de mantenimiento de la memoria y MODEM, y todos los componentes menos el botón de encendido se quedan sin suministro en caso de pasar al estado S5.

Evidentemente, los estados de gran ahorro energético se consiguen pagando un precio. Según se van apagando componentes del PC, mayor es el tiempo de recuperación que necesita el sistema para volver a un estado operativo. Además, el paso a estados de bajo consumo requiere un gasto adicional de energía. Por ejemplo, pasar de estado S3 al S4 requiere que el sistema pase antes por el estado S0 y realice unas tareas determinadas para transitar finalmente al estado S4.

El diseño y la calidad del hardware juegan un papel determinante, pues el tránsito entre estados debe garantizar la integridad de los datos que maneja el usuario o la aplicación. Asimismo, el sistema operativo es el responsable final de las transiciones entre estados, por lo que la determinación de un cambio de estado debe estar debidamente justificada por un ahorro energético significativo.

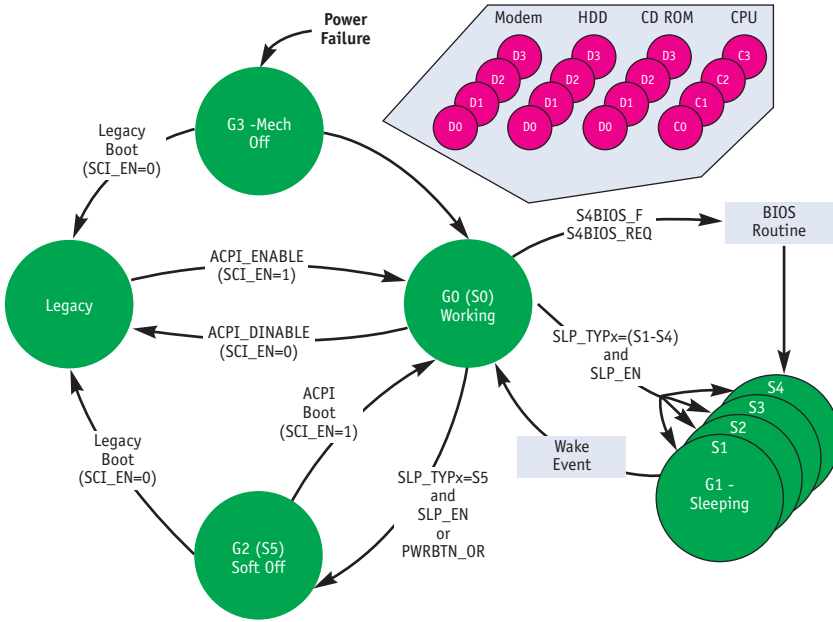


FIGURA 3.18. Estados definidos en el estándar ACPI y transiciones entre los mismos.

Fuente: [19].

### 3.1.6 Gestión térmica

Ya en el año 2001 Intel pronosticó, basándose en las arquitecturas que diseñaba y en la evolución de las tecnologías de fabricación, que en el año 2010 los microprocesadores presentarían una densidad de potencia equiparable a la de la superficie del sol (Figura 3.19). Ante este alarmante pronóstico Intel cambió su filosofía habitual de diseño, cuyo objetivo principal era obtener máximas prestaciones al menor coste en área, por el nuevo objetivo de conseguir las mejores prestaciones sin sobrepasar unos límites de consumo por microprocesador. Esto se tradujo en unos cambios de arquitectura de sus microprocesadores encaminados no sólo a reducir densidad de consumo, sino a gestionar la disipación del calor de una forma más coordinada y sistemática.

El diseño orientado a la reducción de consumo no es suficiente para mejorar el comportamiento térmico de los circuitos integrados. Los calentamientos locales se producen de forma mucho más rápida que el calentamiento global del circuito. Esto hace que aparezcan puntos caliente y gradientes espaciales que provocan errores e incluso el daño físico del circuito. Muchas de las técnicas de optimización de consumo no tienen apenas efecto en la temperatura de funcionamiento del circuito porque no reducen densidad de potencia en el punto caliente. Por ello, el diseño considerando temperatura se ha convertido en una necesidad.

Una primera aproximación al problema fue por tanto la gestión térmica a nivel de circuito integrado, al ser los circuitos los principales responsables del calentamiento de los sistemas electrónicos. Se trata de optimizar el proceso tecnológico y el diseño térmico del encapsulado para reducir la temperatura de funcionamiento del circuito. Hoy en día los principales esfuerzos de investigación se centran en la gestión dinámica de temperatura, que busca regular la ejecución del circuito o sistema completo condicionado por la temperatura de funcionamiento que se alcanza. Finalmente, se ha evolucionado para realizar la gestión térmica a nivel de sistema, incluyendo no sólo los circuitos integrados, sino otros elementos importantes a la hora de elevar la temperatura global, como pueden ser los discos duros o las fuentes de alimentación.

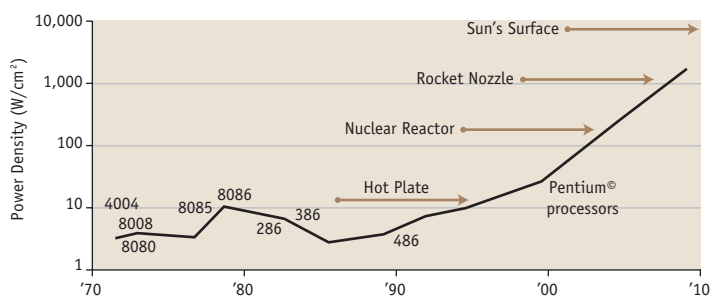


FIGURA 3.19. Evolución de la densidad de potencia en los procesadores de Intel hasta 2001 y pronóstico para tecnologías posteriores.

Fuente: Intel.

### 3.1.6.1 Gestión térmica a nivel de circuito integrado

En este apartado vamos a revisar cómo se enfrían los microprocesadores actuales, que son los circuitos integrados que presentan mayor densidad de potencia (junto con las GPUs), y por lo tanto para los que se encuentran más avanzados los sistemas de gestión térmica. Un enfoque global del problema abordaría cuatro aspectos diferentes:

1. Gestión de potencia a nivel del chip. Las microarquitecturas actuales ya se diseñan con el objetivo de reducir TDP. Por ejemplo, éste es uno de los motivos por los que se realizan ahora arquitecturas multi-core.
2. Refrigeración a nivel de encapsulado. Debe facilitar el tránsito del calor desde el silicio al exterior. La mayoría de los microprocesadores llevan la estructura de disipación térmica que se puede ver en la Figura 3.20. En esta figura TIM significa material térmico de interfaz (*Thermal Interface Material*), e IHS significa difusor de calor integrado (*Integrated Heat Spreader*). La estructura a) no dispone de IHS y se solía utilizar en microprocesadores para portátiles. La estructura b) es la más extendida, pues al contar con un difusor interno presenta mejores resultados en cuanto a disipación de calor. Un buen encapsulado debe ser capaz de amortiguar los

gradientes de temperatura que aparecen por los puntos calientes en el circuito, y esto se consigue en parte con el difusor IHS.

3. Diseño del disipador externo (*heat sink*). Tradicionalmente eran de aluminio, pero la necesidad de aumentar la disipación de calor ha hecho que en la actualidad se realicen en materiales con mayor conductividad, como puede ser el cobre. Los hay activos (incorporan un ventilador) o pasivos. Su buen diseño afecta al sistema completo, puesto que puede mejorar la fiabilidad y reducir el nivel de ruido dado que el ventilador puede funcionar a menor velocidad.
4. Ventilación a nivel de sistema. Es importante optimizar el flujo de aire en el disipador para facilitar la transferencia de calor desde el chip al exterior a través del chasis del equipo. El diseño global del equipo juega un papel determinante por la cantidad y situación de ventiladores y rejillas de ventilación, tipo de fuente de alimentación, etc.

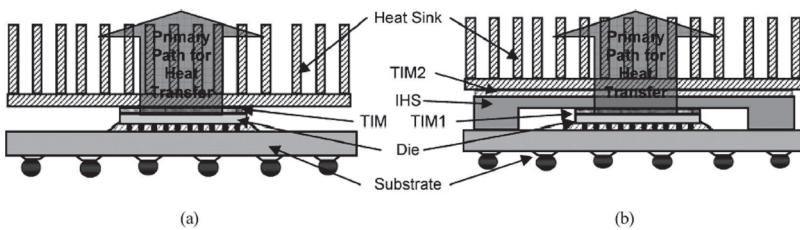


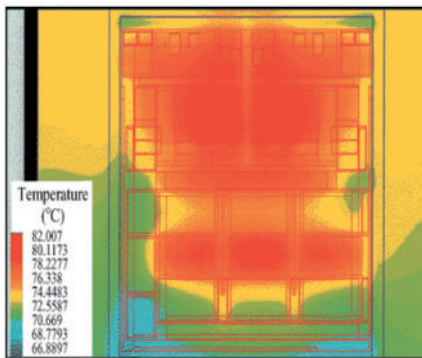
FIGURA 3.20. Estructura de las dos arquitecturas térmicas utilizadas habitualmente en microprocesadores.

Fuente: [18].

### 3.1.6.2 Gestión dinámica de temperatura

Ya se ha visto en secciones anteriores que se han realizado grandes esfuerzos en el diseño del encapsulado de los circuitos integrados para mejorar la transferencia de calor desde la superficie del silicio hacia el exterior. Si el encapsulado se diseña para el caso peor (lo más seguro), nos encontramos con unos costes elevadísimos que se dedican a soportar una situación que se puede producir en contadas ocasiones. La mayoría de las aplicaciones, sobre todo cuando hablamos de equipos de sobremesa, no consumen tanta potencia como para elevar la temperatura a rangos de caso peor. Para reducir el coste del encapsulado, éste se puede diseñar para el caso "típico". Si se produce un calentamiento superior al de este caso el propio circuito debe proporcionar en tiempo de ejecución los mecanismos para bajar esta temperatura. Esto es lo que se llama **gestión dinámica de temperatura** (*Dynamic Thermal Management, DTM*).

Mapa de temperatura



Fotografía del chip identificando unidades funcionales

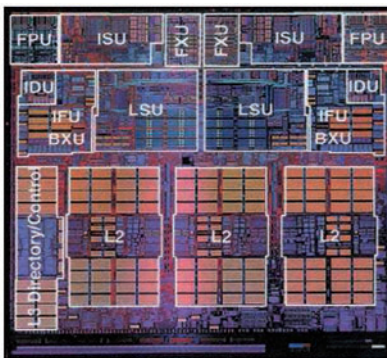


FIGURA 3.21. Ejemplo de trazado microprocesador en el que se detallan los principales elementos de la arquitectura para identificar puntos calientes en una simulación con HotSpot.

Fuente: presentación de K. Skadron.

Este tipo de estrategia se utilizó ya en el diseño del Pentium 4, que consiguió reducir costes de encapsulado en un 20%. Si la temperatura excedía su valor límite, se paraba el reloj del microprocesador hasta que la temperatura descendía a valores razonables, evitando con ello errores o daño físico. El apagado del reloj es una técnica a nivel de chip completo con un impacto muy negativo en prestaciones, pero no se puede eliminar por ser la que proporciona mayor seguridad en los casos extremos, por ejemplo, si la temperatura ambiente excede especificaciones. Pero es posible realizar además técnicas de gestión dinámica de temperatura a nivel de la arquitectura del microprocesador que tengan menor penalización en prestaciones aprovechando el conocimiento que se dispone del comportamiento térmico de las unidades que lo componen y del uso que éstas tienen en una ejecución determinada. Un ejemplo se ve en la Figura 3.21, en la que se estudia qué elementos de un microprocesador presentan mayor calentamiento mediante simulación con una herramienta de modelado térmico (HotSpot). De esta forma, es posible ajustar o distribuir la carga para controlar el comportamiento térmico de todo el microprocesador.

Evidentemente, la toma de decisiones en cuanto a niveles de temperatura que se alcanzan dentro de un circuito integrado exige disponer de la información necesaria. Para ello existen numerosos enfoques encaminados a monitorizar los gradientes de temperatura que se producen dentro del chip y que hay que mitigar para evitar los temidos puntos calientes. Los últimos procesadores de Intel (por ejemplo el Montecito) integran varios sensores de temperatura que ofrecen medidas en los elementos de la arquitectura que resultan más críticos, por ejemplo, los bancos de registros. Importantes esfuerzos de investigación se están realizando en la actualidad para poder integrar en los microprocesadores un número suficiente de sensores que permitan lecturas fiables sin ocupar grandes áreas [21]. Además, es necesario introducir sistemas de control térmico inteligente a dos niveles diferentes:

1. Sensores de temperatura integrados en el microprocesador y GPUs que permitan monitorizar la temperatura del chip, tanto espacial como temporalmente.
2. Sensores inteligentes distribuidos en todo el sistema para controlar la velocidad de los dispositivos de refrigeración (ventiladores) en función de la temperatura (objetivo: minimizar ruido).

Algunas de las técnicas que se utilizan para implementar gestión dinámica de temperatura a nivel de micro-arquitectura y en tiempo de ejecución son:

- Escalado en frecuencia. Existe una dependencia lineal entre la frecuencia de funcionamiento y la temperatura, fijándose la frecuencia de operación de un microprocesador a la correspondiente a la máxima temperatura de especificación. Si se excede esta temperatura, se puede bajar la frecuencia de funcionamiento hasta controlarlo.
- Escalado en tensión. Técnica muy utilizada para reducir consumo, cuya dependencia con la tensión de alimentación es cuadrática. Simultáneamente requiere reducir la frecuencia de funcionamiento, pues la velocidad de los circuitos integrados es inversamente proporcional a la tensión de alimentación.
- Reducción o alternancia en los accesos a los bancos de registros: los bancos de registros suelen ser los principales puntos calientes de los microprocesadores. Si se eleva la temperatura en un banco en particular, se puede reducir alternando los accesos con otro banco.
- Migración de computación: supone un aumento considerable de área, pues implica duplicar unidades para llevarse la ejecución a zonas más frías en caso de calentamiento.

Para realizar un correcto diseño orientado a temperatura es necesario contar con herramientas que permitan modelar el comportamiento térmico de los circuitos integrados. Éste es el caso de HotSpot (<http://lava.cs.virginia.edu/HotSpot/>), simulador de libre distribución que permite modelar a nivel de arquitectura el comportamiento térmico de un microprocesador.

### 3.1.6.3 Gestión térmica a nivel de sistema

El objetivo principal del control y diseño térmico es eliminar el calor que se produce durante el funcionamiento de los equipos de la forma más eficiente posible, intentando minimizar el ruido que se genera y la potencia que se consume. En este apartado nos vamos a centrar en los procedimientos habituales de los ordenadores personales, elemento principal de todos los equipos TI.

Dentro de un PC, el procedimiento tradicional para eliminar el calor en los microprocesadores, memoria, tarjetas gráficas o fuentes de alimentación ha sido la

utilización de ventiladores. A pesar de ser bastante fiables, presentan un elevado nivel de ruido y un consumo de potencia nada despreciable. Estos problemas son serios, pero no hacen que se pueda prescindir de los ventiladores, dado que no hay otro sistema que pueda cumplir su función principal: disipar calor.

El desarrollo de plataformas PC con configuraciones para funcionar en diferentes entornos ha resultado de gran ayuda para controlar la temperatura dentro del sistema. Sin embargo, quedan aspectos importantes por considerar, como son el manejo de la precisión de las medidas de temperatura que se manejan, o el diseño de ventiladores más silenciosos con amplio rango de velocidades de funcionamiento.

#### *Precisión de las medidas*

Para gestionar temperatura de forma eficiente es necesario disponer de medidas precisas, puesto que el error en la medida puede presentar consecuencias nefastas. Si se produce sobre-estimación en la medida el ventilador alcanzará velocidades muy elevadas innecesariamente, con el consiguiente perjuicio en ruido y desperdicio de potencia. El caso contrario es mucho peor, puesto que la no ventilación de componentes sobrecalentados puede llevar a su fallo o incluso su destrucción.

Las principales causas de falta de precisión en las medidas de temperatura son dos: la variación de las características termo-eléctricas de los sensores dependientes de la fabricación del mismo, lo que hace necesaria una *calibración* del sistema, y el ruido eléctrico presente en todos los sistemas de los que estamos tratando. Por ejemplo, la actividad en los buses del sistema puede provocar variaciones en la sensible electrónica analógica habitualmente ligada a los sensores de temperatura.

#### *Control inteligente del ventilador*

Los controladores de los ventiladores han evolucionado considerablemente. Han pasado de ser unos conmutadores con posiciones on-off disparados por simples controladores a realizarse con sistemas sofisticados de bucle cerrado que manejan las velocidades del ventilador de forma correlada con un rango preciso de temperaturas. Para alcanzar niveles de ruido aceptables los algoritmos de control del ventilador deben proporcionar un equilibrio entre la acústica del ventilador y factores de diseño térmico del microprocesador (temperatura del aire y del chip). El PC puede ir desde un estado de inactividad total a alto nivel de actividad en un instante, elevando rápidamente las temperaturas del microprocesador o GPU.



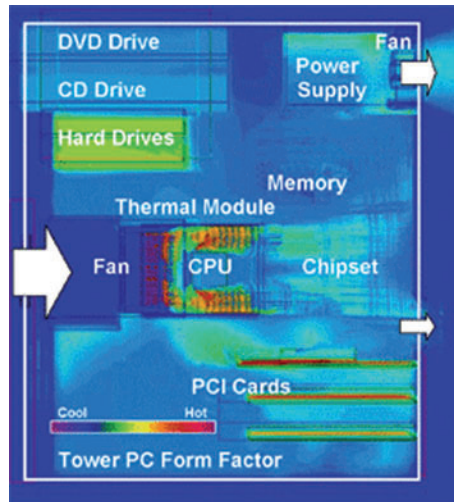


FIGURA 3.22. Mapa de temperatura dentro de un ordenador.

Fuente: [40].

La estructura o chasis de los ordenadores debe favorecer la ventilación de sus componentes y proporcionar flujos de aire continuos que permitan renovar el ambiente interior. Por ello, el diseño de las cajas de los PC juega un papel crítico a la hora de mejorar la eficiencia energética del sistema. La situación espacial de ventiladores, ranuras o componentes resulta determinante a la hora de obtener buenos resultados: la total eliminación de calor con el menor nivel de ruido posible. En la Figura 3.22 se puede ver el mapa térmico de un ordenador en funcionamiento. Se puede apreciar cómo los puntos más calientes corresponden al microprocesador y las tarjetas PCI (vídeo probablemente). Los discos duros también pueden llegar a presentar un calentamiento considerable, sobre todo en aplicaciones en las que se requiere el manejo de grandes cantidades de datos. En este caso su refrigeración es muy importante para no perder la información contenida y para que no se reduzca su tiempo de vida.

La problemática debida al calentamiento de componentes presentada anteriormente al nivel del ordenador personal se puede extrapolar fácilmente para sistemas de mayor complejidad, como puede ser un servidor o un centro de proceso de datos. El efecto de las elevadas temperaturas en estos sistemas no sólo aumenta el consumo energético para los sistemas de ventilación, sino que provoca elevadas tasas de fallos en componentes, repercutiendo en la fiabilidad global del sistema. Los diseñadores de *software* y los arquitectos de microprocesadores deben tener en mente las consecuencias térmicas de sus decisiones de diseño, y en consecuencia desarrollar herramientas para bajar la temperatura de funcionamiento.

En este contexto, la existencia de herramientas de soporte para el diseño teniendo en cuenta la temperatura es muy necesaria. Un ejemplo lo tenemos en ThermoStat [22], una herramienta para el modelado térmico tridimensional de servidores en rack basada en dinámica de fluidos computacional (*Computational Fluid Dynamics, CFD*). Esta herramienta sirve para simular las condiciones de carga del servidor y estudiar su impacto en el comportamiento térmico del mismo. Los diseñadores pueden utilizarla como soporte fundamental para el desarrollo de técnicas efectivas de gestión térmica a nivel de sistema. En la Figura 3.23 se pueden ver los resultados de una simulación donde se aprecian las diferencias de temperatura entre varios servidores en un rack. Esta herramienta da soporte de alto nivel al diseñador a la hora de optimizar térmicamente un sistema conociendo de antemano los diferentes perfiles de temperatura que se obtienen tras diferentes configuraciones de componentes, elementos de ventilación, etc.

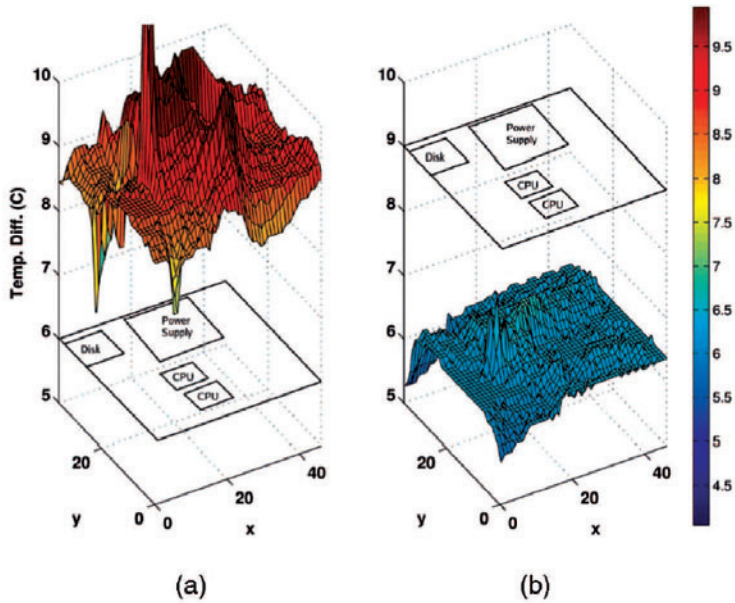


FIGURA 3.23. Simulación de la distribución espacial de temperatura en un servidor en rack.

Fuente: [22].

## 3.2 A nivel de software y gobierno de las tecnologías de la información

### 3.2.1 Software

El software se puede entender desde dos puntos de vista:

- Software dirigido a gestionar recursos de ordenador, es decir, sistemas operativos, compiladores, herramientas de ayuda al desarrollo de software, etc.
- Software específicamente construido para gestionar dispositivos a nivel de aplicación, tal como puede ser TIC para transporte o TIC para gestión de dispositivos de distribución de energía eléctrica. Sobre la estrategia de la Unión Europea a este respecto se puede encontrar información en [50]. Este aspecto no se tratará en este informe.

### 3.2.2 Sistemas operativos y compiladores

Durante estos años el interés del ahorro de energía ha estado orientado a dispositivos de baja potencia. Los dispositivos móviles han impulsado la necesidad del ahorro de energía con objeto de reducir el tamaño de las baterías, aumentar la duración de funcionamiento con la misma carga de la batería y en el fondo reducir el tamaño y peso de los dispositivos. El desarrollo de compiladores y generación de código se ha ido especializando utilizando diversas técnicas tales como las descritas en [51], [52] y [54]. En estas publicaciones podemos encontrar optimizaciones de rendimiento limitado por consideraciones energéticas: es decir, se selecciona que trabajos terminan cumpliendo su meta, y el número de metas cumplidas. Otros se centran en escalar la relación entre voltaje y frecuencia basándose en el número de RWEC<sup>1</sup>. Otro aspecto es que la gestión de la memoria dinámica tenga en cuenta el gasto energético. Por último, reseñamos dos más: un sistema para clusters de servidores autoconfigurables. Las técnicas referentes a sistemas operativos más eficientes incluyen también aspectos en los que el uso de recursos se realiza de una manera más eficiente desde un punto de vista energético. Por ejemplo, se evitan picos de utilización en el procesador o en la memoria frente a valles o periodos de inactividad. Igual estrategia se utiliza con dispositivos mecánicos como discos. Tal como se ve en [53] estos aspectos siguen siendo esenciales en la estrategia de los constructores, tal como es el caso de Sun Mycosystems.

<sup>1</sup> Worst case execution cycles.

El software, íntimamente unido al hardware, ha permitido un ahorro en la energía necesaria para el almacenamiento de información en discos, aun hoy día, por ejemplo [53]. Esta unión se hace más factible con interfaces ACPI, descritas en la sección 3.1.5. Adicionalmente, y desde hace ya bastante años, se han introducido técnicas para disminuir la energía utilizada por la CPU [54]. Otro ejemplo son las técnicas de encolamiento apoyándose en la interacción entre el sistema operativo y las aplicaciones [55]. El cambio de direccionamiento de aplicación a sistema operativo es cara, desde un punto de vista de rendimiento energético y es algo a evitar. Por ello se han desarrollado técnicas que lo evitan.

Poco a poco se ha ido hacia lo que se denominan dispositivos que son conscientes de la energía (*Energy aware systems*) [56] [57]. Por ejemplo en [57], se presenta un diseño completo de un enfoque denominado PCAP (*Program-Counter Access Predictor*) que dinámicamente aprende el patrón de acceso de las aplicaciones y predice cuándo se puede apagar un dispositivo de Entrada Salida (E/S).

En [58] se avanza en la dirección de ahorrar energía yendo más allá de la optimización de código introduciendo transformaciones en él. Para ello utiliza transformaciones dirigidas por la interfaz del sistema operativo entre las aplicaciones con software empotrado y propone un conjunto de técnicas para la transformación del código fuente que reducen el consumo de energía. De esta forma se eliminan los sobrecostes de cambio de contexto y comunicación entre procesos. Otros enfoques como [59] aportan visiones globales de la gestión de la energía en el sistema operativo de manera que intentan una gestión global de la energía. Se ha experimentado el enfoque en Linux. Una visión también global se puede encontrar en [60]. Respecto a técnicas de compilación se sigue avanzando y adaptándose a las arquitecturas (por ejemplo, a las arquitecturas paralelas [61]).

### 3.2.3 Gobierno de las tecnologías de la información

Tal como ya se ha comentado, Green IT ha sido identificada por Gartner como una de las 10 tecnologías más estratégicas para 2009.

La visión actual es que para acercarse a Green IT se necesita un enfoque centrado en el gobierno de las TI. Eso quiere decir que la aplicación de acciones aisladas en la empresa, o la simple compra de dispositivos con gasto energético bajo no permite obtener unos rendimientos aceptables. Por otra parte, todos los informes acaban afirmando que Green IT, adecuadamente buscado, resulta rentable para la empresa, desde un punto de vista económico.

Los gestores y directivos de Tecnologías de la Información pueden mejorar la eficiencia de las operaciones y reducir los costes por medio de técnicas que inciden en la concienciación del ambiente.

Siguiendo a [62], una lista de pasos para diseñar una estrategia Green IT sería:

### 1. **Revisión de la infraestructura e inventario de las TI.**

Es el primer paso. Permite entender el equipo que es necesario y conocer qué retorno de la inversión podemos esperar. Hay que incluir todo el equipamiento. Las razones de la importancia de este paso es que ayuda a comprender qué equipo es necesario, cuál es opcional y cuál es totalmente innecesario por redundante. Además ayuda a comprender la posición desde la que se están haciendo los cambios. De esta manera se puede llegar a fijar un ratio para el retorno de la inversión (ROI). Cuando se recomienda contabilizar todo el equipo justamente se quiere decir todo el equipamiento. Es decir, servidores, pero también conmutadores, encaminadores y hasta telefonía IP. Además hay que identificar cuál es el patrón de uso, carga y consumo.

### 2. **Revisión de las facilidades/centros físicos y de las operaciones.**

Es necesario replantearse todos y cada uno de los centros de datos y su función. La situación ineficiente puede provenir de demasiados centros, o justo de lo contrario: centros excesivamente grandes. Es necesario evaluar el suministro de energía y los sistemas de refrigeración y calefacción. Todos estos aparatos deben estar planificados con un tamaño adecuado, además de llevar consigo un ahorro asociado. El punto de vista energético hay que valorarlo en este caso como un parámetro esencial. Un segundo aspecto es el de las operaciones respecto a los centros de datos. ¿Están coordinados, centros y operaciones y logística asociada a los centros? Lógicamente el no estar bien acoplados los tres aspectos implicará un aumento de costes derivado de inactividad.

### 3. **Análisis de la necesidad de las operaciones de TI.**

Hay que evaluar las necesidades a corto, medio y largo plazo como manera de entender que se va a necesitar. Es necesario comparar y evaluar estas planificaciones a corto, medio y largo plazo como manera de encontrar el modelo y planificación correcta. El problema es que una estimación de tamaño equivocada puede repercutir de manera considerable en los costes tanto por desplazamiento como energéticos. La planificación puede hacerse para un periodo de cinco años. Un aspecto que no debe olvidarse es el de los patrones de uso; por ejemplo los picos, zonas valle, etc. Es decir, hay que considerar tanto lo que puede ser un consumo medio sostenido como los picos, tanto desde un punto de vista energético como de almacenamiento, ancho de banda y de procesador.

### 4. **Análisis de la necesidad de los centros y facilidades.**

Basándose en la planificación del punto anterior, y en los patrones de uso, hay que asegurarse que la planta física será capaz de operar de acuerdo con las necesidades. Esto incluye situación, cableado, suministro de potencia, refrigeración y calefacción. Estos dos últimos aspectos, juntos con un adecuado suministro de potencia, son básicos para la salud de los equipos. El gasto de agua debiera ser bajo.

## 5. Priorizar y optimizar patrones de uso.

Es preciso optimizar las operaciones y ajustarlas a determinados patrones de uso que faciliten el ahorro de energía. Esto quiere decir que una vez que se ha realizado el primer diseño y quizá comenzado el funcionamiento hay que planificar, optimizar y gestionar. Optimizar las operaciones implica estudiar las operaciones relativas a TI y en general a todos los procesos de negocio. Estos procesos pueden afectar a las diferentes partes de la red de actividades. Partiendo de las operaciones, sus patrones de uso y prioridades, se pueden optimizar las prácticas de TI de manera que sean realmente eficientes. Será necesario encontrar un equilibrio entre la red funcionando de forma óptima en situaciones normales y tenerla lista para picos, así como para que no implique un consumo excesivo en los valles.

## 6. Consolidar. Eliminar redundancias y equipo o infraestructura no utilizada.

Es un paso más en el análisis que permite asegurarnos que no hay redundancias. Es decir, más bien habrá que ir eliminando redundancias con la experiencia que se va obteniendo en el día a día. Esto implica también eliminar equipo que no se use. Por otra parte, habrá equipos provenientes de etapas anteriores y que en los análisis iniciales se haya mostrado como útil pero que en el día a día no se vea así. Estos equipos deberán ir desapareciendo. En todo momento debe poderse tener cifras que nos indiquen el retorno de la inversión (ROI) y las implicaciones que nuestras decisiones tienen en el ROI.

## 7. Virtualización.

La virtualización se estudia en la siguiente sección de este informe. Dentro de la estrategia de gestión es aquí donde se debe estudiar su aplicación. En general ayudará a eliminar redundancias y a aprovechar mejor el ancho de banda, almacenamiento, y ciclos del proceso. La virtualización tiene más sentido en entornos cambiantes, pues facilita la adaptación.

## 8. Ajustar una utilización adecuada al uso.

Las máquinas actuales ya están preparadas para funcionar cuando realmente se necesitan y no sufren tanto con los periodos de inactividad como antes ocurría. Por ello se pueden tener ciertos equipos para los picos y sin funcionar el resto del tiempo. Hay diferentes tecnologías Wake-On-Lan, tal como se describe en la sección 3.3.2.1. Lo óptimo es tener algunos dispositivos con esta tecnología y otros funcionando 24/7. Esto garantiza un nivel de ahorro considerable cuando el nivel de carga es distinto dependiendo de circunstancias. Un adecuado estudio de las prioridades hecho en etapas anteriores facilitará la consolidación.

## 9. Actualizaciones y mejoras.

No es posible evitar el tener que introducir actualizaciones y mejoras en el sistema. Incluso simplemente porque el software y hardware van evolucionando con gran rapidez. Para poder "sobrevivir" es necesario tener estudios de auditoría y del retorno de la inversión completos y actualizados. El problema puede ser que un cambio radical sea duro pero aporte una situación de ahorro considerable porque los

equipos contengan nuevos procesadores, de más bajo consumo, por ejemplo, o tecnología Wake-On-Lan.

**10. Prácticas en el día a día.**

Hay que establecer una serie de prácticas que permitan, desde el punto de vista del día a día, un aprovechamiento adecuado. Para ello habrá que buscar formas que faciliten la colaboración y el trabajo conjunto entre los diferentes equipos. Incluso, esto es aplicable a los equipos que realizan instalaciones físicas y los que llevan temas de TI, y estos con los equipos de áreas de negocio. La comunicación y el intercambio serán esenciales en el día a día y como forma de mejorar.

**11. Monitoring.**

La monitorización permitirá conocer la situación en que se encuentra el centro de datos, qué está yendo bien y qué es mejorable. Permite medir a los gestores la efectividad del cambio. A medio plazo llevará a situaciones de ahorro de energía.

**12. Eliminación y reciclado del equipo.**

El último aspecto, que se olvida con frecuencia, es que realizar bien la eliminación de equipo ahorra dinero, además de ser más ecológico.

Los aspectos de gobierno de las TI son esenciales desde el punto de vista de Green IT [63]. Las medidas técnicas son sólo una parte de la solución. Green IT necesita ser implementado, gestionado y gobernado, de manera que sea una parte del conjunto del gobierno de las TI. Desde este punto de vista, Green IT quedaría definida como “un enfoque holístico” a una gestión amigable con el ambiente/clima, sostenible, de la organización, sus procesos y sus proyectos. En la figura siguiente vemos el CobiT (*Control Objectives for Information and related Technology*) para gobierno de las TI. Los elementos del gobierno están afectados por Green IT.



FIGURA 3.24. CobiT para gobierno de las TI.

Fuente: [63].

Hay que tener en cuenta los siguientes aspectos:

- Alineamiento de Green IT con el resto de la estrategia de la empresa, y de las políticas de IT.
- Entregar valor.
- Gestión de recursos.
- Gestión de riesgos.
- Medidas del rendimiento.

Es necesario entender que la implantación de una política de Green IT sostenible debe ser un proceso continuo, embebido en la organización.

Green IT está cobrando tanta importancia que empresas como IBM ofrecen como un servicio más el apoyo en las estrategias de Green IT de forma que la empresa que aplique esas políticas obtendrá un claro beneficio. En esta dirección es interesante ver cómo IBM ofrece servicios del tipo “una estrategia verde para toda su organización” (<http://www.ibm.com/software/solutions/green/>). La infraestructura, incluyendo centros de datos, almacenes, edificios, fábricas y camiones, son consumidores de energía. De hecho el sector industrial consume el 47% de la demanda de energía [64]. IBM publica informes como [65], en el que plantea la necesidad de definir una estrategia clara de Green IT y las ventajas que eso supone, no solo para el medio ambiente, sino también para la empresa desde un punto de vista económico.

Accenture [66] ha definido su modelo de madurez verde presentado en la siguiente figura:

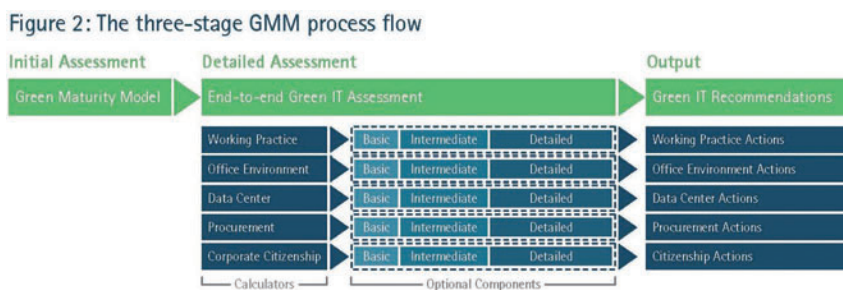


FIGURA 3.25. Modelo de madurez verde de Accenture.

Fuente: [66].

Este modelo nos permite tener una medida de de las ganancias, beneficios cuantificables, y oportunidades a largo plazo de modo que el gestor pueda actuar en base a causas justificadas.



---

---

## 3.3 A nivel de sistemas

Esta sección presenta una serie de arquitecturas o técnicas que permiten mejorar la eficiencia energética de las TI. Primero, se describe la virtualización, en su sentido más amplio, para, posteriormente, describir las técnicas de virtualización de plataformas. Las siguientes secciones describen cómo la virtualización permite conseguir una mayor eficiencia energética, por medio de la consolidación de servidores y equipos de escritorio y la virtualización del centro de datos y del almacenamiento.

Después, se describen las técnicas de utilización dinámica de recursos, por medio de herramientas de red, el uso de tecnologías Grid dentro y fuera del centro de datos o la externalización de procesos de TI, por ejemplo, siguiendo el nuevo modelo de *Cloud Computing*. Por último, se proporciona una breve introducción a la construcción de centros de datos energéticamente eficientes.

### 3.3.1 Técnicas de virtualización

La virtualización ha sido identificada igualmente por Gartner como una de las diez tecnologías estratégicas para 2009 [1]. Mucho del actual revuelo se centra en la virtualización de servidores (ver sección 3.3.1.2), aunque la virtualización de los dispositivos cliente (ver sección 3.3.1.3) o del almacenamiento (ver sección 3.3.1.4) también están despertando mucho interés.

La virtualización es un término amplio que se refiere a la abstracción de los recursos de un computador. Este término se viene usando desde antes de 1960, y ha sido aplicado a diferentes aspectos y ámbitos de la informática. Sin embargo, el reciente desarrollo de nuevas plataformas y tecnologías de virtualización han hecho que se vuelva a prestar atención a este maduro concepto.

El tema en común de todas las tecnologías de virtualización es la de implementar un interfaz conocido (por ejemplo, el repertorio de instrucciones de una arquitectura o el interfaz POSIX de acceso a un sistema de ficheros), ocultando muchas veces los detalles técnicos, a través de la encapsulación y la abstracción. Por tanto, la virtualización crea un interfaz externo que esconde una implementación subyacente, bien mediante la fragmentación de un recurso para ser usado como si se tuviera acceso exclusivo a cada fragmento del recurso (por ejemplo, un procesador de tiempo compartido o un espacio de direcciones de memoria virtual), o bien mediante la combinación de varios recursos físicos diferentes para ser usados como si fueran un sólo recurso, simplificando y ocultando el control (por ejemplo, un sistema de almacenamiento de tipo RAID, un sistema de memoria formado por caché, memoria principal y memoria secundaria, o los clústeres y grids de computación).

Podemos mencionar dos tipos de virtualización:

- **Virtualización de plataformas:** consiste en separar un sistema operativo de los recursos de la plataforma subyacente (ver sección 3.3.1.1).
- **Virtualización de recursos:** consiste en la virtualización de recursos específicos del sistema, como la memoria virtual, el almacenamiento virtual (ver sección 3.3.1.4) comúnmente usado en redes de almacenamiento (*Storage Area Networks, SAN*), los interfaces de red virtuales o las redes virtuales.

### 3.3.1.1 Virtualización de plataformas

Los requisitos de virtualización de Popek y Goldberg, presentados en su artículo [21] de 1974, son un conjunto de condiciones suficientes para que una arquitectura de computadores soporte eficientemente la virtualización. Aunque los requisitos se derivan de asunciones simplificadas, todavía constituyen una manera eficaz de determinar si una arquitectura soporta eficientemente la virtualización y proporciona líneas maestras para el diseño de arquitecturas virtualizadas.

El IBM CP-40, en 1966, fue el primer computador que utilizó virtualización completa. Era capaz de ejecutar 14 entornos virtuales S/360, cada uno con un tamaño de memoria virtual de 256K, acceso mapeado a particiones de disco y acceso mediante *pooling* a dispositivos como impresoras. Es el predecesor de la familia VM de IBM, la tecnología de virtualización usada en sus *mainframes*.

En la **virtualización completa**, se simula un hardware suficiente para permitir un sistema operativo huésped sin modificar (uno diseñado para la misma CPU) para correr de forma aislada. Las instrucciones binarias son traducidas en bloque: la mayoría se ejecuta directamente en el hardware, pero las instrucciones privilegiadas deben ser ejecutadas por un monitor de máquinas virtuales (*Virtual Machine Monitor, VMM*) o hipervisor (*hypervisor*), que se ejecuta en modo supervisor, ya que la máquina virtual se ejecuta en modo usuario. Típicamente, se pueden ejecutar muchas instancias al mismo tiempo en el mismo hardware. Algunos ejemplos actuales son VMware Workstation y VMware Server [24].

En la **para-virtualización**, no se simula necesariamente un hardware, sino que se ofrece un API especial que sólo puede usarse mediante la modificación del sistema operativo huésped. Al modificarlo, las instrucciones privilegiadas se transforman en llamadas al VMM o hipervisor, que se denominan hiperllamadas (*hypercalls*), de manera que se evita tener que realizar la traducción binaria de instrucciones. Algunos ejemplos actuales son Xen, VMware ESX Server e IBM z/VM. La para-virtualización ofrece un mejor rendimiento, cercano al nativo, al no necesitar traducción binaria de instrucciones. Además, con las nuevas extensiones hardware para virtualización, Intel-VT y AMD-V, ya no es necesario modificar el sistema operativo huésped. Es lo que se llama **virtualización soportada por hardware**.

La **virtualización a nivel de sistema operativo** consiste en virtualizar un servidor físico a nivel del sistema operativo permitiendo múltiples servidores virtuales aislados y seguros en un solo servidor físico. El entorno del sistema operativo huésped comparte el mismo sistema operativo que el del sistema anfitrión (es decir, el mismo núcleo del sistema operativo es usado para implementar el entorno del huésped). Sin embargo, las aplicaciones ejecutadas en un entorno huésped dado lo ven como un sistema autónomo. Algunos ejemplos son Virtuozzo, Solaris Containers y KVM (*Kernel-based VM*). Este tipo de virtualización obtiene un rendimiento similar al nativo.

Dentro de la virtualización, se puede considerar también la **emulación** y la **simulación**, en las que se simula un hardware completo, admitiendo un sistema operativo huésped sin modificar para una CPU completamente diferente. Esto permite la creación de software para nuevos procesadores antes de que estén físicamente disponibles.

Por último, con la **virtualización de aplicaciones**, las aplicaciones virtuales se ejecutan en un pequeño entorno virtual que actúa como una capa entre la aplicación y el sistema operativo, eliminando los conflictos entre aplicaciones y entre las aplicaciones y el sistema operativo. El ejemplo típico es la máquina virtual de Java de Sun.

### 3.3.1.2 Consolidación de servidores y virtualización del centro de datos

Las demandas energéticas de los centros de datos pueden reducirse mediante el correcto dimensionado de la infraestructura de TI por medio de la consolidación y la gestión dinámica de la capacidad de cálculo sobre un conjunto de servidores. La forma más sencilla de hacer esto es mediante la virtualización de servidores, que según VMware [25] permite:

- Consolidar servidores: se reduce el número de servidores en un ratio de 15:1, eliminando el crecimiento descontrolado de servidores y recortando los costes de mantenimiento.
- Reducir el consumo de energía [26]: cada servidor virtualizado ahorra 7.000 kW/h de electricidad anualmente, o alrededor de 500 euros en costes de energía.
- Incrementar la capacidad de TI: se mejoran los ratios de utilización de los servidores de un 5-15% a un 60-80%. Al tener menos servidores, pero más utilizados, se libera espacio y potencia.
- Reducir las emisiones de CO<sub>2</sub>: se eliminan 4 toneladas de CO<sub>2</sub> por cada servidor virtualizado, lo que equivaldría a sacar 1,5 coches de la carretera.

Sobre este último punto, VMware proporciona una curiosa calculadora energética [27] para destacar los beneficios ecológicos de la virtualización.

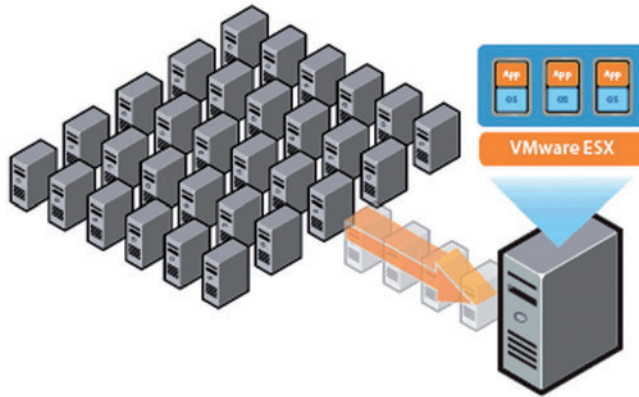


FIGURA 3.26. Consolidación de servidores con VMware ESX.

Fuente: VMware.

La solución de virtualización de VMware, *VMware Infrastructure*, proporciona los recursos que la infraestructura necesita, permitiendo:

- Reducir los costes energéticos un 80%.
- Apagar los servidores que no se necesitan de forma inteligente, sin afectar a las aplicaciones o a los usuarios, gracias a la nueva característica DPM (*Distributed Power Management*).
- Tener un centro de datos más ecológico, al tiempo que se reducen los costes y se mejoran los niveles de servicio.

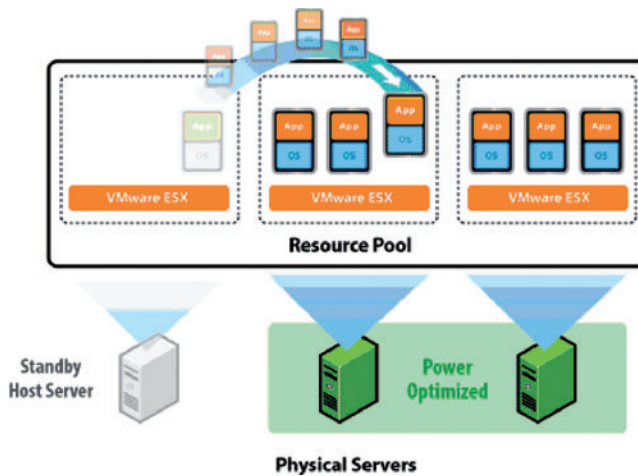


FIGURA 3.27. Gestión del consumo con DPM (*Distributed Power Management*) de VMware DRS (*Distributed Resource Scheduler*).

Fuente: VMware.

La virtualización está teniendo ya un impacto positivo en el medio ambiente. Gartner [28] estima que más de un millón de cargas de trabajo se ejecutan en máquinas virtuales de VMware, lo que representa un ahorro agregado de energía de alrededor de 8,500 millones de kW/h.

OpenNebula ([www.opennebula.org](http://www.opennebula.org)) es la alternativa *open-source* para la creación de una infraestructura virtual, que permite el despliegue y reubicación dinámicos de máquinas virtuales sobre un conjunto de recursos físicos. OpenNebula extiende los beneficios de las plataformas de virtualización de un único recurso físico a un conjunto de ellos, desacoplando el servidor no sólo de la infraestructura física, sino de la localización física.

Para el usuario de la infraestructura (gestor del servicio), OpenNebula proporciona un aprovisionamiento bajo demanda de máquinas virtuales para satisfacer la demanda de los usuarios finales. Para el propietario de la infraestructura (gestor del sistema), OpenNebula proporciona los siguientes beneficios:

- Gestión centralizada de un conjunto de máquinas virtuales y recursos físicos.
- Balanceo de carga para mejorar la eficiencia y la utilización.
- Consolidación de servidores a un número reducido de sistemas físicos, reduciendo el espacio necesario, el esfuerzo de administración y los requisitos de energía y refrigeración, y permitiendo el apagado de sistemas sin interferir en la carga de trabajo.
- Redimensionado dinámico de la infraestructura física, añadiendo más recursos físicos según sea necesario.
- Particionado dinámico del clúster para ejecutar diferentes servicios con garantías.
- Soporte para cargas de trabajo heterogéneas con requisitos de software diversos o incluso incompatibles, permitiendo la ejecución de software con requisitos estrictos, como trabajos que necesitan una versión específica de una biblioteca o aplicaciones heredadas.

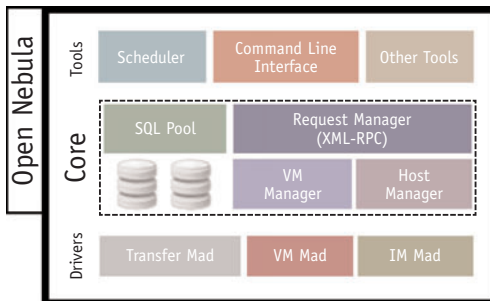


FIGURA 3.28. *Arquitectura de OpenNebula.*

Fuente: OpenNebula.

OpenNebula se diferencia de otros gestores de máquinas virtuales existentes en su arquitectura abierta y altamente modular, diseñada para satisfacer los requisitos de los administradores de sistemas. La última versión, OpenNebula 1.2, utiliza las plataformas de virtualización Xen y KVM. El acceso a los hipervisores se realiza mediante programas adaptables, permitiendo a los administradores personalizar el comportamiento de OpenNebula, añadiendo soporte para nuevos hipervisores o añadiendo nuevas métricas y parámetros de infraestructura, por ejemplo, sobre consumo de energía o temperatura para implementar políticas de Green IT.

Por último, OpenNebula permite un escalado horizontal bajo demanda de cargas de servicio, proporcionando adaptadores para acceder a Amazon EC2 (*Elastic Compute Cloud*, <http://aws.amazon.com/ec2>) que permiten suplementar los recursos locales con recursos *Cloud* para satisfacer picos de demanda, como se verá en la sección 3.3.2.6.

Existen otras herramientas, como *Application Director* de Symantec, que permiten la consolidación de servidores físicos y virtuales para reducir el consumo de energía y ralentizar el crecimiento de la instalación de nuevo *hardware*.

### 3.3.1.3 Consolidación de equipos de escritorio

Las tecnologías de consolidación de equipos de escritorio, como *VMware View* (<http://www.vmware.com/products/view>) o *Citrix XenDesktop* (<http://www.citrix.com/products>), ejecutan entornos de escritorio como máquinas virtuales en el centro de datos. Con este tipo de tecnologías, los clientes usan menos energía al reemplazar el *hardware* de escritorio infrautilizado por clientes ligeros (*thin clients*) que consumen mucha menos energía. También se extiende el tiempo de vida esperado de los equipos de escritorio, al reducir sus requisitos, por lo que no tienen que reemplazarse tan a menudo. Compañías de todos los tamaños están actualmente explorando o generalizando el uso de estas tecnologías.

Tecnologías como éstas permiten sacar partido de mayores ratios de utilización y aprovechar las capacidades avanzadas que ofrecen las plataformas de virtualización. Normalmente, los equipos de escritorio se mantienen encendidos durante todo el día, aunque sus usuarios no los estén utilizando e incluso estén fuera de su puesto de trabajo. Al desplegar esta tecnología, estos recursos son agregados en el centro de datos, presentando una utilización mucho mayor. Los equipos de escritorio virtuales pueden también beneficiarse de las técnicas de gestión dinámica de la carga y gestión distribuida del consumo de energía de una infraestructura virtual.

El ahorro de energía es sólo una de las muchas razones para virtualizar los equipos de escritorio. La seguridad, agilidad y posibilidades de gestión que esto proporciona, son también razones convincentes para reconsiderar cómo se despliegan y gestionan estos equipos.

### 3.3.1.4 Virtualización del almacenamiento

La virtualización del almacenamiento se refiere a un conjunto de tecnologías que permiten crear una capa lógica de abstracción sobre la capa física de almacenamiento. En lugar de gestionar de forma individual dispositivos físicos de almacenamiento, por ejemplo, la virtualización permite a los administradores gestionar múltiples sistemas de almacenamiento como un fondo común de capacidad a nivel lógico, como muestra la siguiente figura.

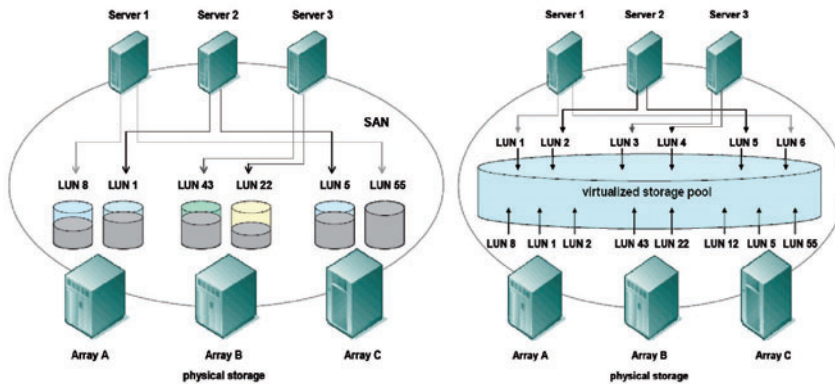


FIGURA 3.29. *Virtualización del almacenamiento.*

Fuente: [29].

Por sí misma, la virtualización del almacenamiento no es más eficiente energéticamente que la gestión convencional, pero puede ser usada para maximizar la utilización de la capacidad y, por tanto, frenar el crecimiento de la adquisición de hardware. Además, es la tecnología base de otras soluciones que sí contribuyen a una operación más eficiente, como el aprovisionamiento fino, los volúmenes re-dimensionables o las instantáneas modificables.

La **desduplicación de datos** a nivel de bloque, consiste en identificar los bloques de datos redundantes y referenciarlos como un único bloque de datos idéntico, de manera que sólo éste se escribe realmente en el soporte físico. La reducción de necesidades de almacenamiento obtenida por esta técnica puede ser de varios órdenes de magnitud. La desduplicación también puede hacerse a nivel de ficheros, es decir, identificando copias redundantes de ficheros. Por tanto, sus beneficios son menores que en el caso anterior, aunque en determinados casos, como las copias de seguridad en red o los servidores de correo, pueden ser significativos. Por ejemplo, *Enterprise Vault* de Symantec elimina mensajes de correo electrónico duplicados reduciendo dramáticamente los requisitos de almacenamiento y, por tanto, de energía. *NetBackup*,

también de Symantec, reduce el espacio necesario para almacenamiento de copias de seguridad mediante la eliminación de datos duplicados.

La **compresión de datos** podría verse como una desduplicación a nivel de bit, donde se minimizan patrones de bit recurrentes, que puede aportar reducciones en las necesidades de almacenamiento de hasta el 50%. Sin embargo, hay que tener en cuenta que la compresión puede tener un gran impacto en el rendimiento y que algunos formatos de datos están ya comprimidos en la capa de aplicación.

En cuanto al aprovisionamiento, en las configuraciones clásicas, se asigna espacio de almacenamiento a los servidores en función de los requisitos anticipados de las aplicaciones que soportan. Debido a que exceder esta capacidad resultaría en un fallo de la aplicación, los administradores sobreaprovisionan el espacio de almacenamiento de los servidores. El resultado de este aprovisionamiento tradicional (*fat provisioning*, o aprovisionamiento grueso) es un coste mayor, tanto por la capacidad extra que se adquiere, como por la energía requerida para mantener activos los discos que no están siendo usados.

El **aprovisionamiento fino** (*thin provisioning*) es una forma de satisfacer las expectativas de un determinado tamaño de volumen asignando realmente menos capacidad en el soporte físico. Esto elimina los problemas de sobreaprovisionamiento típicos de la mayoría de aplicaciones, proporcionando almacenamiento bajo demanda y reduciendo la capacidad total requerida para operar. Al necesitar menos discos, se reducen el coste y el consumo de energía y, mediante la monitorización del uso del almacenamiento, el administrador puede añadir capacidad según se requiera.

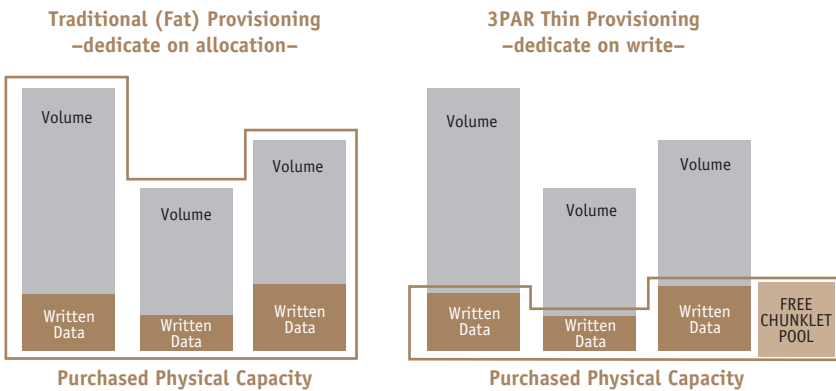


FIGURA 3.30. *Aprovisionamiento fino.*

Fuente: 3PAR.



Por otro lado, los **volúmenes redimensionables** pueden expandirse o contraerse dependiendo de la cantidad de datos generados por la aplicación, por lo que pueden aumentar la utilización de la capacidad hasta un 70%.

La tecnología de creación de **instantáneas modificables** (*writable snapshots*) o clones, mediante copia en escritura (*copy-on-write*), permite crear copias temporales para pruebas o desarrollo. La copia con los datos originales se suplementa únicamente con la escritura de los cambios en los datos realizados, compartiéndose los datos no modificados. Esto minimiza la cantidad de espacio de almacenamiento requerido para pruebas o desarrollo de aplicaciones, sin afectar a las aplicaciones en producción, al tiempo que se reduce al mínimo el tiempo de creación de las copias.

Los sistemas de almacenamiento se caracterizan por su rendimiento, disponibilidad y capacidad. Antiguamente, se almacenaban todos los datos en un único tipo de sistema hasta que era finalmente retirado la cinta para ser preservada. Ahora, es posible migrar datos de un tipo de sistema a otro, según su valor de negocio y requisitos de accesibilidad varíen en el tiempo. El **almacenamiento en capas** es una combinación de diferentes tipos de sistemas de almacenamiento y herramientas de migración de datos que permite a los administradores alinear el valor de los datos con el valor del contenedor en el que residen. Dado que la segunda capa de almacenamiento usa discos de menores prestaciones y necesita menos capacidades de alta disponibilidad, consumirá menos energía en comparación con la primera capa. Además, esta técnica permite automatizar las políticas de retención de datos. La herramienta *Storage Foundation* de Symantec proporciona almacenamiento en capas, y permite mover los datos no críticos a dispositivos de almacenamiento con menor consumo de energía. *CommandCentral Storage*, también de Symantec, busca regiones de espacio malgastado y datos inactivos a lo largo de la empresa y permite a los administradores utilizar los activos de memoria más eficientemente.

Las **cintas** son el dispositivo de almacenamiento más eficiente energéticamente, ya que su consumo de energía es nulo una vez almacenadas. Por tanto, siguen siendo la primera opción para la retención de datos a largo plazo en el nivel inferior de los sistemas en capas. *MAID* (*Massive Array of Idle Disks*) es otra tecnología útil para los niveles inferiores, es decir, para acceso ocasional o aleatorio. Esta tecnología pone a girar los discos selectivamente según sea necesario, reduciendo enormemente el consumo de energía. Por otro lado, los **discos de estado sólido** tienen un rendimiento excelente y consumen mucha menos energía que los discos mecánicos. Por tanto, serían buenos candidatos para el nivel superior de los sistemas en capas, actuando como una cache o un como dispositivo de “log” en sistemas transaccionales.

Finalmente, la **virtualización de sistemas de ficheros** incluye tecnologías para centralizar y consolidar los datos de ficheros remotos, beneficiándose esos datos de las buenas prácticas del centro de datos para seguridad y copias de seguridad y

manteniendo un tiempo de respuesta local a los usuarios remotos. Esta consolidación ayuda a reducir las ineficiencias de energía dispersas y a reducir el consumo global de energía de TI.

### 3.3.2 Técnicas de utilización dinámica de recursos

La utilización dinámica de recursos evita el sobre-aprovisionamiento de recursos y la proliferación de silos verticales de computación y almacenamiento. Diversas herramientas de red (ver sección 3.3.2.1) permiten monitorizar y optimizar el uso de la energía en el centro de datos.

La tecnología Grid (ver sección 3.3.2.2) permite compartir recursos dentro del centro de datos (ver sección 3.3.2.3) y entre distintas sedes de una misma organización o entre organizaciones asociadas (ver sección 3.3.2.4).

La externalización de procesos TI, por su parte, (ver sección 3.3.2.5) y el nuevo modelo de Cloud Computing (ver sección 3.3.2.6) permiten a las organizaciones adaptarse mejor a las necesidades de cada momento, aumentando el retorno de la inversión. Además, favorecen la aparición de economías de escala, gracias a la gestión centralizada, que permiten la implantación de políticas de mejora energética (ver sección 3.3.2.7).

#### 3.3.2.1 Herramientas de red

Mediante herramientas de red es posible monitorizar el uso de energía del sistema, recogiendo datos de consumo y temperatura de los servidores y otros recursos para proporcionar una visión global del consumo de potencia y averiguar de dónde se pueden obtener reducciones en consumo y coste.

Además, es conveniente informar sobre la energía consumida por usuario, proyecto y recurso, por medio de informes y gráficos, para ayudar a los administradores y gestores a entender cómo se usan los recursos, como se consume la energía, y qué acciones se pueden tomar para reducir el consumo global.

La herramienta *1E NightWatchman* para Microsoft Windows guarda los ficheros abiertos, cierra las aplicaciones y apaga los computadores o los pone en modo de ahorro de energía, así evita pérdidas de datos o errores en las aplicaciones. También permite apagar los ordenadores desde un único punto, a una hora especificada, y proporciona informes extensivos para gestión.

*NightWatchman* trabaja con *SMSWakeUp* que, utilizando tecnología Wake-On-LAN, permite arrancar de nuevo los ordenadores en sincronización con Microsoft Systems Management Server. Así, los administradores pueden arrancar los ordenadores desde un punto central,

por lo que pueden instalar parches de seguridad o nuevas aplicaciones durante la noche. Dell estima que, con la instalación de estas herramientas en sus 50.000 ordenadores cliente, puede obtener hasta un 40% de reducción en los costes de energía, lo que se traduciría en unos ahorros anuales de 1,8 millones de dólares. Se puede utilizar la calculadora de 1E (<http://www.1e.com/energycampaign/Calculation.aspx>) para averiguar los ahorros estimados de coste y CO<sub>2</sub> derivados del uso de herramientas de gestión del consumo.

La herramienta *Surveyor* de Verdiem (<http://www.verdiem.com>), de forma similar, ayuda a las organizaciones a gestionar, medir y reducir el consumo de energía en las redes de PCs. También utiliza una aproximación centralizada para controlar y gestionar los parámetros de energía de cada ordenador conectado a la red. Y también proporciona una calculadora para estimar fácilmente los ahorros potenciales (<http://www.verdiem.com/calculator/calculate.asp>).

*Active Energy Manager*, incluido en *Systems Director* de IBM, mide, monitoriza y gestiona los componentes electrónicos integrados en los sistemas de IBM, proporcionando una solución de gestión multiplataforma. Las funciones de monitorización incluyen tendencias de consumo y temperatura, soporte para PDU+ (*Power Distribution Unit*) y para proveedores. Las funciones de gestión incluyen la limitación de potencia y el establecimiento de modos de ahorro de energía.

También proporciona una fuente de datos sobre gestión de energía que puede ser explotada por soluciones empresariales de Tivoli, como IBM Tivoli Monitoring o IBM Tivoli Usage and Accounting Manager. Es un componente clave de la cartera de soluciones Cool Blue de IBM dentro de su proyecto Big Green.

*Active Energy Manager* ayuda a los clientes a monitorizar su consumo de energía para permitir una mejor utilización de los recursos energéticos disponibles. El software de aplicación permite a los clientes establecer tendencias del consumo real de energía y de la correspondiente carga térmica de los sistemas IBM. Esto les ayuda a destinar menos potencia e infraestructura de refrigeración a los servidores de IBM o planificar para el futuro, mediante tendencias del uso de energía a lo largo del tiempo. También proporciona información de temperatura y consumo por medio de sensores sin cables, y recibe alertas y eventos de los proveedores de infraestructura relacionados con el equipamiento eléctrico y de refrigeración. Esto permite comprender mejor el uso de la energía a través del centro de datos, identificando el uso de energía, midiendo con precisión los costes de refrigeración, monitorizando los costes de TI en los diferentes componentes y gestionando por departamento o usuario.

Finalmente, han surgido nuevas propuestas de *clustering* de sistemas que proporcionan alta disponibilidad con menos servidores en espera. Antiguamente, la protección ante fallos requería un sistema en espera por cada sistema operacional. Ahora, herramientas

de *clustering* avanzadas, como Veritas Cluster Server, permiten agrupar varios sistemas y aprovechar un único servidor de reserva ambulante. Esta configuración es conocida como N+1. Otra opción es hacer que múltiples sistemas hagan uso de los recursos de múltiples reservas, incluso aunque esos sistemas gestionen cargas de trabajo diferentes. Esta configuración se denomina N+M. Ambas aproximaciones permiten consolidar servidores, aumentando la utilización global y reduciendo las necesidades de hardware y de energía.

### 3.3.2.2 La tecnología Grid

La necesidad de grandes capacidades de cálculo computacional y de almacenamiento de datos distribuidos para aplicaciones complejas dio lugar a la creación del concepto de Grid Computing. Esta tecnología permite resolver esta necesidad de cálculo mediante la compartición de recursos computacionales distribuidos (CPU, memoria, bases de datos, etc.) a través de las redes telemáticas. Por ello, no es de extrañar que los primeros grids fueran desarrollados en el ámbito de proyectos científicos, en entornos académicos y centros de investigación.

En los últimos años, la tecnología Grid ha evolucionado de ser una tecnología diseñada principalmente para cubrir las necesidades de la comunidad de computación de altas prestaciones, hacia un marco abierto para los dominios orientados al soporte y desarrollo de negocios en las empresas. Esta evolución del Grid de la “ciencia” hacia el Grid de “negocio” ha sido complementada por los esfuerzos por aumentar su automatización, reducir la complejidad de los sistemas, para llegar a la completa virtualización de los recursos heterogéneos y distribuidos que son ofrecidos como servicios.

El concepto de Grid entró en una nueva “era” con la convergencia de dos mundos, el Grid Computing y el de los Servicios Web, en lo que a menudo se conoce como Nueva Generación de Grid (*Next Grid Generation*, NGG). Esta convergencia ha quedado recogida en un grupo de especificaciones conocidas como WSRF (*Web Services Resource Framework*) en las que se dotan a los servicios Web de “estado” (o persistencia, de tal manera que pasan a tener “memoria”) y de mecanismos para controlar su ciclo de vida, las notificaciones, etc.

Además, la consolidación de la arquitectura orientada a servicios OGSA (*Open Grid Service Architecture*) llevada a cabo originalmente por el grupo de trabajo en el Global GridForum (GGF), ahora llamado Open Grid Forum (OGF – <http://www.ogf.org>) tras la fusión con la alianza EGA, ha permitido el desarrollo del modelo de computación distribuida y de nuevos espacios de colaboración para equipos de trabajo internacionales y multidisciplinares en muy diversos sectores como la ingeniería aeroespacial, diseño automovilístico, investigación, energías renovables, industria farmacéutica e incluso otros como la banca, la industria del entretenimiento y

multimedia, etc. Mientras que el Grid había sido tradicionalmente descrito en términos de procesado de gran volumen de datos y computación, mediante OGSA, el Grid da un giro hacia los conceptos de espacios de colaboración y Organización Virtual (VO) abiertos sobre Internet.

Grid es una tecnología emergente que promete cambiar radicalmente la forma de trabajar de las empresas, la manera de hacer negocios, la forma de relacionarse entre las personas y en definitiva cambiar la sociedad tal y como en su día supuso la aparición del e-mail o Internet, por lo que las empresas españolas no pueden adoptar una actitud pasiva ante las arquitecturas orientadas a servicios y la tecnología Grid.

En España existe un amplio número de universidades, centros de investigación y empresas (en menor medida) relacionados con la investigación de diversos aspectos de esta tecnología. Es necesario mencionar aquí tanto la iniciativa IRISGrid como la Red Temática para la Coordinación de Actividades Middleware en Grid, que aglutina un gran número de estos grupos y empresas. En el año 2004, con el impulso de la Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología, y fruto del debate entre un grupo de expertos en distintas áreas científicas, FECYT publicó el Libro Blanco de la e-Ciencia en España, en el que se recogen una serie de recomendaciones de acciones y políticas de apoyo. Gracias a éstas y otras iniciativas, recientemente se ha creado la Red Española de e-Ciencia.

Durante los últimos años, se han realizado aportaciones tecnológicas importantes por grupos españoles en campos de esta tecnología como son meta-planificación, seguridad y herramientas de planificación y despliegue de procesos en nodos del Grid.

La Agenda Estratégica de Investigación de la Plataforma Tecnológica Española de Software y Servicios (INES) define las líneas de investigación más importantes para las empresas españolas:

- Escenarios de un grid dentro de la empresa (*Enterprise Grid*): mecanismos para optimizar la utilización de recursos, dotar de flexibilidad la coordinación de flujos de trabajo y la coreografía de servicios, etc. (ver sección 3.3.2.3).
- Escenarios de colaboración distribuida entre organizaciones que comparten recursos (*Partner Grid*): gestión dinámica de estas organizaciones virtuales, la federación de grids, la gestión y monitorización de la calidad de servicio ofrecida, la interoperabilidad entre diferentes sistemas y tecnologías grid mediante el uso de estándares, los mecanismos de seguridad y confianza para estos nuevos modelos de negocio, la gestión de máquinas virtuales, aislamiento en la ejecución de aplicaciones, etc. (ver sección 3.3.2.4).
- Escenario de la provisión bajo demanda (*Utility Grid*), como un caso particular del escenario anterior: aplicación de políticas de gestión, sistemas de contabilidad del uso de recursos distribuidos, aplicación de políticas de calidad de servicio (SLA), acceso transparente, etc. (ver sección 3.3.2.6).

Con todo, se pretende definir las estrategias y los pasos necesarios para la adopción de esta tecnología por parte de las empresas con el suficiente fundamento y soporte tecnológico que es necesario. Todo ello sin olvidar los retos más relevantes para el Grid a largo plazo como pueden ser los conceptos de movilidad (acceso desde móviles, PDA, etc.), aspectos de contextualización de servicios, la incorporación de la Grid semántica, la combinación con tecnologías multi-agentes, etc.

### 3.3.2.3 Herramientas Grid en el centro de datos

Algunas herramientas Grid permiten reducir el uso de energía en el centro de datos por medio de:

- Políticas inteligentes de gestión del consumo y de consolidación de la carga: las primeras, automáticamente ponen a los servidores ociosos en modo de ahorro de energía, mientras que las segundas compactan la carga de forma inteligente en servidores infrautilizados utilizando tecnologías tradicionales y de virtualización.
- Planificación de la carga basada en el coste y en la temperatura: mediante la selección de la franja horaria y la localización, se puede planificar la carga teniendo en cuenta su prioridad, la temperatura del hardware y el coste de la energía.

Por ejemplo, *Moab*, de Cluster Resources, permite a las organizaciones reducir los costes debidos al consumo de energía ya que optimiza el rendimiento de TI. Como un sofisticado e inteligente tomador de decisiones, *Moab* dirige las herramientas y recursos del centro de datos para funcionar de forma que permite conseguir sus objetivos de eficiencia energética y reducción de costes. Otras herramientas, como LSF (*Load Sharing Facility*) de Platform, también incorporan este tipo de capacidades.

Otras soluciones consisten en hacer que los recursos ociosos realicen trabajo extra, siempre que no necesiten climatización ni UPS. Esto es lo que se denomina Grid de escritorio (*Desktop Grid*), que puede construirse con herramientas como BOINC de la Universidad de Berkeley (<http://boinc.berkeley.edu>).

### 3.3.2.4 Compartición de recursos entre centros de datos

Los grids de computación son análogos a las redes eléctricas (*electrical power grid*), de donde toman su nombre [32], en el sentido de que el usuario debe poder utilizar los recursos computacionales de la misma forma que la energía eléctrica, es decir, desde cualquier lugar, de la misma forma, con un funcionamiento adecuado y un coste asequible. De esta forma, no es necesario que el usuario disponga de un centro de datos que, siguiendo la analogía, sería equivalente a disponer de una central eléctrica en casa, sino que tan sólo debería conectarse a la red de computación o Grid. En la práctica, lo normal es que los usuarios, es decir, las organizaciones, dispongan de un centro de datos dimensionado para satisfacer sus necesidades habituales.

Al igual que el desarrollo de Internet ha sido posible gracias al uso del protocolo estándar TCP/IP, la tecnología Grid también posee un estándar de facto, denominado Globus. El Globus Toolkit (<http://www.globus.org>) proporciona una infraestructura software que incorpora los protocolos y servicios básicos necesarios para la construcción de aplicaciones Grid. Globus surge a partir de la colaboración de distintas universidades y centros de investigación, que forman la *Globus Alliance* (<http://www.globus.org/alliance>).

Los meta-planificadores o sistemas de gestión de la carga de trabajo (*Workload Management Systems*, WMS), como Condor/G, gLite WMS o GridWay, permiten compartir, de forma escalable, fiable y eficiente, recursos de computación gestionados por diferentes gestores locales dentro de una organización o distribuidos en múltiples dominios de administración.

Por ejemplo, GridWay (<http://www.gridway.org>) permite explotar y gestionar una infraestructura Grid basada en Globus de la misma forma que si fuera un clúster de computación, proporcionando los siguientes beneficios:

- Para los directores de proyectos o infraestructuras, GridWay forma parte del proyecto Globus, por lo que se adhiere a su filosofía y directrices de desarrollo colaborativo. Cualquier contribución de código o soporte por parte de individuos o corporaciones es bienvenida.
- Para los integradores de sistemas, GridWay es altamente modular, permitiendo su adaptación a las diferentes infraestructuras y *middlewares* Grid, y soporta algunos estándares del OGF. Actualmente, GridWay es completamente funcional en EGEE (<http://www.eu-egee.org>), TeraGrid (<http://www.teragrid.org>), OSG (<http://www.opensciencegrid.org>) o NorduGrid (<http://www.nordugrid.org/>), proporcionando interoperabilidad entre ellos.
- Para los administradores de sistemas, GridWay proporciona un marco de planificación similar al que se encuentra en los sistemas de gestión de recursos locales, con contabilidad de uso y políticas de planificación avanzadas.
- Para los desarrolladores de aplicaciones, GridWay implementa el estándar DRMAA del OGF en varios lenguajes (C, JAVA, Ruby, Perl y Python), asegurando la compatibilidad de las aplicaciones con otros sistemas que implementan el estándar, como SGE, Condor o Torque.
- Para los usuarios finales, GridWay proporciona un interfaz de comandos similar al de los sistemas de gestión de recursos locales, para enviar, monitorizar, sincronizar y controlar trabajos. Los trabajos pueden describirse utilizando el estándar JSDL del OGF.

Algunas estrategias de Green IT que podrían implementarse en este tipo de herramientas Grid serían:

- Perseguir la tarifa nocturna (si existe), es decir, o mover los trabajos alrededor de los centros de datos de la misma organización o de otros socios internacionales de acuerdo con los costes de energía.
- Aprovechar las horas valle de algunos centros de datos para enviarles la capacidad excedente de otros.

### 3.3.2.5 Externalización de procesos de TI

Actualmente ya es posible la externalización de casi todos los procesos de TI. Las tareas que suelen externalizarse son, por este orden, el mantenimiento de servidores, las copias de seguridad, la gestión del almacenamiento, el archivo a largo plazo, y la continuidad del negocio.

Las razones de las organizaciones para externalizar suelen ser porque es más barato que realizar las tareas por su propio personal, porque libera personal para hacer otras tareas más importantes, por dificultades para contratar personal cualificado o para que el personal actual adquiera experiencia. A estas razones habrá que sumar, a partir de ahora, la eficiencia energética, de manera que, si varias compañías comparten la capacidad de un centro de datos energéticamente eficiente, pueden obtenerse ahorros de energía sustanciales y reducirse significativamente la huella ecológica de cada compañía.

Se puede realizar una externalización total de las TI a proveedores especializados, o bien, se puede acceder a proveedores externos sólo en caso de experimentar picos de demanda. En este último caso, la organización gestionaría los recursos necesarios para satisfacer la demanda media e implementaría un modelo de *Utility Computing*, es decir, pagaría en función del uso de los recursos.

### 3.3.2.6 El modelo *Cloud*

*Cloud Computing*, también identificada por Gartner como una de las diez tecnologías más estratégicas para 2009, es un modelo de computación en el que los proveedores proporcionan una variedad de capacidades, a través de las TI, a los consumidores. Las características principales de *Cloud Computing* son:

- Prestación de capacidades como servicio (“*as a service*”).
- Prestación de servicios de forma altamente escalable y elástica.
- Uso de tecnologías de Internet para desarrollar y prestar los servicios.
- Diseño para atender a clientes externos.

Aunque la reducción del coste es un beneficio potencial para las pequeñas empresas, los mayores beneficios son la elasticidad y la escalabilidad incluidas, que no sólo reducen las barreras de entrada, sino que además permiten a esas empresas crecer



rápidamente. Dado que ciertas funciones de las TI se están industrializando, haciéndose menos personalizadas, existen más posibilidades de que las grandes organizaciones se beneficien de este modelo.

Ya existen numerosos proveedores que se auto-denominan como *Cloud*. El *Cloud Computing Directory* (<http://www.cloudcomputing.org.il/ccd>) clasifica los proveedores existentes en función de lo que ofrecen:

- *Software as a Service* (SaaS): modelo de despliegue de software donde una empresa sirve el mantenimiento, soporte y operación que usará el cliente durante el tiempo que haya contratado el servicio. El cliente usará el sistema alojado por esa empresa, la cual mantendrá la información del cliente en sus sistemas y proveerá los recursos necesarios para explotar esa información. Ejemplos:
  - Google Apps (<http://www.google.com/apps>).
  - Oracle On Demand (<http://www.oracle.com/ondemand>).
  - QAD On Demand (<http://www.qad.com/on-demand.html>).
- *Platform as a Service* (PaaS): modelo en el que se ofrece todo lo necesario para soportar el ciclo de vida completo de construcción y puesta en marcha de aplicaciones y servicios web completamente disponibles en Internet. Otra característica importante es que no hay descarga de software que instalar en los equipos de los desarrolladores. PaaS ofrece múltiples servicios, pero todos provisionados como una solución integral en la web. Ejemplos:
  - Google App Engine (<http://code.google.com/appengine>).
  - Sun project Caroline (<http://research.sun.com/projects/caroline>).
  - GigaSpaces (<http://www.gigaspaces.com>).
- *Infrastructure as a Service* (IaaS): modelo de distribución de infraestructura de computación como un servicio, normalmente mediante una plataforma de virtualización. En vez de adquirir servidores, espacio en un centro de datos o equipamiento de redes, los clientes compran todos estos recursos a un proveedor de servicios externo. Una diferencia fundamental con el hospedaje virtual es que el aprovisionamiento de estos servicios se hace de manera integral a través de la web. Ejemplos:
  - Amazon Web Services (<http://aws.amazon.com>), que incluye EC2 (*Elastic Computing Cloud*), S3 (*Simple Storage Service*), SimpleDB, SQS (*Simple Queue Service*) y CloudFront.
  - GoGrid (<http://www.gogrid.com>).
  - Microsoft Azure (<http://www.microsoft.com/azure>).

También existen ya herramientas para crear una infraestructura *Cloud*, bien dentro de la propia organización o para dar servicio a otras organizaciones:

- VMware vSphere (<http://www.vmware.com/products/vsphere>).
- Sun xVM Ops Center (<http://www.sun.com/software/products/xvmopscenter>).
- Citrix Cloud Center (<http://www.citrix.com/products>).
- Eucalyptus (<http://www.eucalyptus.com>).
- OpenNebula (<http://www.opennebula.org>).

Open Nebula proporciona interfaces remotos para acceder a una infraestructura virtual usando diferentes tecnologías de virtualización (Xen, KVM...) y permite el aprovisionamiento dinámico de recursos desde distintos proveedores como Amazon EC2 (ver sección 3.3.1.2).

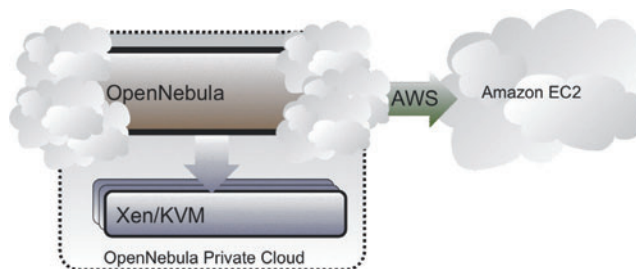


FIGURA 3.31. *Aprovisionamiento dinámico de EC2.*

Fuente: OpenNebula.

### 3.3.2.7 Construcción de centros de datos energéticamente eficientes

La especialización y la economía de escala permiten el uso de soluciones más ecológicas en los proveedores. Por ejemplo, se pueden construir centros de datos eficientes desde el punto de vista de la localización, la arquitectura o la climatización, usando técnicas que están fuera del alcance de este informe, como el aprovechamiento del calor desprendido para calefacción o para calentar agua, la refrigeración mediante corrientes de agua, el uso de energías renovables, selección de equipos de menor consumo (ver 3.1), la distribución eficiente de energía (usando corriente continua), la localización estratégica cerca de recursos naturales...

La aparición de cada vez más proveedores abre la posibilidad de seleccionarlos en función de su eficiencia energética, incluyendo cláusulas específicas en los SLAs, fomentando la competencia en este sentido.

Según Gartner [33], los centros de datos del futuro tienen la ventaja de poder ser planificados para ser eficientes desde el principio. Los diseñadores pueden elegir una localización basándose en la seguridad, coste y fuente de la energía. Pueden crear la localización, probablemente de forma modular, construyendo la estructura física —sus partes integrantes y accesorios— para ser energéticamente eficiente y usar materiales y técnicas de construcción de relativamente bajo impacto.

Por ejemplo, Google, posiblemente el mayor usuario de hardware para TI, ha diseñado sus propios servidores y centros de datos de tal forma que, según sus propias estimaciones, usan cinco veces menos energía que un centro de datos típico, como muestra la siguiente figura. De esta forma, la energía utilizada por cada búsqueda en Google es mínima. De hecho, en el tiempo necesario para realizar una búsqueda en Google, el ordenador personal desde la que se solicita consumirá más energía que la utilizada para responder a la consulta.

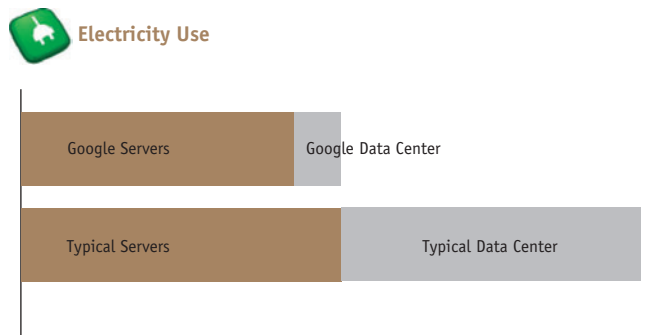


FIGURA 3.32. *Comparación del uso de electricidad.*

Fuente: Google.

Además, Google aplica otras políticas, como usar agua reciclada (para 2010 esperan utilizar un 80% de agua reciclada en todas sus instalaciones), gestionar la retirada de servidores (se aseguran de que 100% del material se reutilice o se recicle) y concienciar a sus usuarios y socios.

Otro ejemplo es el centro de datos que ofrece Green House Data [34] en Cheyenne, Wyoming. Se trata de un centro de datos de casi 1 km<sup>2</sup> alimentado completamente con energía eólica. Es una instalación de alta disponibilidad y segura que, además, ha sido diseñada para operar a, aproximadamente, un 60% menos de energía por metro cuadrado que un centro de datos similar del mismo tamaño. Esto se traduce en más potencia computacional usando menos energía.

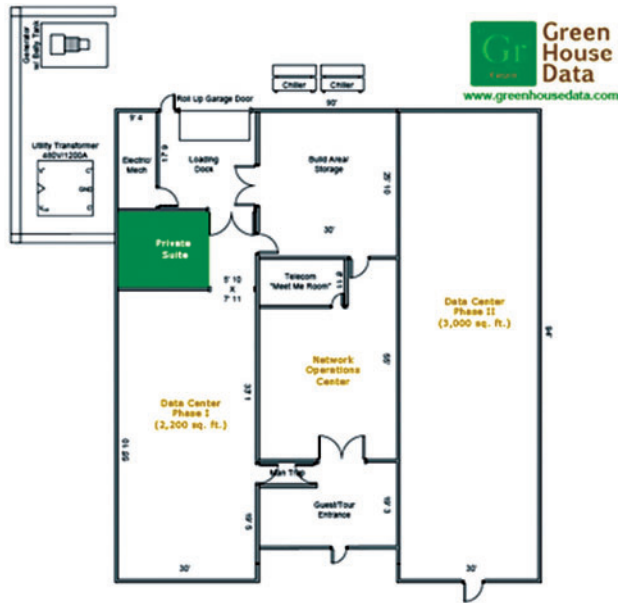


FIGURA 3.33. Plano del centro de datos de Green House Data.

Fuente: Green House Data.

El centro de datos aprovecha las siguientes técnicas para aumentar su eficiencia:

- Economizadores por agua: climatización a coste cero gracias a las temperaturas anuales promedio de 8° C de Cheyenne.
- Enfriamiento de servidores: enfriamiento directo a la fuente del calor.
- Contención del calor del pasillo caliente: se maximiza la eficiencia de la climatización encerrando el pasillo caliente y capturando el calor de escape.
- Centro de datos modular y escalable: se alcanzan las máximas eficiencias sin construir demasiado ni malgastar.
- Distribución y diseño eficiente: se alinean los pasillos calientes/fríos, y se redefine el concepto de espacio de jaula.
- Bombas de calor en el suelo: proporcionan un enfriamiento hasta un 25% más eficiente energéticamente que el equipamiento tradicional.

El centro utiliza las últimas soluciones para proporcionar tanto seguridad física como virtual. En cuanto a la fiabilidad, se ha incluido redundancia en cada elemento susceptible para eliminar cualquier punto único de fallo de ancho de banda, refrigeración o alimentación. *Green House Data* ofrece a sus clientes un SLA del 100% de tiempo de funcionamiento en su distribución de energía, conectividad de red y refrigeración. Además, aseguran que su servicio no es más caro que el que prestan los centros de datos convencionales.

## CAPÍTULO 4

# Recomendaciones: hacia una gestión energética eficiente de los SI

- 4.1 Síntesis de recomendaciones de iniciativas y consorcios (PÁG. 117)
- 4.2 Recomendaciones a nivel de PC (PÁG. 121)
- 4.3 Recomendaciones a nivel de gobernanza de las TI (PÁG. 123)

Las recomendaciones presentadas en este capítulo tienen un diferente alcance, bien traten de recomendaciones de consorcio, de administraciones o de empresas. Por una parte nos encontramos recomendaciones que se pueden aplicar por individuos en su día a día, como ajustar adecuadamente el brillo de la pantalla. Por otra, hay ciertas prácticas que acaban siendo más bien comunitarias, como el volumen de calefacción o frío, siempre que estén dentro del margen de uso de las máquinas. Por último, muchas recomendaciones encajan bien en una organización si existe un adecuado gobierno de de Green IT. De forma que las recomendaciones aquí presentadas no son independientes, por así decir.

## 4.1 Síntesis de recomendaciones de iniciativas y consorcios

A continuación, se enumeran las recomendaciones realizadas por las iniciativas o consorcios presentados en la mayoría de los casos en el capítulo 2.

### · **The Green Grid**

*The Green Grid* propone cinco formas de reducir el consumo de energía de los servidores de los centros de procesamiento de datos [35]:

1. Identificar a los culpables.
2. Habilitar características de ahorro de energía en los procesadores de los servidores.
3. Dimensionar adecuadamente las granjas de servidores.
4. Apagar los servidores cuando no se usen.
5. Retirar los viejos sistemas que no proporcionen trabajo útil.

### · **Climate Savers**

*Climate Savers Computing Initiative* propone a los usuarios particulares tres sencillos pasos para reducir el efecto invernadero y frenar el cambio climático:

1. Activar la gestión del consumo.
2. Comprar equipos energéticamente eficientes.
3. Eliminar el consumo fantasma.

Esta iniciativa también indica las 10 mejores formas de ahorrar energía consumida por los ordenadores domésticos:

1. Usar la gestión de energía del computador y monitorizar su uso. Así se puede evitar la emisión de casi media tonelada de CO<sub>2</sub> y reducir los costes de energía.
2. No utilizar un protector de pantallas. No son necesarios en los monitores modernos y los estudios demuestran que consumen más energía que permitiendo al monitor atenuarse cuando no esté en uso.
3. Si se va a comprar un nuevo equipo, la eficiencia energética debe ser una prioridad a la hora de elegir el ordenador y el monitor, buscando la etiqueta de ENERGY STAR o consultando el catálogo de productos de *Climate Savers Computing*.

4. Reducir el brillo del monitor. La configuración más brillante del monitor consume el doble que la más oscura.
5. Apagar los periféricos, como impresoras, escáneres o altavoces, cuando no se estén usando.
6. Luchar contra el consume fantasma. Poner todos los equipos electrónicos en un mismo enchufe y apagarlo cuando se acabe de utilizar el ordenador.
7. Utilizar un portátil en lugar de un equipo de escritorio, ya que típicamente consumen menos.
8. Cerrar las aplicaciones no utilizadas y apagar el monitor cuando no se utilice.
9. Usar un medidor de consumo para averiguar cuánto consume realmente el ordenador y poder calcular los ahorros efectuados.
10. Establecer varios esquemas de energía para los distintos modos de uso. Por ejemplo, se puede crear un esquema de energía para reproducir CDs de música que apague inmediatamente el disco duro y el monitor, pero que nunca ponga el sistema en modo de espera.

#### · **SNIA Green Storage Initiative**

*SNIA Green Storage Initiative* propone 20 buenas prácticas [29] para la gestión de los datos:

1. Gestionar tus datos.
2. Seleccionar el nivel apropiado de RAID.
3. Virtualizar el almacenamiento.
4. Usar compresión de datos.
5. Incorporar deduplicación de datos.
6. Usar deduplicación de ficheros.
7. Usar aprovisionamiento fino de almacenamiento para servidores.
8. Usar volúmenes redimensionables.
9. Usar instantáneas con posibilidad de escritura.
10. Desplegar almacenamiento en capas.
11. Usar almacenamiento de estado sólido.
12. Usar tecnología MAID y discos de giro lento.
13. Usar subsistemas de cintas.
14. Optimizar el diseño de la infraestructura.



15. Virtualizar los sistemas de ficheros.
16. Virtualizar los servidores, la infraestructura y el almacenamiento.
17. Usar tecnología UPS *flywheel*.
18. Mejorar la refrigeración del centro de datos.
19. Aumentar la temperatura de funcionamiento del centro de datos.
20. Trabajar con los proveedores regionales.

#### · **Código de Conducta de la Unión Europea**

El Código de Conducta de la Unión Europea para centros de datos ofrece una lista de buenas prácticas [30]. Se espera que los participantes seleccionen, adopten e implementen un subconjunto de estas prácticas dependiendo, por ejemplo, de si operan un centro de datos ya establecido o un centro de datos de reciente creación o actualización, o si se está diseñando o construyendo un centro de datos nuevo. Así, las buenas prácticas se etiquetan como obligatorias, opcionales, obligatorias para equipamiento nuevo u obligatorias para centros de datos nuevos o rediseñados.

#### · **Gartner**

Gartner propone las siguientes acciones para mejorar la eficiencia de los centros de datos:

- Seleccionar y diseñar servicios de soporte que cumplan los requisitos de coste, niveles de servicio y rendimiento y que operen de forma co-eficiente.
- Seleccionar equipamiento de TI de acuerdo a una evaluación de su impacto ambiental durante toda su vida útil.
- Fomentar el uso de generación distribuida (local) de energía usando cogeneración (*Combined Heat and Power, CHP*), que puede ofrecer mayor eficiencia y un ROI positivo.
- Realizar un estudio del PUE para proporcionar elementos para comprender la eficiencia energética de la infraestructura de soporte del centro de datos.
- Considerar la eficiencia energética de la carga de trabajo a través de pruebas de utilización de servidores y otros métodos.
- Establecer objetivos de eficiencia energética, gestión de residuos, gestión de recursos y capacidad, servicios de soporte y gestión de las instalaciones.
- Medir el consumo de energía en la infraestructura TI, siendo lo más granular posible, instalando subcontadores individuales en puntos apropiados (*submetering*) y, al final del todo, midiendo la energía que entra en el centro de datos, o la que proporciona la compañía eléctrica .

## - IBM

IBM ha preparado una completa guía [31] para ayudar a las organizaciones a ser más eficientes energéticamente, incluyendo buenas prácticas para elaborar una estrategia, para seleccionar el equipamiento de TI y para diseñar las instalaciones.

## - Google

Google también ofrece una serie de recomendaciones [36] para mejorar la eficiencia de las instalaciones. Algunos de los consejos de sus expertos son:

- Medir el PUE: conocer la eficiencia de los centros de datos por medio de la medida del consumo de energía y la monitorización frecuente del PUE (*Power Usage Effectiveness*).
- Gestionar el flujo de aire: una buena gestión del flujo del aire es fundamental para un funcionamiento eficiente de los centros de datos. Se empieza minimizando la mezcla de aire frío y caliente y eliminando puntos calientes.
- Ajustar el termostato: aumentar la temperatura de la sala fría reduce el uso de energía para refrigeración. En lugar de a 20° C, se puede funcionar a 25° C, ya que la mayoría de los fabricantes de equipamiento lo permiten.
- Usar refrigeración gratuita: los economizadores de agua o aire pueden mejorar significativamente la eficiencia energética.
- Optimizar la distribución de la energía: usar, siempre que sea posible, transformadores y sistemas SAI o UPS de alta eficiencia.
- Comprar servidores eficientes: la iniciativa ofrece recursos para identificarlos.

## 4.2 Recomendaciones a nivel de PC

Aunque ya introducidas en el apartado anterior, conviene volver a destacar recomendaciones y medidas destinadas al ahorro energético del uso del PC, dado su papel fundamental dentro de los sistemas TI. Así, se recomienda:

- Ajustar los parámetros de ahorro de consumo de forma que pasen a estados de baja energía al cabo de unos 15 minutos de inactividad.
- Sustituir en la medida de lo posible los monitores por pantallas LCD, mucho más eficientes energéticamente.
- Apagar los ordenadores al concluir la jornada de trabajo.
- Siempre que sea posible, utilizar ordenadores portátiles frente a los de sobremesa (son también mucho más eficientes energéticamente).
- Utilizar líneas comunes de conexión de forma que se puedan desconectar todos los equipos periféricos de una vez (impresoras, faxes, scanners, etc.).
- En la configuración de los ordenadores elegir los elementos estrictamente necesarios: no tiene sentido una tarjeta de gráficos potente si sólo se le va a dar utilización de escritorio (MS Office principalmente). El consumo de los LCD/TFT es proporcional al tamaño, por lo que no se deben utilizar pantallas muy grandes salvo necesidades estrictas del trabajo (diseño). Además, el nivel de brillo aplicado debe ser lo más bajo posible, pues según se incrementa este parámetro se produce un aumento del consumo del LCD.
- Interesa utilizar fuentes de alimentación adecuadas para el consumo de pico del sistema que nutren (cuanto mayor es la fuente, mayor será su consumo y sus pérdidas) con los mejores valores de eficiencia posibles (alta eficiencia y con poca variación de la eficiencia con la carga).

Prestaciones no siempre van en dirección opuesta con el consumo. Si se dispone de un sistema basado en un potente microprocesador pero con consumo en períodos de inactividad muy bajo puede ser más eficiente que un microprocesador con menor consumo pero con peores prestaciones. Esto es debido a que el primer microprocesador terminará más rápido sus tareas y pasará más tiempo en el estado de bajo consumo.

Otro punto importante es que no hay que mirar sólo el consumo del microprocesador, sino también el de la placa madre y del chipset, pues puede que la suma de ambos contrarreste los posibles ahorros del microprocesador.

A nivel de control de temperatura, se debe considerar:

- Sistemas de ventilación eficientes y por lo tanto menos ruidosos (ventiladores avanzados funcionando a menor régimen de revoluciones).
- Fuentes de alimentación con la mejor eficiencia energética posible, pues las pérdidas se traducen en calor. Además, con sistemas de ventilación adecuados (bien situados, con bajo nivel de ruido, etc.) que permitan facilitar la refrigeración del sistema completo.
- Refrigeración de discos duros también en ordenadores personales y estaciones de trabajo:
  - Mediante cajas diseñadas para mejorar los flujos de ventilación.
  - Utilizando discos con múltiples modos de operación.

## 4.3 Recomendaciones a nivel de gobernanza de las TI

Está claro que aún cuando hay avances técnicos que tienen lugar continuamente y que permiten reducir el gasto de energía en dispositivos, este hecho no tiene ningún efecto si las empresas no implementan una estrategia de Green IT dentro del gobierno de las TI.

Según [67] es posible definir una lista de aspectos que inciden en poder llegar a tener una reducción clara del gasto energético en la empresa:

1. Implementar la función de responsabilidad social corporativa que sea activa. Esta función debería reunir todas las políticas que incluyan gestión de la cadena ética de suministro de forma que sea posible asegurar que la política de compras esté en conformidad con la legislación local y que al tiempo sea adecuada desde un punto de vista ecológico. Esta función debe ser apoyada con fuerza desde la dirección de la empresa y es difícil que se consigan resultados sin tener implementada de forma adecuada la RSC.
2. Valorar la huella de carbono de la compañía. Considerar aspectos tales como iluminación, calefacción, aire acondicionado, centros de procesos de datos, coches, y flotas de camiones, viajes de negocios, distribución y reciclado. La evaluación debe ser realista definiendo metas agresivas aunque accesibles. Es posible encontrar diferentes calculadores.
3. Evaluar la PUE (Efectividad del Uso de la Energía) del centro de proceso de datos. Este es el ratio de la energía que entra en el centro de datos y se utiliza para hacer funcionar el *hardware* de TI, y es una métrica para la eficiencia del centro de datos.
4. Asegurarse que TI y negocio van unidos. La búsqueda de Green IT no puede ser a expensas de las necesidades de negocio, sino todo lo contrario. La estrategia Green IT tiene que ser parte de la estrategia de negocio, con lo que se consigue, de paso, que estén alineadas. Esto implica por otra parte, que la estrategia de negocio debe considerar las ventajas de la búsqueda de Green IT, tales como conseguir una mayor eficiencia en los costes, y mejores prácticas en el sitio de trabajo.
5. Conseguir que cumplir las metas de la organización sea responsabilidad de todos. Utilizar la red interna de la empresa o un tablón de anuncios para regularmente hacer público el progreso en los objetivos planteados y asesorar en su consecución. Por ejemplo, si el objetivo es ahorrar energía las recomendaciones propuestas podrían ser reciclar o apagar los equipos cada día al salir del trabajo.

6. Considerar el ciclo de vida completo del producto cuando se contemplen mejoras tecnológicas. ¿Es suficiente que los equipos hagan un uso más eficiente de la energía para compensar el impacto ambiental que provoca el desecho de los equipos antiguos, el proceso de fabricación de los nuevos y el transporte de éstos a las instalaciones de la organización? Cualquiera que sea la decisión tomada tendrá un impacto medioambiental. Considerar todos los factores es fundamental para tomar una decisión ecológica.
7. Trabajar con proveedores que consideren minimizar el impacto del carbono de los equipos de TI. Negociar las adquisiciones no sólo basándose en el coste sino plantear también este aspecto con los proveedores e incluso con aquellos que proporcionan servicios de datos. Determinar cómo los proveedores pueden ayudar a mejorar el impacto del carbono producido por TI. Recordar que los proveedores también obtendrán beneficios de este enfoque pues pueden utilizar sus credenciales ecológicas para su propio éxito.
8. Entender que un incremento del gasto en TI y de las infraestructuras en TI no implica necesariamente un impacto medioambiental negativo. Por ejemplo, invertir en videoconferencias y software colaborativo puede ayudar a reducir el gasto energético en viajes internacionales. En la oficina utilizar equipos cliente de sobremesa pueden reducir el consumo de energía y ruido, mientras que los sistemas que permiten regular la calefacción, la iluminación y aire acondicionado reduce también el consumo de energía y costes.
9. Determinadas nuevas tecnologías son muy importantes para facilitar el ahorro de energía. En este sentido tenemos “Clouds”, virtualización, el software como servicio (SaaS), la oficina (desktop) como un servicio y código fuente abierto, son tecnologías que tienen ventajas desde el punto de vista de Green IT. Por ejemplo, desktops como *thin clients* reducen la cantidad de energía consumida, y el volumen de hardware físico. Desde el punto de vista de trabajo se incrementa la movilidad y los datos están más controlados y seguros.
10. Considerar la posibilidad de obtener ayudas. Investigar si ya existe un órgano dedicado al mantenimiento sostenible en el sector de la organización buscando la posibilidad de crear una guía para conseguir los objetivos medioambientales en el sector. Existen muchas organizaciones que pueden guiar en este aspecto:
  - Organizaciones especializadas en la evaluación del impacto del carbono. En muchos lugares los propios gobiernos proporcionan este tipo de servicios. Además, existe una creciente proliferación de organizaciones especializadas en ofrecer estos servicios.
  - Consultores de negocio, consultores tecnológicos y externalizadores proporcionan guías para prácticas apropiadas del negocio y despliegue tecnológico.

- Órganos gubernamentales como la Agencia de Protección Ambiental (EPA) o cuasi-gubernamentales como *Carbon Trust* en Reino Unido.
- Empresas de servicios disponen frecuentemente de asesores para guiarles sobre las prácticas, tarifas, etc. en aspectos medioambientales.
- Especialistas en infraestructuras para centros de datos aconsejan sobre la mejor opción para cada centro concreto.





## CAPÍTULO 5

# Conclusiones

Hoy en día las Tecnologías de la Información no pueden permanecer ajenas a la enorme problemática existente en el medio ambiente: contaminación, calentamiento global, efecto invernadero, etc. La iniciativa Green IT pretende contribuir de forma sustancial al cuidado y mantenimiento de los ecosistemas naturales desde los equipos de las Tecnologías de la Información, haciendo posible un desarrollo sostenible. Dentro de las políticas que se siguen en Green IT, una de las más importantes es la que promueve un aumento de la eficiencia energética de los equipos electrónicos, pues las fuentes de energía eléctrica son una de las principales causas del increíble aumento de la huella contaminante en el planeta.

En la actualidad son ya múltiples las regulaciones encaminadas a exigir un mayor aprovechamiento energético (*Energy Star* en EEUU, Eco-diseño en Europa), y lo que es más importante, los ciudadanos han comenzado a tomar conciencia de la importancia del respeto al medio ambiente. Por estos motivos las principales empresas del sector TI han iniciado serios programas de adaptación a las tecnologías verdes y han hecho especial hincapié en ofrecer productos caracterizados por una mejor eficiencia energética. Estos cambios en el consumo demandado por este tipo de tecnologías se pueden ver desde tres puntos de vista bien diferenciados: el de los equipos *hardware*, el del *software* y el de sistemas.

Desde el punto de vista *hardware*, el problema de la eficiencia energética se está abordando en dos frentes. Un primer frente busca la reducción del consumo de potencia de los componentes electrónicos, principal fuente de disipación de energía en los equipos TI. Otro frente se encamina a reducir la temperatura de funcionamiento de los equipos, pues requiere costosos sistemas de refrigeración que a su vez consumen más energía eléctrica. Ambos frentes están relacionados, pues la reducción del consumo de potencia en parte sirve para bajar la temperatura de funcionamiento, pero no siempre es así. En el informe se ha revisado cuáles son las principales fuentes de consumo de potencia en los ordenadores personales, principal elemento de los equipos TI. En particular, se ha analizado el consumo en los microprocesadores, en los discos duros, fuentes de alimentación y monitores. También se ha observado el patrón de consumo de los ordenadores portátiles. Finalmente, se ha estudiado el problema de la elevación de temperatura en los equipos electrónicos y las políticas que se están planteando para su resolución.

Desde el punto de vista del *software*, la idea es tener sistemas operativos más eficientes. Esto significa gestionar mejor los recursos de manera que se obtengan las metas realmente importantes pero con menor gasto. Para ello, los sistemas operativos y los compiladores cada vez más interaccionan con el *hardware* (discos, memorias, procesador) que es donde se produce el gasto energético. Esta interacción lleva a permitir optimizar los procesos con un gasto de energía mínimo.

Progresivamente, se está yendo a dar peso a una gestión integral. Es decir, se está tomando conciencia de que se ahorra poco si tenemos máquinas que gastan poco pero mal utilizadas. Esta gestión y gobierno, analizado en secciones anteriores, está cobrando peso día a día. También hay que considerar que las políticas de Green IT, según opinan los expertos, permiten obtener un ahorro no solo en términos energéticos sino también financieros. Pero para que esto ocurra deben estar perfectamente integradas en el gobierno de la empresa, y por supuesto, de las TI.



## CAPÍTULO 6

### Referencias

- [1] Gartner, "Top Ten Strategic Technologies for 2009".
- [2] Gartner, "Eight Critical Forces Shape Enterprise Data Center Strategies" by Rakesh Kumar, 02/08/07.
- [3] IDC, "Enterprise Class Virtualization 2.0 Application Mobility, Recovery, and Management", Doc # DR 2007\_5MEW, February 2007.
- [4] IDC, "Green IT Survey".
- [5] San Murugesan, "Harnessing Green IT: Principles and Practices", IT Professional vol. 10, issue 1, January/February 2008, pp. 24-33.
- [6] Gordon Moore, "Cramming more components onto integrated circuits", Electronics Magazine, 19 de abril, 1965.
- [7] NS Kim, T Austin, D Baauw, T Mudge, K Flautner, JS Hu, MJ Irwin, M Kandemir, V Narayanan, "Leakage Current: Moore's Law Meets Static Power", IEEE Computer, vol. 36, no. 12, Dec. 2003.
- [8] M. Bray, "Review of Computer Energy Consumption and Potential Savings", Dragon Systems Software Limited (DssW), December 2006. <http://www.dssw.co.uk>.
- [9] Kaoru Kawamoto, Yoshiyuki Shimoda, Minoru Mizunob, "Energy saving potential of office equipment power management", Elsevier Journal of Energy and Buildings 36 (2004) 915-923.
- [10] Paul Zagacki and Vidoot Pondala, "Power Improvements on 2008 Desktop Platforms", Intel Technology Journal, Volume 12, Issue 03, November 2008.
- [11] <http://www.upenn.edu/computing/provider/docs/hardware/powerusage.html>.
- [12] Webber, C. A., Roberson, J. A., McWhinney, M. C., Brown, R. E., Pinckard, M. J. and Busch, J. F., "After-hours Power Status of Office Equipment in the USA", Energy, 31, 2006, 2823-2838.
- [13] Mahesri Aqeel, Vardhan Vibhore, "Power consumption breakdown on a modern laptop", 4th international workshop Power-aware computer systems, Lecture notes in computer science, Dec. 2004.
- [14] <http://www.samsungsdi.com/contents/en/product/oled/overview.html>.
- [15] <http://www.tomshardware.com>.
- [16] <http://www.upenn.edu/computing/provider/docs/hardware/powerusage.html>.
- [17] [www.opensparc.net](http://www.opensparc.net).
- [18] Ana Sonia Leon, Kenway W. Tam, Jinuk Luke Shin, David Weisner and Francis Schumacher, "A Power-Efficient High-Throughput 32-Thread SPARC Processor", IEEE Journal of Solid-State Circuits, Vol. 42, No. 1, January 2007. pp. 7-16.

- [19] <http://www.acpi.info/>.
- [20] Ravi Mahajan, Chia-pin Chiu, and Greg Chrysler, "Cooling a Microprocessor Chip", Proceedings of the IEEE, Vol. 94, No. 8, August 2006, pp. 1476-1486.
- [21] Pablo Ituero, José Luis Ayala, and Marisa López-Vallejo, "A Nanowatt Smart Thermal Sensor for Dynamic Temperature Management", IEEE Sensors Journal. Dec. 2008.
- [22] Jeonghwan Choi; Youngjae Kim; Sivasubramaniam, A.; Srebric, J.; Qian Wang; Joonwon Lee, "A CFD-Based Tool for Studying Temperature in Rack-Mounted Servers," Computers, IEEE Transactions on , vol.57, no.8, pp.1129-1142, Aug. 2008.
- [23] G. J. Popek and R. P. Goldberg, "Formal Requirements for Virtualizable Third Generation Architectures", Communications of the ACM 17 (7): 412 –421, 1974.
- [24] "Understanding Full Virtualization, Paravirtualization, and Hardware Assist", VMware.
- [25] "Reduce Energy Costs and Go Green with VMWare Green IT Solutions", VMware.
- [26] "How VMware Virtualization Right-sizes IT Infrastructure to Reduce Power Consumption", VMware.
- [27] <http://www.vmware.com/solutions/green/calculator.html>.
- [28] Gartner, "Gartner Says Agility Will Become the Primary Measure of Data Centre Excellence by 2012", 10/24/07.
- [29] "Best Practices for Energy Efficient Storage Operations", SNIA Green Storage Initiative.
- [30] "Best Practice Guidelines for the EU Data Centre Code of Conduct".
- [31] "The Green Data Center: Steps for the Journey", IBM RedPaper 4413, agosto de 2008.
- [32] I. Foster and C. Kesselman "The Grid: Blueprint for a New Computing Infrastructure", Morgan-Kauffman, 1999.
- [33] Gartner, "How IT Management Can 'Green' the Data Center".
- [34] Green House Data, <http://www.greenhousedata.com>.
- [35] The Green Grid, "Five Ways to Reduce Data Center Server Power Consumption".
- [36] Google's Data Center Best Practices (<http://www.google.com/corporate/green/datacenters/best-practices.html>).
- [37] Energy Star Specifications ([http://www.energystar.gov/index.cfm?fuseaction=find\\_a\\_product.ShowProductGroup&pgw\\_code=C0](http://www.energystar.gov/index.cfm?fuseaction=find_a_product.ShowProductGroup&pgw_code=C0)).
- [38] Green Living Tips Website (<http://www.greenlivingtips.com/articles/93/1/Standby-power-electricity-consumption.html>).
- [39] Cnet Review ([http://reviews.cnet.com/4520-11412\\_7-6629928-1.Html](http://reviews.cnet.com/4520-11412_7-6629928-1.Html)).

- [40] <http://www.electronicproducts.com>.
- [41] E. Conde, F. Puente, A. Ramos, P. Reina, "Eficiencia Energética", V Foro Universidad Empresa, UPM, Diciembre 2008.
- [42] Jose Allarey, Varghese George, Sanjeev Jahagirdar, "Power Management Enhancements in the 45nm Intel® Core™ Micro-architecture", Intel Technology Journal, Volume 12, Issue 03, November 2008.
- [43] "Intel is Leading the Way in Designing Energy-Efficient Platforms", White Paper, [www.intel.com](http://www.intel.com).
- [44] Stephen H. Gunther, Frank Binns, Douglas M. Carmean, Jonathan C. Hall, "Managing the Impact of Increasing Microprocessor Power Consumption", Intel Technology Journal, Q1, 2001.
- [45] Paradiso, J.A., Starner, T., "Energy scavenging for mobile and wireless electronics", Pervasive Computing, IEEE , vol.4, no.1, pp. 18-27, Jan.-March 2005.
- [46] Sheng-Chih Lin and Kaustav Banerjee, "Cool Chips: Opportunities and Implications for Power and Thermal Management", IEEE Trans. on Electron Devices, Vol. 55, No. 1, January 2008.
- [47] Ayala, Jose L.; Apavatjirut, Anya; Atenza, David; Lopez-Vallejo, Marisa, "Exploring Temperature-Aware Design of Memory Architectures in VLIW Systems", IEEE International Workshop on Innovative Architecture for Future Generation Processors and Systems, 2007. IWIA 2007. Jan. 2007 pp: 81 - 87.
- [48] Skadron, K., Stan, M. R., Huang, W., Velusamy, S., Sankaranarayanan, K., and Tarjan, "Temperature-aware microarchitecture", D. Computer Architecture News 31, 2 (May. 2003).
- [49] Dave Pivin, "Thermal management choices for new PCs", Hearts Electronic Products, May 2005.
- [50] ICT for Energy Efficiency: [http://ec.europa.eu/information\\_society/activities/sustainable\\_growth/energy\\_efficiency/index\\_en.htm](http://ec.europa.eu/information_society/activities/sustainable_growth/energy_efficiency/index_en.htm).
- [51] Workshop on Compilers and Operating Systems for Low Power (COLP'03).
- [52] "A Survey of Power Management Techniques in Mobile Computing Operating Systems", ACM SIGOPS Operating Systems Review, Volume 29, Issue 4 (October 1995), <http://doi.acm.org/10.1145/219282.219293>.
- [53] Brian Doherty, "Green IT Report 2008", The Computer Equipment Lifecycle Survey. CapGemini.
- [54] Mark Weiser, Brent Welch, Alan Demers, Scott Shenker, "Scheduling for Reduced CPU Energy".



- [55] Mohan Rajagopalan Saumya Debray. Matti A. Hiltunen Richard D. Schlichting, "Reducing the Energy Cost of Application/OS Interactions".
- [56] Chris Gniady, Y. Charlie Hu, and Yung-Hsiang Lu Lee, "Program Counter-Based Prediction Techniques for Dynamic Power Management", Transactions On Computers, Vol. 55, NO. 6, JUNE 2006.
- [57] Yung-hsiang Lu, Luca Benini, Giovanni De Micheli, "Power-Aware Operating Systems for Interactive Systems", IEEE Transactions on VLSI . 10 (119-134) 2002.
- [58] Yunsi Fei, Srivaths Ravi, Anand Raghunathan y Niraj K. Jha, "Energy-Optimizing Source Code Transformations for Operating System-Driven Embedded Software", ACM Transactions on Embedded Computing Systems, Vol. 7, No. 1, Article 2, December 2007.
- [59] Heng Zeng, Carla S. Ellis, Alvin R. Lebeck, Amin Vahdat, "ECOSystem: Managing Energy as a First Class Operating System Resource", ACM 2002.
- [60] Jacob R. Lorch, "Operating systems techniques for reducing processor energy consumption", PhdThesis. University of California at Berkeley. 2001.
- [61] Subhradyuti Sarkar y Dean M. Tullsen. P. Stenström et al, "Compiler Techniques for Reducing Data Cache Miss Rate on a Multithreaded Architecture". (Eds.): HiPEAC 2008, LNCS 4917, pp. 353–368, 2008.
- [62] <http://www.itmanagement.com/green-it>.
- [63] Corné de Graaf, "In Search of Green IT Governance".  
<http://www.greenercomputing.com>.
- [64] "Curbing the growth of global energy demand", McKinsey Quarterly, July 2007.
- [65] "Develop a green strategy for the entire organization with IBM software". Green IT, White paper October 2008.
- [66] Stephen Nunn, "Green IT: beyond the data center. How IT can contribute to the environmental agenda across and beyond the business".
- [67] Brian Doherty, "Green IT Report 2008. The Computer Equipment Lifecycle Survey", CapGemini.
- [68] "Where the cloud meets the ground". The Economist, October 2008.
- [69] "Reducing Data Center Energy Consumption", A summary of strategies used by CERN, Intel Xeon Processor, Data Center Optimization, CERN OpenLab, 2004.
- [70] "Green Grid Metrics: Describing Datacenter Power Efficiency", The Green Grid, White Paper, February 2007.
- [71] Data Center Energy Profiler, <http://dcpro.ppc.com/>, consultado en diciembre 2008.

- [72] Data Center Assessment Tools. <http://hightech.lbl.gov/dc-assessment-tools.html>, consultado en diciembre 2008.
- [73] U.S. Department of Energy, Energy Efficiency and Renewable Energy. [http://www1.eere.energy.gov/industry/saveenergynow/partnering\\_data\\_centers.html](http://www1.eere.energy.gov/industry/saveenergynow/partnering_data_centers.html), consultado en diciembre 2008.
- [74] Lenovo, Calculadora de eficiencia energética, <http://lenovo.contact-tool.com/spain/listener.cfm?PassID=0C4D50A5-A381-419D-A8D3-5836F963EC92&LinkID=10>.
- [75] Code of Conduct on Data Centres Energy Efficiency - Version 1.0, European Commission Directorate - General JRC, Institute for Energy, Renewable Energies Unit, 30 October 2008. <http://re.jrc.ec.europa.eu/energyefficiency/pdf/CoC%20data%20centres%20nov2008/CoC%20DC%20v%201.0%20FINAL.pdf>

ANEXO

Listado de patentes relevantes:  
gestión de energía y temperatura en PC

Para acceder a una información más detallada de las patentes recogidas en la siguiente tabla, se puede consultar de forma gratuita la base de datos accesible por el servicio Espacenet, a través de su formulario de búsqueda avanzada<sup>2</sup>, en el que se debe seleccionar la base de datos de patentes a nivel mundial (*Worldwide*) e indicar el número de publicación de la patente de interés en el campo correspondiente. De cualquier forma, para cada patente, se ha incluido como hipervínculo en su número de publicación el enlace a la información completa recogida en la base de datos.

Para las patentes de origen japonés, se puede obtener información completa traducida al inglés accediendo al formulario de búsqueda de la JPO (*Japan Patent Office*)<sup>3</sup>, en el que se debe pulsar el botón *Number Search*, elegir la opción *Publication number*, e introducir el número deseado, separando con un guión el año del resto (p.e., para la patente JP2007272573, se debe introducir "2007-272573"). Una vez seleccionada la patente de la búsqueda, se puede pulsar el botón *Detail* para acceder a una información más completa.

---

<sup>2</sup> [http://es.espacenet.com/search97cgi/s97\\_cgi.exe?Action=FormGen&Template=es/es/advanced.hts](http://es.espacenet.com/search97cgi/s97_cgi.exe?Action=FormGen&Template=es/es/advanced.hts).

<sup>3</sup> <http://www19.ipdl.inpit.go.jp/PA1/cgi-bin/PA1INIT>.

<i>Número de publicación</i>	<i>Título descriptivo</i>	<i>Titular</i>	<i>Fecha publicación</i>
<a href="#">US2007118774</a>	Computing device e.g. portable computer, operating method, involves obtaining set of temperature indications of processor, and activating fan to speed when indications indicate that primary thermal management is required	THOMAS C D, THOMAS A E	2007-05-24
<a href="#">US7454631</a>	Power consumption controlling method for e.g. minicomputer, involves idling active thread in chip according to thermal control bit setting in response to identify imminent overheat condition performed without software intervention	SUN MICROSYSTEMS INC	2008-11-18
<a href="#">US2008215901</a>	Temperature sensing control apparatus for use in e.g. computing device, has power management circuit that compares processing load with processing capacity and power management circuit adjusts voltage supply level based on comparison	BEARD PAUL [US]	2008-09-04
<a href="#">US2008104430</a>	Power and performance managing method for use in server, involves performing optimization evaluation of performance metrics and tuning independent compute cells based on optimization evaluation	HEWLETT-PACKARD DEV CO LP (and individual assignees)	2008-05-01
<a href="#">EP1855182</a>	Apparatus to support power management for e.g. computer system, has interrupt handler that cause processing unit to transition into reduced power mode in response to standby command from operating system	INTEL CORP	2007-11-14
<a href="#">JP2007272573</a>	Memory management method of computer system, involves activating or deactivating electric power state based on inclusion of allocation of storage area for memory rank	HITACHI LTD	2007-10-18
<a href="#">US2007245161</a>	Computing system e.g. web server, for e.g. monitoring power usage, has power management logic configured to monitor power consumption of components over duration, and adjusting power cap based on monitored power consumption	HEWLETT-PACKARD DEV CO LP (and individual assignees)	2007-10-18
<a href="#">W02007106350</a>	Method for performing power management on component of computing device, involves adjusting frequency of clock signal applied to component when warranted and also idling component when component experiences period of inactivity	MICROSOFT CORP	2007-09-20
<a href="#">US2007157035</a>	Semiconductor device`s run time power estimation computing device e.g. processor, for use in e.g. memory controller device, has power management logic throttling device and logic blocks when power estimate reaches value	INTEL CORP	2007-07-05

<i>Número de publicación</i>	<i>Título descriptivo</i>	<i>Titular</i>	<i>Fecha publicación</i>
<a href="#"><u>US2007118771</u></a>	Blade computing system`s e.g. server blade system, power managing method, involves continuously monitoring power allocated for fully- powered-up components, and retrieving maximum power value for component requesting full power-up	IBM CORP	2007-05-24
<a href="#"><u>US2007074059</u></a>	Processor design dynamic power management implementing method for computer system, involves detecting stall condition within pipeline stage, and gating off clock to registers using idle control logia	IBM CORP	2007-03-29
<a href="#"><u>US2007050654</u></a>	Apparatus to support power management for e.g. computer system, has interrupt handler that cause processing unit to transition into reduced power mode in response to standby command from operating system	MICROSOFT CORP	2007-03-01
<a href="#"><u>US2006294406</u></a>	Power consumption managing chip for e.g. server, has input/output controller with power management logic which places processor in non-snoopable state if traffic between interface and storage device ceases for period of time	INTEL CORP	2006-12-28
<a href="#"><u>WO2006121682</u></a>	Throttled device`s e.g. microprocessor, temperature managing method for e.g. computer, involves determining temperature of processor, and moving upper and lower operating points towards one another in response to determination	INTEL CORP	2006-11-16
<a href="#"><u>US2006253715</u></a>	Voltage and frequency scheduling method for processor in data processing system, involves selecting lowest frequency such that performance loss at selected frequency versus maximum frequency is less than specified constant value	IBM CORP	2006-11-09
<a href="#"><u>US2006218423</u></a>	Thermal management method involves transmitting average power data to source device having thermal influence on target device	INTEL CORP	2006-09-28
<a href="#"><u>US2005283625</u></a>	Power managing method for use in e.g. notebook personal computer, involves applying voltage from voltage regulator to component of computing system, and reducing voltage based on parameter that is dedicated to component	INTEL CORP	2005-12-22

<i>Número de publicación</i>	<i>Título descriptivo</i>	<i>Titular</i>	<i>Fecha publicación</i>
<a href="#">US2005268121</a>	Power management method for hard disk drive, involves accessing power profile indicating power mode for storage array, migrating data from storage unit to active storage unit and altering inactive power consumption mode of storage unit	INTEL CORP	2005-12-01
<a href="#">US2005246558</a>	Power management performing method for e.g. personal computer, involves estimating temperature rise values for temperature rise parameters from current at given mode, and using values to estimate power dissipation of application	HEWLETT-PACKARD DEV CO LP	2005-11-03
<a href="#">JP2005228335</a>	Power supply management architecture of computer system, starts power supply only to required hardware installations of computer system, according to video/music data to be reproduced of different multimedia sources	INTERWAY DIGITAL SCITECH CO LTD	2005-08-25
<a href="#">US2005068311</a>	Display update property e.g. screen resolution, switching method for use in e.g. laptop computer, involves detecting power management event, and changing display update property for video display in response to management event	INTEL CORP (and individual assignees)	2005-07-27
<a href="#">US2005125703</a>	Power management method in processing system used in e.g. laptop computer, involves setting power management state of each memory module provided within processing system by associated local controller	IBM CORP	2005-06-09
<a href="#">US6760850</a>	Computer system e.g. laptop computer, has power management controller receiving AC voltage sense signal and enabling power supply to provide power to wakeup device when assertion of signal causes switch closure	HEWLETT-PACKARD DEV CO LP	2004-07-06
<a href="#">US6711691</a>	Deterministic state changes provision method in e.g. multiprocessor computer system, involves initiating state change sequence at bus controller, on receiving state change request from power manager	APPLE COMPUTER INC	2004-03-23
<a href="#">US6678157</a>	Thermal management assembly for computer system, has duct comprising several guides to allow insertion and removal of fans along transverse direction of the duct	SUN MICROSYSTEMS INC	2004-01-13
<a href="#">US6630754</a>	Microprocessor used in computer system has programmable thermal sensor which generates interrupt signal when output of sense amplifier indicates that temperature of microprocessor exceeds threshold	INTEL CORP	2003-10-07

<i>Número de publicación</i>	<i>Título descriptivo</i>	<i>Titular</i>	<i>Fecha publicación</i>
<a href="#"><u>US6584571</u></a>	Power management unit for computer system, controls power consumption in computer system, by altering bit of memory cell by changing control data in power control lines connected to memory cell in each operating mode	ST CLAIR INTELLECTUAL PROPERTY	2003-06-24
<a href="#"><u>US6535798</u></a>	Computer system has thermal management controller that throttles clock of component while component is in lower performance state, when detected condition of system persists	INTEL CORP	2003-03-18
<a href="#"><u>US2002147932</u></a>	Power utilization and performance management method of multiprocessor VLSI chip in computer system, involves setting global and local controls corresponding to physical parameters obtained based on physical conditions	IBM CORP	2002-10-10
<a href="#"><u>US2002007464</u></a>	Electrical apparatus for high density and modular multi-server computer system, has management unit which controls temperature at sensor by controlling power drawn by electrical circuit	AMPHUS INC	2002-01-17





vt  
mi+d