

UNIVERSIDAD POLITECNICA DE VALENCIA

ESCUELA POLITECNICA SUPERIOR DE GANDIA

I.T. TELECOMUNICACIÓN (SIST. DE TELECOMUNICACIÓN)

---



UNIVERSIDAD  
POLITECNICA  
DE VALENCIA



ESCUELA POLITECNICA  
SUPERIOR DE GANDIA

# “DISEÑO DE "GREEN NETWORKS" UTILIZANDO CONFIGURACIONES OPTIMIZADAS EN LOS DISPOSITIVOS DE RED”

**TRABAJO FINAL DE CARRERA**

Autor/es:

**Sebastián Andrade Morelli**

Director/es:

**Jaime Lloret Mauri**

**Sandra Sendra Compte**

**GANDIA, 2013**

## **AGRADECIMIENTOS**

Dedico este proyecto con el cual finalizo mis estudios universitario, a mis padres los siempre me han apoyado, ayudado y animado desde el principio en esta experiencia de la vida universitaria. Gracias por todo el apoyo y cariño que me habéis dado.

También agradecer a todos los compañeros y compañeras que me han acompañado estos años en la universidad, que han hecho que esta experiencia sea muy grata y fácil.

Y por último agradecer a la Universidad Politécnica de Valencia por haber sido mi casa estos años y a todo el personal de la universidad los profesores, directores, etc. No solo por los conocimientos que me habéis transmitido sino que por el apoyo, flexibilidad y cercanía mostradas siempre. Pero en especial agradecer a mis tutores del proyecto, Jaime Lloret y a Sandra Sendra, por toda la ayuda prestada y la paciencia que han tenido con migo, por lo cual estoy realmente agradecido, y espero poder seguir colaborando y trabajando en un futuro con vosotros.

Muchas Gracias.

Sebastián Andrade Morelli

## INDICE

Capítulo 1. Introducción .....	6
1.1 Introducción .....	6
1.2 Objetivos .....	7
1.3 Precedentes .....	7
1.4 Estructura del Proyecto.....	8
Capítulo 2. Estado del arte.....	10
2.1 Técnicas de ahorro de energía .....	10
2.2 Estudios de consumo de energía .....	11
2.3 Herramientas para monitorizar y estimar el consumo .....	12
3. Descripción del hardware.....	13
4. Banco de Pruebas .....	17
4.1 Routers .....	17
4.2 Switches .....	18
4.3 Puntos de acceso .....	18
5. Resultados de las mediciones.....	19
5.1 Resultados en Routers .....	19
A. Primer caso de estudio .....	19
B. Segundo caso de estudio.....	20
C. Tercer caso de estudio .....	21
D. Cuarto caso de estudio .....	22
E. Quinto caso de estudio .....	23
F. Comparativa .....	24

5.2 Resultados en switches.....	26
A. Dispositivos en modo inactivo.....	27
B. Comunicaciones punto a punto.....	28
C. Comunicación de emisión.....	29
D. Comunicación dentro de las VLAN.....	30
E. Comparativa.....	31
5.3 Puntos de Acceso.....	32
A. Medición para Cisco Systems AIR-AP1131AG-E-K9.....	32
B. Medidas para Cisco Linksys WRT54GL.....	33
C. Medidas para Cisco Linksys WRT320N-EZ.....	33
D. Medidas para D-link DWL-2000Ap +.....	33
E. Medidas para Avaya AP-I.....	34
F. Medidas para Ovislink WX-1590.....	34
6. Topología de red energéticamente eficiente.....	39
7. Conclusiones.....	41
7.1 Cumplimiento del objetivo.....	41
7.2 Conclusiones sobre el proyecto.....	41
7.3 Problemas encontrados y soluciones.....	42
7.4 Aportaciones Personales.....	43
7.5 Futuras Líneas de Trabajo.....	43
8. Bibliografía.....	45



# Diseño de "Green networks" utilizando configuraciones optimizadas en los dispositivos de red.

S. Andrade Morelli  
Universidad Politécnica de Valencia,  
Camino Vera s/n, 46022, Valencia, Spain  
seanmo@epsg.upv.es

**Abstract:** Due to the development of low cost network technology and the popularization of the Internet of Things, the expansion of telecommunications networks seems limitless, allowing even providing Internet access in rural areas in developing countries. This wide expansion makes the energy consumption of network devices a key point for its economic and environmental impact when designing a new network. Therefore, a key issue in the design of a communication network is to know which model from which brand should be used for each device as well as its settings must be adequate to ensure the optimal energy consumption. In this project we present a study on energy consumption in routers, switches and wireless access points for being the main network devices. This study measures the power consumption of these network devices from different manufacturers with different topologies and configurations. In this way we will determine which models consume less energy and the influence of the configuration on energy consumption. The goal is to find the optimal parameters to achieve a reduction in energy consumption in these devices, thus ensuring a responsible energy design. The objective of this study is to serve as reference to develop energy-optimal communications networks.

**Resumen:** Debido al desarrollo de las tecnologías de red de bajo costo y la popularización de la Internet de las cosas, y que la expansión de redes de telecomunicaciones parece ilimitada, permitiendo incluso proporcionar acceso a Internet en las zonas rurales de los países en desarrollo. Esta amplia expansión hace que el consumo de energía de dispositivos de red sea un punto clave por su impacto económico y ambiental al diseñar una nueva red. Por lo tanto, una cuestión clave en el diseño de una red de comunicación es saber qué modelo y marca debe utilizarse para cada dispositivo, además su configuración debe ser adecuada para garantizar el consumo de energía óptima. En este proyecto se presentará un estudio sobre el consumo de energía en routers, switches y puntos de acceso inalámbricos, los dispositivos de red principales. Este estudio mide el consumo eléctrico de estos dispositivos de la red de diferentes fabricantes con distintas topologías y configuraciones. De esta manera se determinará que modelos consumen menos energía y la influencia de la configuración en dicho consumo de energía. El objetivo es encontrar los parámetros óptimos para lograr una reducción en el consumo de energía en estos dispositivos, garantizando un diseño responsable de energía. El objetivo de este estudio es servir como referencia para desarrollar las redes de comunicaciones energéticamente óptimas.

# Capítulo 1. Introducción

## 1.1 Introducción

La popularización de la Internet de las cosas, el aumento de los dispositivos móviles, el avance de las nuevas tecnologías y la implantación de nuevos servicios de red como datos, telefonía IP, IPTV, etc. [1] (que implican más usuarios conectados durante más tiempo) están generando un aumento significativo de las infraestructuras de red, tales como routers, switches, puntos de acceso (APs), hubs, etc. Este incremento provoca un aumento en el consumo de energía en las redes [2]. Esto se está convirtiendo en un problema medioambiental que necesita ser tratado. Por otra parte, el precio de la energía también está aumentando significativamente. Por estas razones económicas y ambientales, la reducción del consumo de energía es un tema crítico para las empresas que trabajan en la tecnología de información y centros de telecomunicaciones, especialmente cuando se utilizan las redes de datos, tales como “grid computing” y datos [3].

Debemos tener en cuenta que los dispositivos de red funcionan mejor dentro de un rango de temperatura. El rango de temperatura especificado por el fabricante es generalmente entre 0-40 ° C [4,5], pero este valor varía dependiendo del dispositivo o de la tarea que se está ejecutando. Esto implica la necesidad de instalar un buen sistema de enfriamiento en esas habitaciones donde alojar estos dispositivos, para asegurar su buen funcionamiento al máximo rendimiento. Y cuantos más dispositivos, más potencia de refrigeración debe ofrecer el sistema, lo que se traduce en un alto consumo de energía añadida a la propia red [6].

En la actualidad, las nuevas soluciones energéticas basadas en la introducción del protocolo de transmisión IP a todas las áreas de la red están siendo implementadas. La migración de estos sistemas a las redes de próxima generación (NGN) genera un ahorro energético entre el 30 y el 40% [7]. Además, la incorporación de sistemas de conmutación y enrutamiento IP permiten mejorar la eficiencia energética de las redes de transmisión de datos y transmisión de voz, donde se ha producido una reducción de los requisitos de la capacidad de la red entre 60 y 70% [7].

Por otro lado, otra alternativa para el ahorro de energía es el uso de las redes inalámbricas, ya que ofrecen la posibilidad de construcción de redes de telecomunicaciones de bajo costo, y permiten el acceso a Internet en las zonas de difícil acceso, como las zonas rurales [8]. También una posible solución que se está aplicando en la actualidad es colocar los puntos de acceso conectados a los paneles solares y baterías. Esta técnica contribuye al ahorro de consumo de energía de estos [9] dispositivos.

Las técnicas de ahorro energético aumentarán la eficiencia de la red, y por lo tanto permitirán reducir los costes económicos y el impacto ambiental. Si la red a la que se aplican está diseñada seleccionando las configuraciones energéticamente más eficientes, menos energía será necesaria suministrar a un centro de la red de distribución principal y a sus dispositivos de red.

## **1.2 Objetivos**

En este proyecto se presenta un estudio sobre el consumo de energía en varios dispositivos de red que han sido utilizados para aplicar las infraestructuras de red de comunicaciones. Las conclusiones extraídas de este proyecto podrían permitirnos determinar los parámetros óptimos para reducir el consumo de energía en este tipo de redes.

De esta manera se determinará que modelos consumen menos energía y la influencia de la configuración en dicho consumo de energía. El objetivo es encontrar los parámetros óptimos referentes a modelos, protocolos y configuraciones para lograr una reducción en el consumo de energía en estos dispositivos, garantizando un diseño responsable de energía. El objetivo de este estudio es servir como referencia para desarrollar y diseñar redes de comunicaciones energéticamente óptimas.

## **1.3 Precedentes**

Hasta la fecha de ejecución de este proyecto, "Diseño de "Green networks" utilizando configuraciones optimizadas en los dispositivos de red", no hay ningún proyecto que trate el tema del ahorro energético en redes de datos, pero se ha encontrado un proyecto relacionado desde el punto de vista del ahorro económico. Dicho proyecto se titulaba "Diseño De Soluciones Telemáticas De Muy Bajo Coste Basado En Software Libre Para Asociaciones Solidarias", realizado por Josep Girbés Ribes en el año 2005. Y también fue dirigido por Jaime Lloret. En él se plantean dispositivos y configuraciones de red de bajo coste, por ello el proyecto que se describirá a continuación podría complementar al realizado en el año 2005, permitiendo, además del ahorro económico en cuanto a dispositivos y configuraciones, lograr un económico desde el punto de vista energético.

## 1.4 Estructura del Proyecto

El proyecto está estructurado de la siguiente manera. El capítulo 2 presenta algunos trabajos relacionados y el estado de la técnica con respecto a la estimación del consumo y el ahorro de energía en los dispositivos de red. En esta sección encontrará estudios sobre el consumo, artículos que describen herramientas para hacer una estimación del consumo de los dispositivos y otros que propone una serie de técnicas aplicadas en los dispositivos, que permiten reducir el consumo en las redes de comunicaciones.

Para las pruebas, se han montado varias topologías de red, que consisten en varios dispositivos de red. En la sección 3 se puede ver las características de los dispositivos utilizados. Para ello se han seleccionado las que se han considerado las características más relevantes e influyente en el resultado del estudio, es decir aquellas que directa o indirectamente dependiendo del estado de trabajo introducen fluctuaciones en el nivel de energía requerido por los dispositivos sometidos a estudio.

En la sección 4, se muestran las diferentes topologías que vamos a utilizar para hacer nuestros estudios. Dichas topología serán sometidas a diferentes situaciones y configuraciones, tales como cambios en los protocolos de comunicación utilizados, en las capacidades de la propia red en función de las características de los modelos y marcas utilizados para cada caso de estudio.

En la sección 5 veremos los resultados de las mediciones obtenidas en las distintas pruebas. Esta sección a su vez está estructurada en tres partes bien definidas por cada uno de los dispositivos sometidos a estudio.

Por un lado, se estudiarán los routers. Consideramos una topología compleja para estudiar el rendimiento en términos de consumo de energía en los diferentes protocolos de enrutamiento estático y dinámico como el de las diferentes marcas y modelos de estos dispositivos. También se realiza un estudio comparativo de la temperatura que alcanza el router a pleno rendimiento, ya que el calor también se traduce en energía.

Por otra parte, se estudiará el consumo de energía que realizar diferentes marcas y modelos de switches en diferentes situaciones y configuraciones con el fin de determinar qué dispositivos son más apropiados cuando hacemos una instalación de una red de comunicación, teniendo en cuenta el número de puertos necesarios , la cantidad de información que se transmiten a través de ellos y la posibilidad de la evolución de la red, lo que directa o indirectamente implica un aumento en el consumo de energía del dispositivo.

Los puntos de acceso son el último tipo de dispositivo que vamos a estudiar. En este caso vamos a basar el estudio en el funcionamiento de los mismos en diferentes situaciones cuando se utilizan diferentes protocolos inalámbricos (IEEE 802.11a/b/g/n [10]), dependiendo de la marca, el modelo y su configuración.

En la sección 6 se propone un diseño de la topología mediante dispositivos energéticamente eficientes y deficientes de energía, en la que se hace una comparación entre el consumo de energía de dispositivos y configuraciones energéticamente eficientes, y dispositivos y configuraciones deficientes en términos de consumo de energía. Con el objetivo de determinar un plan de distribución de energía eficiente en redes inteligentes.

Por último en el capítulo 7, se recogerán todas las conclusiones relativas al presente proyecto, en ellas destacaremos las principales ideas que se irán obteniendo como resultado del estudio a realizar. Además se tratará el impacto socio económico que implica el ahorro energético en las redes de comunicaciones, proponiendo que a la hora de diseñar redes se tengan en cuenta los parámetros y factores más influyentes en el consumo energético, que se obtendrán como resultado de este proyecto.

## Capítulo 2. Estado del arte

El problema de ahorro de energía en redes de comunicación está siendo investigado ampliamente. Puedes encontrar distintos tipos de estudios y trabajos publicados anteriormente. Esta sección describe algunas de las obras se centraron en la reducción del consumo de energía en las redes de comunicación. Se verán algunos de los principales proyectos relacionados con la aplicación y desarrollo de técnicas para el ahorro de energía en las redes. También se tratan algunos estudios, encuestas y el ahorro comparativo sobre técnicas de energía que puede ser aplicado en redes de sensores y redes ad-hoc. Finalmente, se presentarán algunas herramientas empleadas para la estimación del consumo de energía en dispositivos de red.

### 2.1 Técnicas de ahorro de energía

En [11], los autores presentan el diseño y la evaluación de los dos tipos de administración de energía, un mecanismo que permite a los dispositivos de red dormir durante el tiempo de inactividad y otra que permite adaptar la velocidad de funcionamiento de la red en función de la carga de trabajo ofrecido. La primera reduce la energía consumida en la ausencia de paquetes, y la segunda reduce el consumo de energía cuando el dispositivo activa el procesamiento de los paquetes.

Con el desarrollo de las redes de comunicación de alta velocidad, el tráfico de Internet ha crecido rápidamente. S. Gao et al. [12], presenta un nuevo método para reducir el consumo de energía en redes de comunicación, que modifica dinámicamente los pesos de los grupos de enlaces y el tráfico en ciertos nodos en la red, permitiendo a los nodos sin carga de trabajo desconectarse y, por lo tanto, ahorrar energía.

Por otro lado hay técnicas que utilizan inteligencia artificial para reducir el consumo de una manera autónoma. R Subrata et. al. presenta en [13], una solución que se basa en la programación de algoritmos para reducir el consumo de potencia en entornos de red, utilizando la teoría de los juegos de ordenador. Esta solución se conserva una cierta calidad de servicio y reducir al mínimo el consumo de energía.

Otro ejemplo de red de comunicación inteligente es el trabajo presentado en [6], donde los autores proporcionan un algoritmo capaz de determinar las posibles desconexiones que se pueden hacer con el objetivo de reducir el consumo de energía sin perder la conectividad de red. De manera similar, F. Hermenier et al. [14], propone una estrategia de concentración de carga de trabajo para apagar los nodos que no están en uso, reduciendo significativamente el consumo total de potencia con un mínimo impacto en el rendimiento.

## 2.2 Estudios de consumo de energía

También hay un gran interés en la reducción del consumo de potencia en redes inalámbricas. L.M. Feeney et al. presenta en [15] un estudio sobre el consumo de energía en las redes inalámbricas en particular redes ad-hoc. En su estudio, se realizan una serie de experimentos para determinar el consumo de interfaces inalámbricas. Y que se podía determinar que los factores más importantes que influyen en el consumo de estos dispositivos son las proporciones relativas de emisión y de tráfico punto a punto, tamaño del paquete y la dependencia de la operación en modo promiscuo.

Por otra parte, el autor, en [16], describe un modelo para evaluar el comportamiento de consumo de energía de una red móvil ad hoc. En concreto, analiza el consumo de energía de dos conocidos protocolos de enrutamiento MANET. En esta obra el autor determina que la energía y ancho de banda son métricas sustancialmente diferentes y que la utilización de recursos en MANET protocolos de enrutamiento no está completamente dirigida por el análisis de ancho de banda-céntrica.

En esta misma línea de las redes inalámbricas, se encuentra el artículo de S. Sendra et al. [17] que muestra una serie de técnicas para reducir el consumo de energía en las redes inalámbricas de sensores, para esto indica como es un nodo sensor y la relación entre el consumo de energía y la cantidad de información transmitida por el hardware utilizado.

Respecto al consumo en redes inalámbricas, también se encuentra el papel de S. Andrade et al. [18]. Donde los autores presentan un estudio sobre el consumo de energía en los puntos de acceso inalámbricos en diferentes situaciones y protocolos inalámbricos. En este trabajo han demostrado que el consumo de energía aumenta cuando se utiliza sólo enlaces aire-aire y cuando está transmitiendo archivos pesados. Asimismo, estos aumentos aparecen cuando se usan otras funciones como el filtro MAC.

Los switches y routers son otros dispositivos importantes que encontramos en cualquier red. En [19], los autores presentan un estudio del comportamiento de los switches en términos de consumo de energía. En su estudio realizaron diferentes pruebas. Se midió el consumo utilizando comunicaciones punto a punto sin VLAN y VLAN y con un PC emitiendo ICMPs en broadcast. Con estas pruebas se demuestra que el número de puertos de los switches afecta bastante en su consumo de energía. Por otra parte no hay diferencias significativas en las comunicaciones punto a punto cuando se utilizan VLANs y cuándo no se utilizan VLANs. Pero si tenemos comunicaciones de broadcast, el consumo aumentará considerablemente.

Como se discutió los routers son un instrumento importante de cualquier red, también es los dispositivos de red que generan un mayor consumo de energía [20]. Además, es importante hacer la elección correcta de los protocolos de enrutamiento. Y la elección correcta de los modelos y marcas de routers porque hay routers que consumen menos que los demás y que pueden ser igual de eficaces y eficientes, o aún mejor.

En [21], los autores hacen un estudio de consumo de energía, donde se propone un modelo de redes ópticas IP para estimar el consumo de energía de estas redes e Internet, ahora y en el futuro. Los autores afirman que en Internet se consume el 0,4% de la energía que consumen en el mundo, y este porcentaje se incrementará gradualmente en el futuro.

### **2.3 Herramientas para monitorizar y estimar el consumo**

No sólo el despliegue físico de las redes es un factor determinante en el consumo de energía, pero las configuraciones, el software del dispositivo, también influyen en el consumo. [22] Los autores presentan un equipo inteligente que permite el ahorro de energía, mediante el enrutamiento inteligente. Estas herramientas están destinadas a controlar el consumo de las redes inalámbricas.

Los fabricantes de equipos de red ofrecen una serie de herramientas de software que permiten estimar la energía aproximada de los dispositivos como routers, switches, etc. El informe publicado en noviembre [23] es una comparación de las aplicaciones que calculan el consumo de energía de los dispositivos. Sin embargo, el documento indica que los resultados proporcionados por este software no son fiables (comparan sus valores con los valores reales obtenidos en el consumo de energía). Por lo tanto, tenemos que tener en cuenta que se trata de herramientas de aproximación, que nos pueden ayudar a hacer un diseño inicial de nuestro sistema, pero que nunca pueden sustituir a las medidas reales en dispositivos reales.

Con el proyecto se pretende complementar el trabajo de la comunidad científica en cuanto a la reducción de energía en las redes de comunicación, ya que la elección de los dispositivos en el momento del diseño de la red es fundamental para lograr y mantener una comunicación energéticamente eficiente y con ello realizar un mejor diseño de las redes inteligentes.

### **3. Descripción del hardware.**

Con el objetivo de realizar el estudio, se realizó la medida del consumo de diversos dispositivos de red, en concreto routers, switches, y puntos de acceso de diferentes marcas y modelos, sometidos estos a diferentes circunstancias. En este apartado se describirán las características técnicas de los diferentes dispositivos seleccionados para realizar las medidas. Para realizar las medidas se ha utilizado un dispositivo electrónico denominado "Kill a Watt". Dicho dispositivo es capaz de medir voltaje, potencia y corriente, con un error de medida del 1%.

Los diferentes modelos y marcas de routers utilizados en el estudio se enumeran debajo. La tabla 1 muestra las características fundamentales del hardware de los routers destinados para nuestras medidas. Características que han de ser tomadas en cuenta a la hora de realizar el estudio de los resultados. Como podemos ver el Allied AR410 es el router cuyo límite de energía máxima es inferior, hecho que será contrastado y comprobados con las medidas. Por otro lado el Cisco 1841 es el que más memoria flash tiene (62720), lo cual afectará al consumo. Respecto a la memoria interna es el router 3COM seguido por el Cisco 1841. El resto de características son similares entre los diferentes dispositivos excepto para el 3COM en el cual solo se dispone de enrutamiento estático.

**Tabla 1.** Características hardware de los routers.

	Allied AR410	Cisco 1841	Cisco 2620 [24]	Cisco 1700 [25]	3COM Remote Access 531 [26]
<b>Tasa de Transferencia de Máxima (Gbps)</b>	0,1	0,1	0,1	0,1	0,01
<b>Potencia de Salida Max. (W)</b>	17,6	50	75	50	50
<b>Temperatura de Trabajo (°C)</b>	0-40	0-40	0-40	0-40	0-40
<b>Memoria Interna (KB)</b>	16	191	32	32	2048
<b>Memoria Flash (KB)</b>	8192	62720	8192	8192	2048
<b>Procesador</b>	Motorola MPC860 50 MHz RISC	Motorola MPC860 50 MHz RISC	Motorola MPC860 50 MHz RISC	Motorola MPC860 50 MHz RISC	Motorola MC68360 25MHz
<b>Protocolos de Enrutamiento</b>	RIP & RIP v2, OSPF	RIP & RIP v2, OSPF	RIP & RIP v2, OSPF	RIP & RIP v2, OSPF	-
<b>Protocolo de Transmisión de Datos</b>	Ethernet, Fast Ethernet	Ethernet, Fast Ethernet, serial	Ethernet, Fast Ethernet, Serial	Ethernet, Fast Ethernet, Serial	Ethernet, Serial, ISDN

Por otra parte, este estudio también incluye una comparación de switches de varios modelos y marcas. La tabla 2 recoge las características más importantes para el estudio a realizar. Entre estas características resaltamos las diferencias entre las marcas y modelos diferentes en términos de máximo consumo de energía donde son 100W en el Allied AT8124XL [27] y en el CISCO 3560 [28]. En términos de la temperatura de trabajo no se observan diferencias considerables. Referente memoria flash y RAM son los modelos Cisco 3560s los que destacan (32758KB y 128KB respectivamente), lo cual influirá en el consumo energía generado. Todos los modelos soportan los protocolos Ethernet y Fast Ethernet, excepto el Hub 3COM [29] que sólo dispone de Ethernet.

**Tabla 2.** Características hardware de los switches.

	Allied Telesis		Cisco Catalyst				3Com	
	AT8024 [30]	AT8124XL	2950T-12 [31]	2950T-24	3560-8PC	3560PSE-24	SuperStack II Switch 610 [32]	SuperStack II Hub
<b>Potencia Máxima (W)</b>	30	100	30	30	100	100	60	30
<b>Temperatura de Trabajo (°C)</b>	0-40	0-40	0-45	0-45	0-45	0-45	0-50	0-50
<b>Memoria Flash (KB)</b>	6144	6144	8192	8192	32768	32768	-	-
<b>Memoria RAM (MB)</b>	16	32	16	16	128	128	-	-
<b>Protocolo de Transmisión de Datos</b>	Ethernet, Fast Ethernet	Ethernet Fast Ethernet	Ethernet, Fast Ethernet	Ethernet				

Finalmente, se realizó el estudio de otro tipo de dispositivo de red como son los Puntos de Acceso, de modelos y fabricantes diferentes. La Tabla 3 junta las características del hardware de los puntos de acceso más importantes que condicionan el resultado del estudio. Observando la tabla 3 se repara en que todos los modelos trabajan en la banda 2,4 GHz excepto el Cisco WRT320N EZ [33] que es de doble banda, trabaja en 2,4 y 5,0 GHz. Este modelo es además el que más protocolos de red inalámbricas soporta (802.11a/b/g/n). También destacan diferencias significativas en las tasas de transferencias de datos, dónde el cisco WRT320N EZ tiene la tasa más alta con 300Mbps y los Punto de Acceso Avaya y Ovislink tienen la tasa mínima con 11Mbps. Por otra parte, el Cisco AIR-AP1121AG-EK9 [34] tiene más memoria flash que el resto de modelos (16 MB), pero lo tiene la misma memoria interna que WRT320N-EZ Cisco (32 MB).

**Tabla 3.** Características hardware de los puntos de acceso.

	Cisco Systems			D-link	Avaya	Ovislink
	AIR-AP1131 AG-E-K9	Linksys WRT54GL [35]	Linksys WRT320N-EZ	DWL- 2000Ap+ [36]	AP-I [37]	WX-1590 [38]
<b>Banda de Frecuencia (Ghz)</b>	2,4	2,4	2,4/5,0	2,4	2,4	2,4
<b>Temperatura de Trabajo (°C)</b>	0-40	0-40	0-40	0-55	0-40	0-55
<b>Memoria interna (MB)</b>	32	16	32	16	16	16
<b>Memoria Flash (MB)</b>	16	4	8	4	4	4
<b>Tasa de Trans. de Datos Max. (Mbps)</b>	108	54	300	54	11	11
<b>Protocolo inalámbrico</b>	802.11a/b/g	802.11b/g	802.11b/g/a/n	802.11b/g	802.11b	802.11b
<b>Protocolo de Trans. Datos</b>	Fast Ethernet	Ethernet, Fast Ethernet	Ethernet, Fast Ethernet	Ethernet, Fast Ethernet	Ethernet	Ethernet

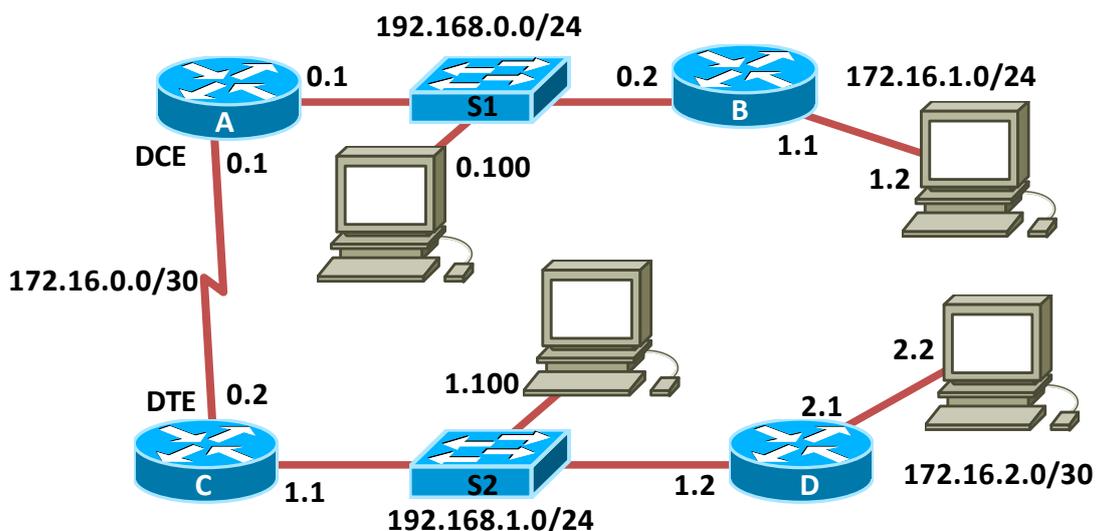
## 4. Banco de Pruebas

Para el estudio que se han llevado a cabo una serie de pruebas para cada uno de los dispositivos discutidos en la sección previa. Estas prueba ha permitido, estudiando el impacto las diferentes configuraciones y teniendo en cuenta las características del hardware descritas en la sección anterior, determinar cuáles son los modelos de dispositivos que consumen más energía, para de este modo obtener una serie de parámetros a tener en cuenta a la hora de diseñar una red de Comunicaciones. Esta sección primero considerará la topología destinada para el estudio de los routers, seguido de los switches y puntos de acceso.

### 4.1 Routers

Para la realización de las medidas en routers, se ha dispuesto de una topología que consistente en 4 routers, dónde el enlace entre dos de ellos se realiza mediante una conexión serial (las interfaces de estos routers han sido configuradas como DTE-DCE). Además, se utilizan dos routers que no introducen tráfico en la red. Estos se utilizan se para conectar dos host a la red. Además, se configuran 5 subredes diferentes, con el fin de cargar de procesamiento de encaminamiento de tráfico a los routers. La figura 1 se muestra la topología descrita para el estudio de estos dispositivos. Se observa como están distribuidas y separadas las 5 subredes diferentes. También cabe resaltar el hecho de que existe un enlace DTE-DCE que como veremos en la siguiente sección, influye considerablemente en el consumo.

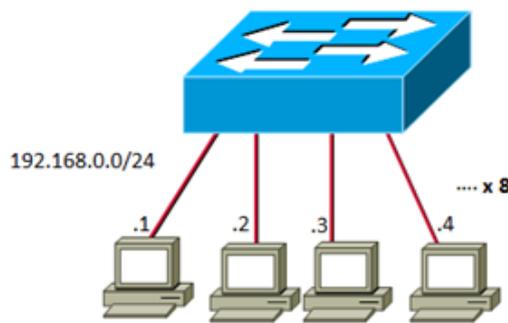
**Figura 1.** Topología utilizada para el estudio de Routers.



## 4.2 Switches

Para realizar las medidas en los switches, se utilizó una red compuesta de 8 host y un switch, como se muestra en la figura 2. En esta topología se han medido los dispositivos en diversas situaciones, en un estado inactivo, en transmisión punto a punto entre dos host, comunicación dentro de una misma VLAN y cuando hay varios host transmitiendo paquetes al mismo tiempo.

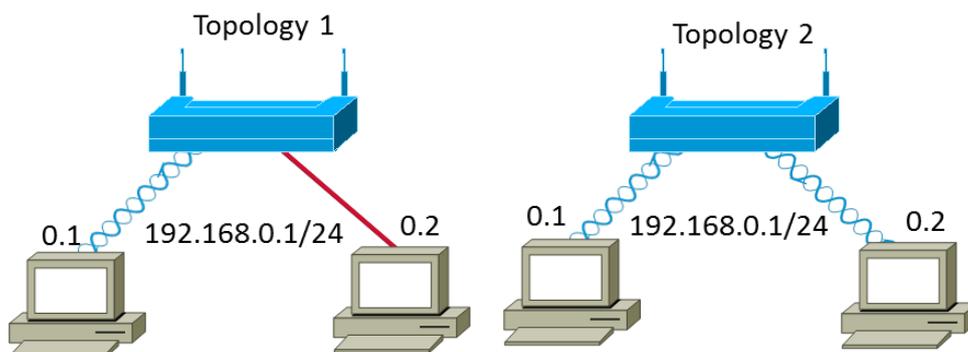
**Figura 2.** Topología utilizada para el estudio de switches.



## 4.3 Puntos de acceso

En el estudio de la energía de los Puntos de Acceso, han sido usadas dos topologías formadas por un punto de acceso y dos ordenadores conectados a él por dos tipos de interfaces físicas, como se muestra en la figura 3. En las dos topologías, el AP es el responsable de la comunicación entre los dos hosts. En esta parte del estudio, se ha intentado comprobar el impacto en el consumo de energía, cuando hay un cambio de medio físico (cable-aire y aire-aire). En el primer caso (topología 1), se utiliza una red mixta formada por un enlace inalámbrico y otro por cable. En el segundo caso (topología 2), la comunicación es completamente inalámbrica.

**Figura 3.** Topologías utilizadas para estudiar los puntos de acceso.



## 5. Resultados de las mediciones

En esta sección se deberán examinar los resultados de las mediciones efectuadas en las topologías que se describe en la sección anterior. Con estas pruebas, se determinará que modelos de dispositivos y configuraciones implican un mayor consumo energético, con el objetivo de determinar las pautas para el diseño de cualquier red de comunicaciones.

### 5.1 Resultados en Routers

Después de configurar el encaminamiento estático y los dos protocolos de enrutamiento (si están disponibles en el router) en todos los dispositivos, se han reunido las mediciones obtenidas. Para ello se han reunido estos valores en varias tablas y gráficos, con el fin de comparar su consumo para diferentes condiciones de operación. En esta sección, se verán los resultados obtenidos. Esto determinará cuáles son el conjunto de dispositivos que consumen menos energía. En cada caso sólo se discutirá el consumo de energía de los routers, aunque también se proporcionen datos de los switches pero sólo para propósitos de comparación. Los switches tenían aproximadamente 17 W/h consumo de energía todo el tiempo (que no han variado).

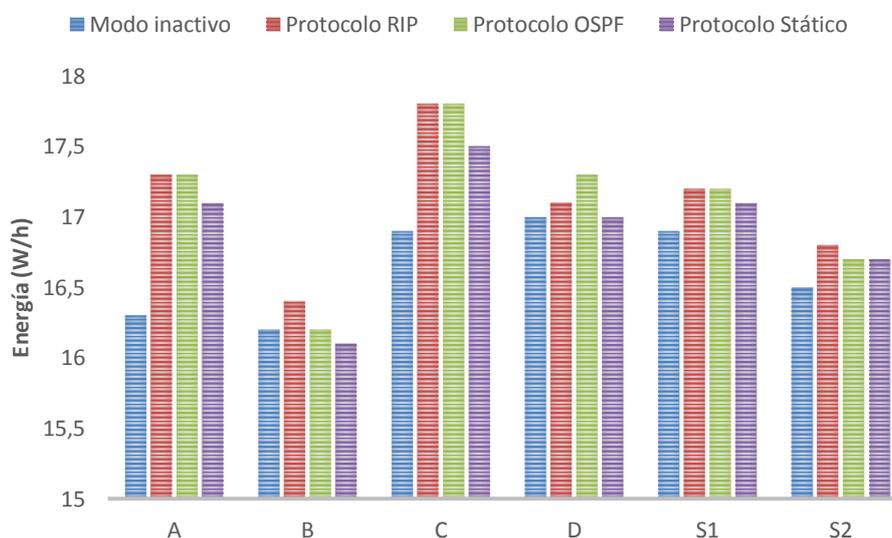
#### A. Primer caso de estudio

El primer caso de estudio se realizó mediante el router Cisco 1841. La tabla 4 muestra los valores de consumo de energía proporcionada por estos dispositivos. Figura 4 muestra los valores de consumo de energía agrupados por el protocolo configurado en los enrutadores. Como muestra la figura 2, la energía consumida por todos los dispositivos es, en todos los casos, entre 16 y 18 W/h. También se observa que los routers A y C tienen un consumo ligeramente superior a los que se obtienen en los routers B y D. Esto puede ser porque, los dispositivos A y C, están utilizando la interfaz de serie para comunicarse entre ellos. Además, se toma nota de que el dispositivo configurado como DTE, consume más energía que el dispositivo DCE, alrededor del 4%.

**Tabla 4.** Resultados del primer caso de medidas de Routers.

Cisco 1841	Consumo de Potencia (W/h)					
Dispositivo	A	B	C	D	S1	S2
Modo inactivo	16,3	16,2	16,9	17,0	16,9	16,5
Protocolo RIP	17,3	16,4	17,8	17,1	17,2	16,8
Protocolo OSPF	17,3	16,2	17,8	17,3	17,2	16,7
Protocolo Estático	17,1	16,1	17,5	17,0	17,1	16,7

**Figura 4.** Consumo de energía del primer caso de Routers.



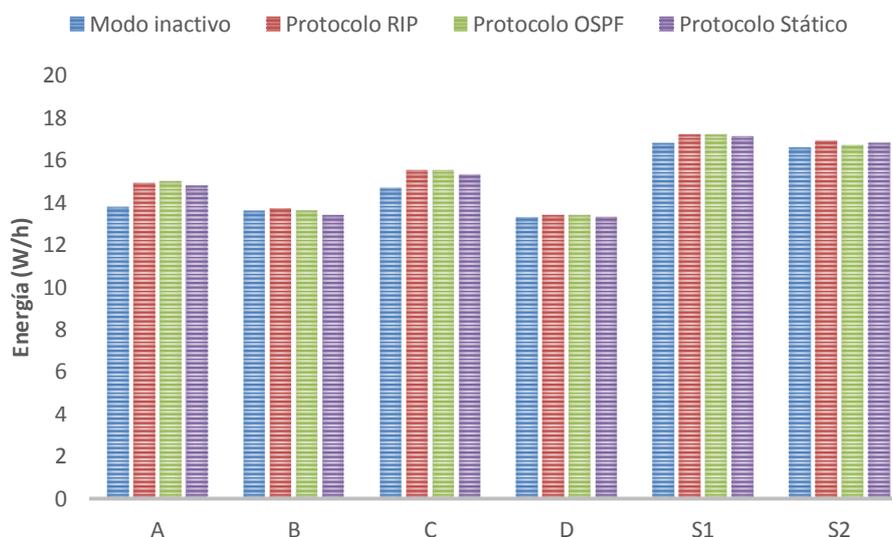
## B. Segundo caso de estudio

En el segundo estudio se analiza el comportamiento del router Cisco 2620. La tabla 5 muestra los valores de consumo de energía proporcionada por estos dispositivos. Figura 5 muestra el consumo de energía para estos dispositivos. En este caso, router A y C tienen alrededor de 15 W/h de consumo de energía, mientras que el consumo de energía para los routers B y D son cerca de 13,5 W/h. En este caso, la diferencia de consumo entre los routers A/C (con un enlace serial) y B/D (sin un enlace serial) es alrededor de 16%.

**Tabla 5.** Resultados del segundo caso de medidas de Routers.

Cisco 2620	Consumo de Potencia (W/h)					
Dispositivo	A	B	C	D	S1	S2
Modo inactivo	13,8	13,6	14,7	13,3	16,8	16,6
Protocolo RIP	14,9	13,7	15,5	13,4	17,2	16,9
Protocolo OSPF	15,0	13,6	15,5	13,4	17,2	16,7
Protocolo Estático	14,8	13,4	15,3	13,3	17,1	16,8

**Figura 5.** Consumo de energía del segundo caso de Routers.



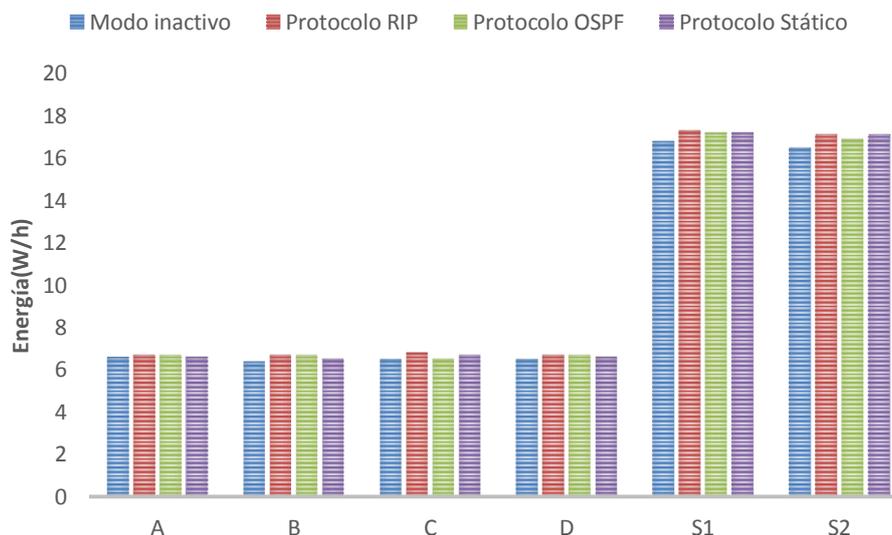
### C. Tercer caso de estudio

Allied AR410 router presenta el menor consumo de energía de todos los dispositivos en esta prueba. La tabla 6 muestra los valores de consumo de energía para este caso. Si se analiza el consumo de todos los dispositivos, dependiendo del protocolo que están ejecutando, se observa que todos los routers tienen el consumo de energía entre 6,5 W/h (para OSPF en el router C, configurado como DTE) y 6,8 W/h (para RIPV2 en router C, configurado como DTE). En modo inactivo, los routers mantienen su consumo inferior a los 6,6 W/h. Estos valores se muestran en la figura 6.

**Tabla 6.** Resultados del tercer caso de medidas de Routers.

Allied AR410	Consumo de Potencia (W/h)					
Dispositivo	A	B	C	D	S1	S2
Modo inactivo	6,6	6,4	6,5	6,5	16,8	16,5
Protocolo RIP	6,7	6,7	6,8	6,7	17,3	17,1
Protocolo OSPF	6,7	6,7	6,5	6,7	17,2	16,9
Protocolo Estático	6,6	6,5	6,7	6,6	17,2	17,1

**Figura 6.** Consumo de energía del tercer caso de Routers.



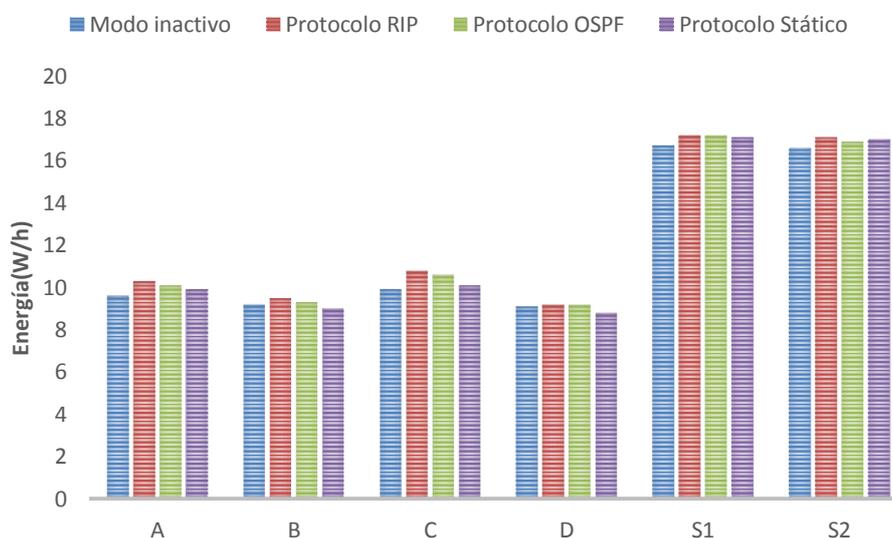
#### D. Cuarto caso de estudio

En el cuarto caso se analiza el consumo del router Cisco 1700. La tabla 7 muestra los valores de consumo de energía para este dispositivo. La Figura 7 muestra que este modelo de router de Cisco Systems Inc. consume menos energía que los otros modelos del mismo fabricante que han estado bajo prueba. Sin embargo, consume más energía que el modelo de router Allied Telesyn. Como se puede ver, el protocolo que consume más energía es RIP en comparación con el protocolo de enrutamiento estático, donde los enrutadores consumen alrededor de 10 W/h (3% menos de energía). El router A y C (con la conexión DCE y DTE) consumen más energía que los enrutadores B y D.

**Tabla 7.** Resultados del cuarto caso de medidas de Routers.

Cisco 1700	Consumo de Potencia (W/h)					
Dispositivo	A	B	C	D	S1	S2
Modo inactivo	9,6	9,2	9,9	9,1	16,7	16,6
Protocolo RIP	10,3	9,5	10,8	9,2	17,2	17,1
Protocolo OSPF	10,1	9,3	10,6	9,2	17,2	16,9
Protocolo Estático	9,9	9,0	10,1	8,8	17,1	17,0

**Figura 7.** Consumo de energía del cuarto caso de Routers.



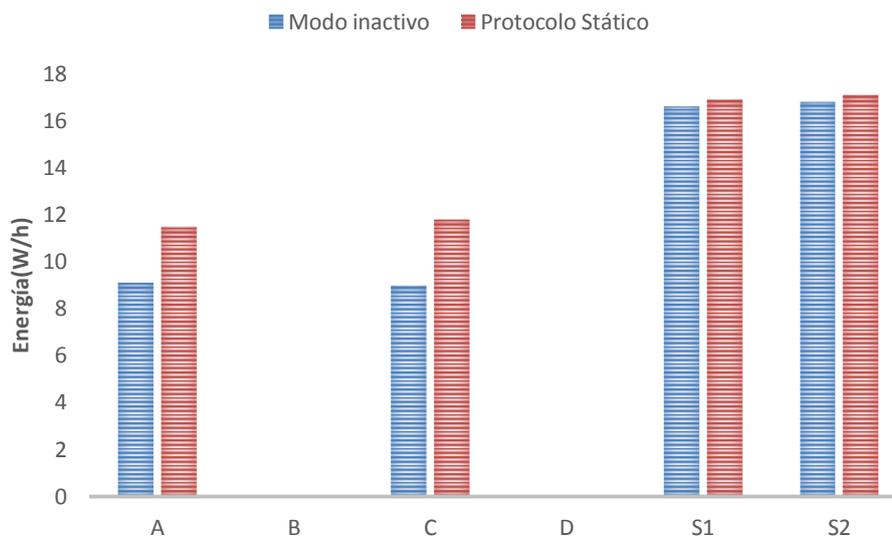
### E. Quinto caso de estudio

Por último, se ha medido el consumo de energía generado por el router 3Com Office Connect 531 Remote Access. Este modelo sólo acepta el protocolo de enrutamiento estático. Además, la conexión entre ellos se ha realizado usando RDSI, además solo se midieron los routers A y C. Como muestra la tabla 8, el consumo de energía de los routers es aproximadamente 11,6 W/h. La Figura 8 se muestra estos resultados en un diagrama, donde es fácil ver la gran diferencia de consumo entre los routers y switches.

**Tabla 8.** Resultados del quinto caso de medidas de Routers.

Cisco 1700	Consumo de Potencia (W/h)					
Dispositivo	A	B	C	D	S1	S2
Modo inactivo	9,1	-	9,0	-	16,6	16,8
Protocolo Estático	11,5	-	11,8	-	16,9	17,1

**Figura 8.** Consumo de energía del quinto caso de Routers.



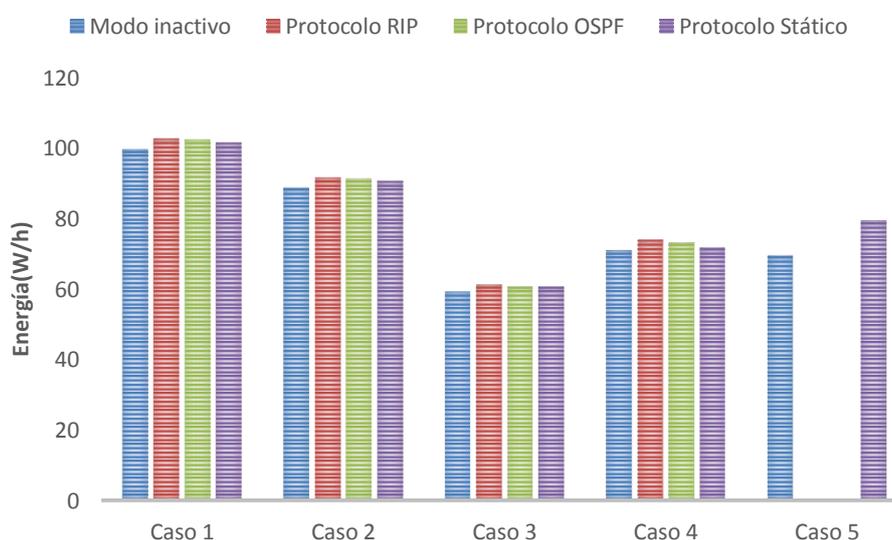
## F. Comparativa

Una vez que las pruebas se han realizado, se puede determinar la combinación de dispositivos que consumen menos energía. Como se muestra en la tabla 9, las topologías formadas con routers Cisco consumen más energía, en comparación con el Router Allied AR410, que puede consumir 40% menos de energía que Cisco Router 1841. En la Figura 9 se muestra los resultados gráficamente. En él, se observa que dentro de los modelos de router Cisco analizados, el modelo que ofrece el menor consumo de energía es Cisco 1700. Tiene hasta un 30% de menos consumo de energía que Cisco 1841.

**Tabla 9.** Comparativa de casos de medida de Routers.

	Consumo de Potencia (W/h)				
	Caso 1	Caso 2	Caso 3	Caso 4	Caso 5
<b>Modo inactivo</b>	99,8	88,8	59,3	71,1	69,7
<b>Protocolo RIP</b>	102,6	91,6	61,3	74,1	N/A
<b>Protocolo OSPF</b>	102,5	91,4	60,7	73,3	N/A
<b>Protocolo Estático</b>	101,5	90,7	60,7	71,9	79,4

**Figura 9.** Consumo comparativo de Routers.



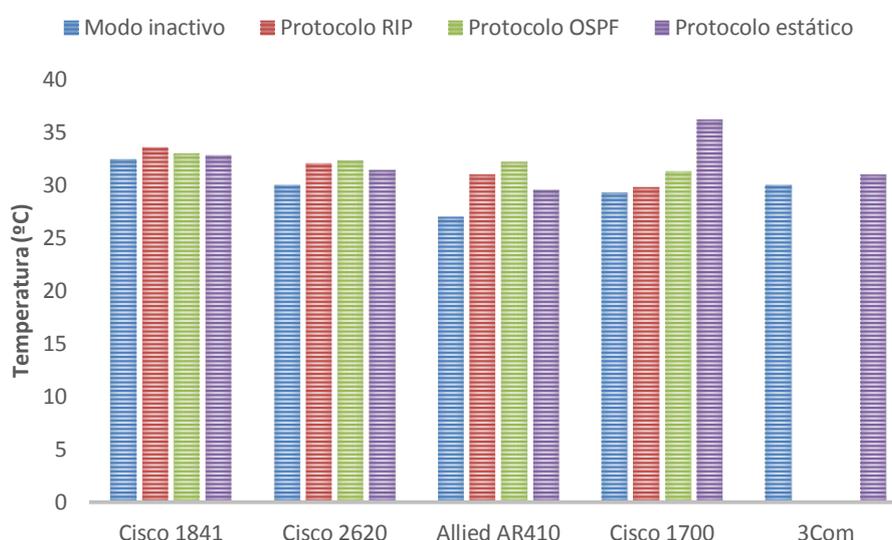
El consumo de energía también se refleja en la cantidad de calor que disipan los dispositivos cuando están en plena capacidad, por lo tanto se ha realizado en paralelo el estudio de la temperatura de los routers para lograr el objetivo de determinar los parámetros óptimos para el diseño de redes energéticamente eficientes.

Los resultados del estudio de la temperatura se recogen en la tabla 10 y están representados en la figura 10. Se puede decir que en general la temperatura de estos dispositivos en diferentes situaciones es de entre 29°C y 33°C, excepto en el Cisco 1700, donde las temperaturas máximas alcanzan hasta aproximadamente 37°C.

**Tabla 10.** Resultados de temperatura en routers.

	Temperatura (°C)				
	Cisco 1841	Cisco 2620	Allied AR410	Cisco 1700	3Com
<b>Modo inactivo</b>	32,4	30	27	29,3	30
<b>Protocolo RIP</b>	33,5	32	31	29,75	-
<b>Protocolo OSPF</b>	33	32,3	32,2	31,25	-
<b>Protocolo estático</b>	32,8	31,4	29,5	36,20	31

**Figura 10.** Temperatura en Routers.



## 5.2 Resultados en switches

Como se mencionó anteriormente, otro objeto de estudio es la eficiencia energética de los interruptores de diferentes marcas y modelos, sometidos a diferentes situaciones para ver posibles fluctuaciones y las diferencias de consumo más relevante para nuestros propósitos.

Como se explica en el apartado anterior las mediciones de estos dispositivos se han realizado en una topología simple. En esta topología se han medido los dispositivos en diferentes situaciones, en un estado inactivo, en una comunicación punto a punto, comunicación punto a punto en VLANs y cuando hay varios PC conectados y emitiendo al mismo tiempo.

Las diferentes tablas y figuras muestran los resultados de las mediciones de los switches, en las diversas situaciones, a continuación se presenta el análisis de los resultados para encontrar los parámetros, que ayudan a lograr reducir el consumo energético de estos dispositivos en las redes de comunicación.

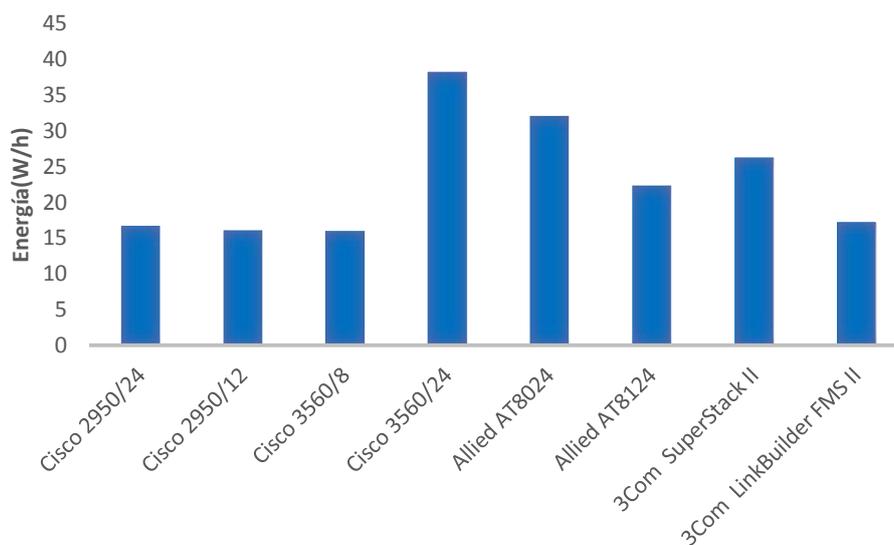
### A. Dispositivos en modo inactivo.

En este caso la energía consumida por todos los dispositivos difiere considerablemente entre las diferentes marcas y modelos. Como se observa en la tabla y figura 11 el Cisco Catalyst 3560PSE-24 es el dispositivo que consume más energía, que tiene su base en que es el dispositivo con mayor capacidad de procesamiento de los dispositivos probados. Por otro lado, se puede deducir que los switches con mayor número de puertos son los cuales consumirán más energía. Esta diferencia puede verse en el caso de Cisco Catalyst 3560PSE donde el modelo con 24 puertos consumen 38,2 W/h mientras que la de 8 puertos consume 15,96 W/h. Pero se considera que el consumo de energía no aumenta de forma proporcionalmente con el número de puertos, simplemente experimenta un aumento.

**Tabla 11.** Resultados primer caso de medida de Switches.

Dispositivo	Energía consumida (W/h)			
	Switch 1	Switch 2	Switch 3	Media
Cisco 2950/24	16,7	16,7	16,6	16,66
Cisco 2950/12	15,9	16,2	16,0	16,03
Cisco 3560/8	16,0	15,8	16,1	15,96
Cisco 3560/24	38,2	38,3	38,1	38,20
Allied AT8024	32,2	31,9	32,0	32,03
Allied AT8124	22,3	22,1	22,6	22,33
3Com SuperStack II	26,4	26,1	26,3	26,27
3Com LinkBuilder FMS II	17,3	17,1	17,2	17,20

**Figura 11.** Medidas de primer caso de estudio de switches.



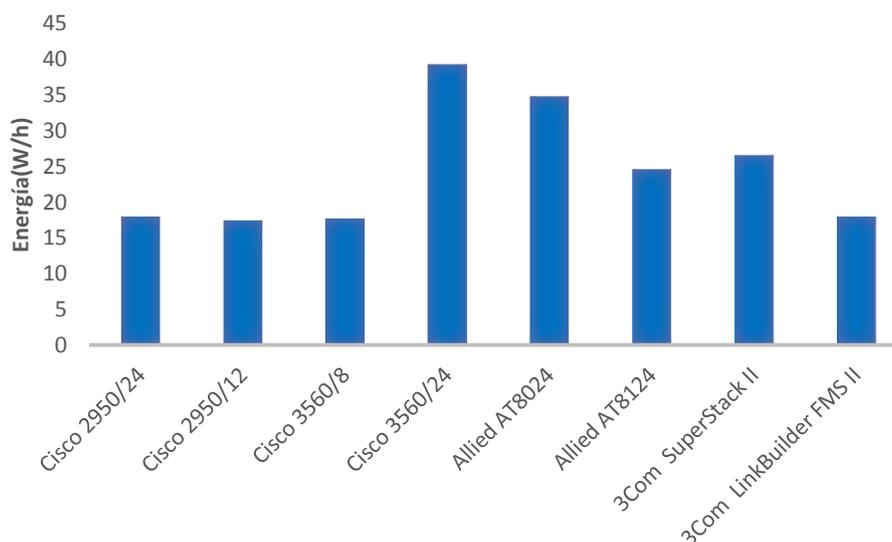
**B. Comunicaciones punto a punto.**

En este segundo estudio, se mide el consumo cuando dos ordenadores conectados a estos dispositivos se comunican entre sí. Observando la tabla 12 se ve como al igual que en el caso anterior el modelo Cisco Catalyst 3560PSE-24 ha sido una vez más el que más energía consume, mientras que el Cisco Catalyst 2950T-12 el que consume menos. Por otra parte respecto a la energía consumida en modo inactivo, se observa que hay un aumento significativo en el consumo cuando pasa a modo activo, siendo el mayor aumento en Cisco Catalyst 3560-8PC y AT8124XL, 10,71% y 10,17% respectivamente, y el menor aumento han sido Cisco Catalyst 3560PSE-24 y 610 Switch 3Com SuperStack II, con 2,62% y 1,14% respectivamente. Habiendo un promedio de 6,79% cuando todas las marcas son tenidas en cuenta. En la figura 12 se representan las medidas medias de estos dispositivos para este caso de estudio.

**Tabla 12.** Resultados segundo caso de medida de Switches.

Dispositivo	Energía consumida (W/h)			
	Switch 1	Switch 2	Switch 3	Media
Cisco 2950/24	17,9	18,0	17,9	17,93
Cisco 2950/12	17,2	17,7	17,45	17,45
Cisco 3560/8	17,6	17,7	17,7	17,67
Cisco 3560/24	39,2	39,1	39,3	39,20
Allied AT8024	35,1	34,5	34,7	34,77
Allied AT8124	24,7	24,5	24,6	24,60
3Com SuperStack II	26,6	26,4	26,7	26,57
3Com LinkBuilder FMS II	17,8	18,2	18,0	18,00

**Figura 12.** Medidas del segundo caso de estudio de switches.



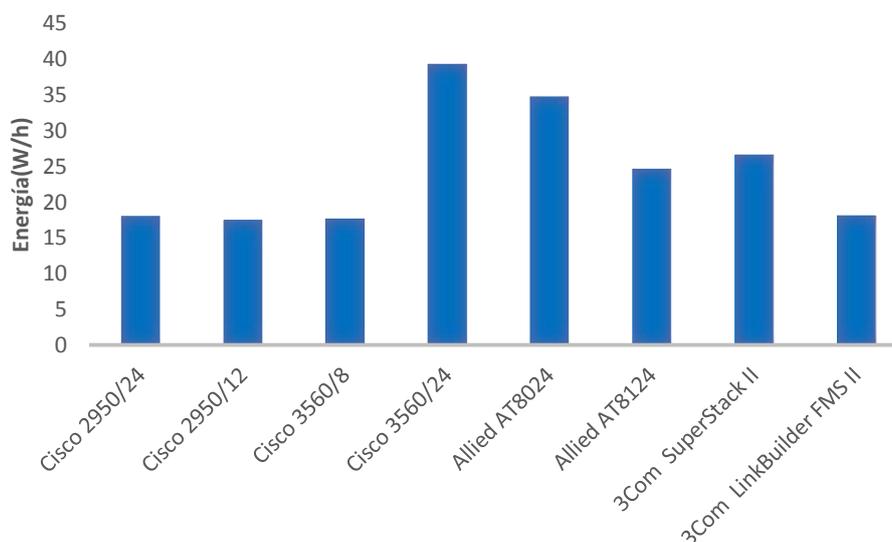
### C. Comunicación de emisión.

Otro objeto de estudio era conectar a los switches 8 PCs donde uno de ellos envía mensajes broadcast al resto continuamente. Al igual que en los dos casos anteriores es el modelo de Cisco Catalyst 3560-8PC el que experimentaron el mayor incremento en el consumo de energía (11,09%) y el switch 3Com SuperStack II modelo 610 ha sido la más baja (1,52%), como se puede observar en la tabla 13 y en la figura 13. Por otro lado el incremento promedio en el consumo de esta situación respecto el modo inactivo fue de aproximadamente 7,16% teniendo en cuenta todos los dispositivos de medida, superando en 0,37% al aumento generado en la comunicación punto a punto.

**Tabla 13.** Resultados tercer caso de medida de Switches.

Dispositivo	Energía consumida (W/h)			
	Switch 1	Switch 2	Switch 3	Media
Cisco 2950/24	18,0	18,0	18,1	18,03
Cisco 2950/12	17,2	17,8	17,5	17,50
Cisco 3560/8	17,7	17,7	17,8	17,73
Cisco 3560/24	39,3	39,2	39,4	39,30
Allied AT8024	35,1	34,6	34,7	34,80
Allied AT8124	24,7	24,7	24,6	24,67
3Com SuperStack II	26,6	26,6	26,8	26,67
3Com LinkBuilder FMS II	17,9	18,3	18,1	18,10

**Figura 13.** Medidas del tercer caso de estudio de switches.

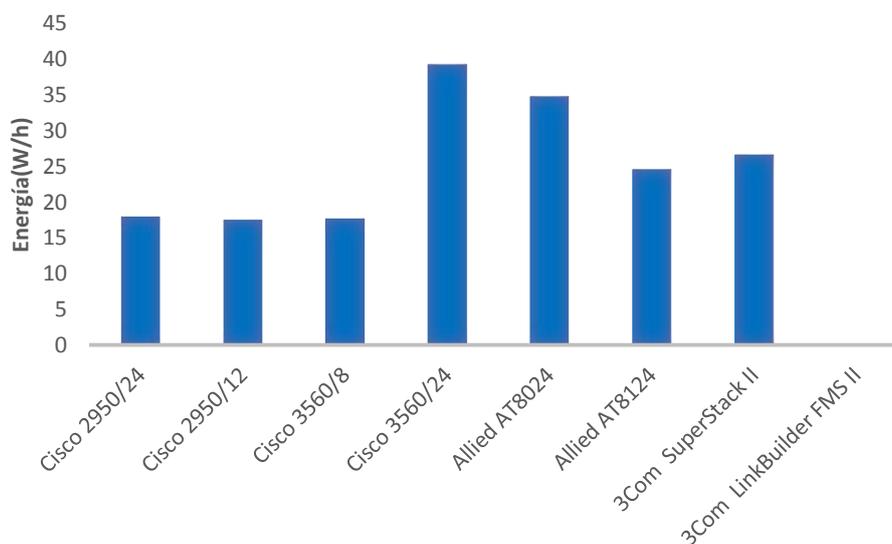


#### D. Comunicación dentro de las VLAN.

En este último caso se ha medido el consumo de energía de los dispositivos cuando están usando VLANs, que significa una necesidad de mayor procesamiento de los dispositivos, por lo tanto un mayor consumo. Para probar la hipótesis anterior se ha llevado a cabo las mediciones cuando dos dispositivos en la misma VLAN intercambiaron un eco ICMP y sus respuestas, continuamente. La tabla 14 muestra los valores. En este caso no se ha hecho el estudio del modelo de 3Com LinkBuilder FMS II porque al tratarse de un hub no se pueden configurar VLANs. La figura 14 muestra los valores de consumo promedio de cada dispositivo. Los aumentos en el consumo para este caso en comparación con la comunicación punto a punto sin VLANs son ligeramente superior.

**Tabla 14.** Resultados cuarto caso de medidas de Switches.

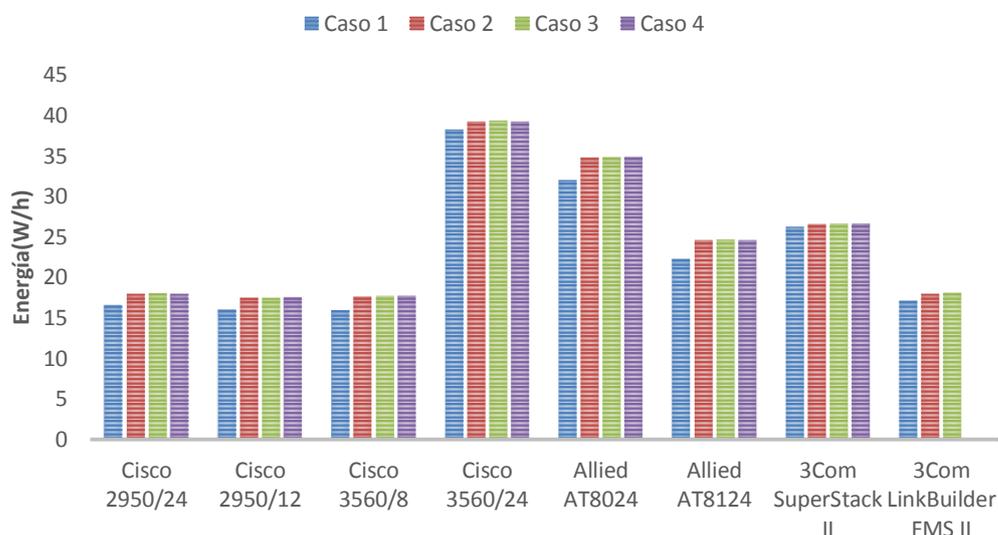
Dispositivo	Energía consumida (W/h)			
	Switch 1	Switch 2	Switch 3	Media
Cisco 2950/24	17,9	18,0	17,9	17,93
Cisco 2950/12	17,3	17,8	17,55	17,53
Cisco 3560/8	17,7	17,6	17,8	17,70
Cisco 3560/24	39,2	39,1	39,3	39,20
Allied AT8024	35,2	34,5	34,7	34,80
Allied AT8124	24,5	24,6	24,7	24,60
3Com SuperStack II	26,5	26,7	26,7	26,63
3Com LinkBuilder FMS II	-	-	-	-

**Figura 14.** Medidas del cuarto caso de estudio de switches.

## E. Comparativa

Finalmente se comparan los cuatro casos para cada dispositivo. En la figura 15 se destacan las diferencias de consumo de energía entre todos los casos. Se puede ver que el primer caso tiene los valores más bajos de consumo de energía, mientras que el tercer caso tiene los valores más altos de energía, en particular la mayor diferencia se ha medido en Allied Telesyn AT8024 interruptor (2,77 W/h) y la menor diferencia se ha medido para Switch 3Com SuperStack II 610 (0,4 W/h). Por otro lado, se puede decir que el consumo de energía depende del modelo del switch elegido al realizar el diseño de la red y ligeramente depende de la configuración de los dispositivos. Pero es importante tener en cuenta la necesidad de la de red y su relación de energía, ya que dependiendo de las necesidades de la red necesitamos un modelo u otro. También es recomendable desde el principio usar un número de puertos mayor al requerido inicialmente para evitar tener que introducir más dispositivos a posteriori. Como se muestra en la figura 15 la diferencia entre mismos modelos y diferente número de puertos es mínima, a pesar de tener más o menos puertos (cisco 2950/24, cisco 2950/12 y cisco 3560/8). En un centro de distribución de red principal, con varias instalaciones de distribución intermedio, podemos encontrar más de 20 switches que implica un consumo promedio de energía de 30,38 W/h de acuerdo a los datos presentados, que es cantidad suficiente para tomar en consideración.

**Figura 15.** Comparativa de resultados para cada caso de estudio de Switches



### 5.3 Puntos de Acceso

Una vez configurados los puntos de acceso y montado las topologías, se vuelcan los valores en una tabla y gráfico, con el fin de comparar su consumo para diferentes condiciones de operación entre diferentes modelos. Como resultado se determinará qué puntos de acceso consumen menos energía. Para ello se ha incluido dos situaciones, enviando ecos ICMP desde un PC a otro y enviando un archivo 2,45 GB, y en cada caso se utilizan todas las posibles configuraciones (802.11x) para cada dispositivo, a la vez se estudia la variación en el consumo al introducir un filtro MAC.

#### A. Medición para Cisco Systems AIR-AP1131AG-E-K9

El primer punto de acceso bajo estudio es el Cisco AP1131AG-E-K9. Este dispositivo es compatible con los protocolos 802.11a y 802.11b y 802.11g y el consumo que genera en el estado de arranque es de 5,1 W y cuando está en modo inactivo es 5,4 W. En el cuadro 12 y 13 se presentan los valores de consumo de energía para la topología 1 y 2 respectivamente, estos valores están representados en las figuras 12 y 13. Como se puede ver la energía consumida por este dispositivo durante la transmisión es siempre entre 10 y 11 W. Además se observa un aumento del 2% en el consumo de energía en la topología 2 respecto la topología 1. También destacar que el protocolo 802.11b es el que consume menos energía en el caso del envío del archivo aplicado a la topología aire-cable. Por otro lado el introducir el filtro MAC tal y como se muestra en las figuras 12, 13, 14 y 15 implica un aumento en el consumo requerido del 2%.

## **B. Medidas para Cisco Linksys WRT54GL**

El siguiente punto de acceso para tratar es el Cisco Linksys WRT54GL. En este caso, sólo se puede configurar los protocolos 802.11b y 802.11g y su consumo es 5,2W durante la puesta en marcha y de 5,7W en modo estable. Las siguientes tablas muestran los valores de consumo de energía tanto para los envíos de eco y para el envío del fichero de 2,45 GB. Como se puede ver en las figuras 12, 13, 14 y 15, la energía consumida por este punto de acceso es considerablemente menor que la consumida por el anterior modelo, en concreto un 40%. A diferencia del modelo anterior en este caso es el protocolo 802.11g es el que genera menos consumo de energía. Y como era de esperar el filtro MAC para este modelo presenta también un aumento en el consumo de energía.

## **C. Medidas para Cisco Linksys WRT320N-EZ**

El modelo de Cisco Linksys WRT320N-EZ consume 4,5W en el estado de arranque y 4,8W en modo inactivo. En las tablas y figuras 12, 13, 14 y 15 se muestran y representan los resultados obtenidos para este modelo de Cisco para los protocolos 802.11a, 802.11b, 802.11g y 802.11n. De dichas tablas se deduce que este dispositivo consume menos energía que los estudiados anteriormente. Siendo además el protocolo 802.11n el que consume menos energía. En relación con la activación del filtro MAC, se ven los mismos resultados, aumento del consumo. Y al igual que los dos modelos anteriores la topología aire-aire genera mayor consumo.

## **D. Medidas para D-link DWL-2000Ap +**

El cuarto caso analiza el D-Link DWL 2000AP, el consumo en modo inactivo y estado de arranque es 3,4W y 4,8W respectivamente. Para este modelo se han estudiado los protocolos 802.11b y 802.11g. En las tablas y figuras, que se presentan más abajo en esta sección de puntos de acceso, son recogidos y se representan los valores obtenidos para este dispositivo. Este modelo consume significativamente menos que los modelos fabricados por Cisco. En particular consume aproximadamente el 16% menos de energía que el modelo de Cisco (Cisco Linksys WRT54GL) que ofrece los mismos servicios o protocolos. Y el protocolo 802.11b es en este caso el que consume menos energía. En lo que respecta a la utilización del filtro MAC y las diferencias entre las topologías, las conclusiones son las mismas que en los estudios previos.

### **E. Medidas para Avaya AP-I**

Este punto de acceso es el que menos servicios proporciona, en concreto sólo permite el protocolo 802.11b y como era de esperar su consumo es menor que en los estudios previos. Es de 2,8W en estado de arranque y 2W en estado estacionario. Se puede ver en las figuras 12, 13, 14 y 15 la considerable diferencia en el consumo, debido a las limitaciones del hardware. En este dispositivo el aumento de consumo de energía al introducir filtro MAC es de alrededor del 3%. Sobre las diferencias entre el enlace aire-aire y el aire-cable, las conclusiones son las mismas que en los estudios anteriores.

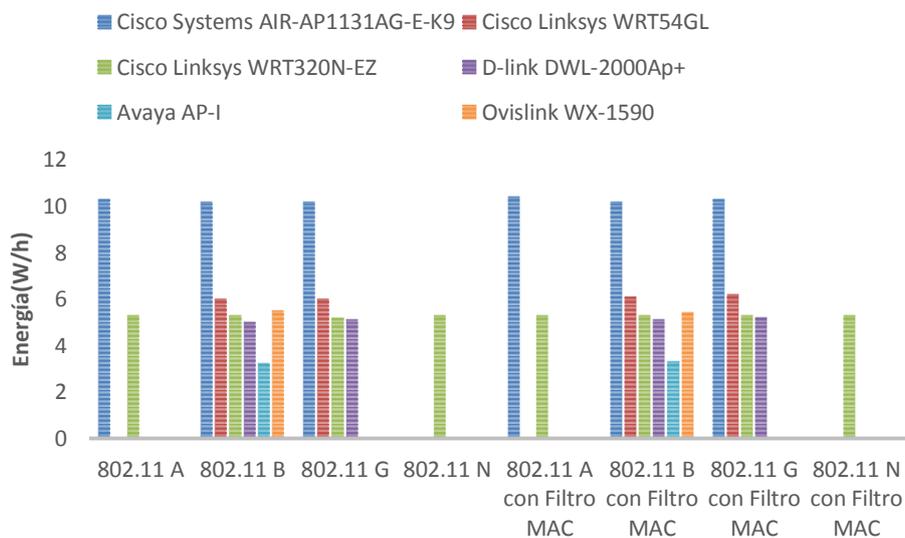
### **F. Medidas para Ovislink WX-1590**

Este último modelo es el Ovislink WX-1590 con características similares al anterior por sus capacidades limitadas, con la diferencia de que consume un 40% más de energía. Su consumo es 4,8W durante el arranque y 5,4W en modo de reposo. Este dispositivo permite sólo el protocolo 802.11b. Para el resto de los parámetros estudiados, se observa el mismo comportamiento que para los dispositivos anteriores.

**Tabla 12.** Resultados de medida para el envío de echo ICMP en la Topología 1.

	Energía Consumida (W/h)							
	802.11a	802.11b	802.11g	802.11n	802.11a con Filtro MAC	802.11b con Filtro MAC	802.11g con Filtro MAC	802.11n con Filtro MAC
<b>Topología 1</b>								
Cisco Systems AIR-AP1131AG-E-K9	10,3	10,2	10,2	-	10,4	10,2	10,3	-
Cisco Linksys WRT54GL	-	6	6	-	-	6,1	6,2	-
Cisco Linksys WRT320N-EZ	5,3	5,3	5,2	5,3	5,3	5,3	5,3	5,3
D-link DWL-2000Ap+	-	5	5,1	-	-	5,1	5,2	-
Avaya AP-I	-	3,2	-	-	-	3,3	-	-
Ovislink WX-1590	-	5,5	-	-	-	5,4	-	-

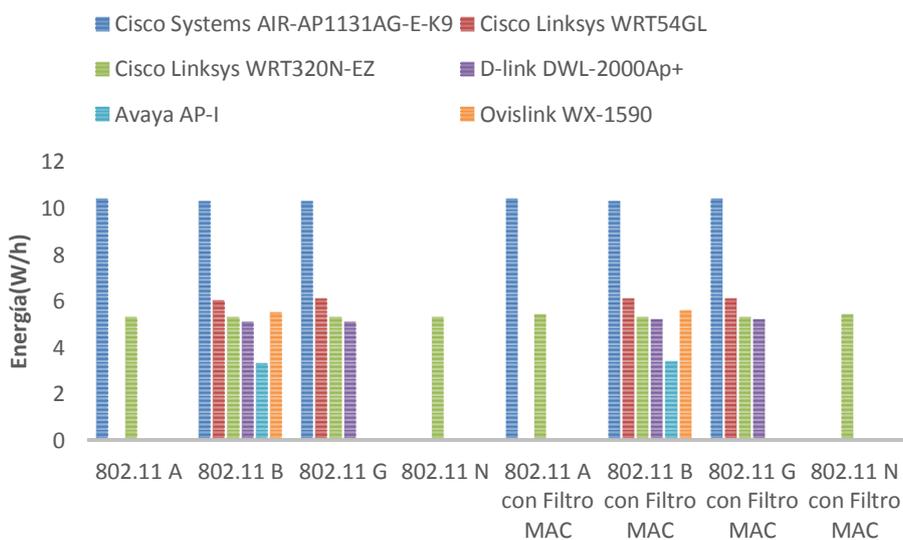
**Figura 12.** Medidas para la entrega de echo en la Topología 1.



**Tabla 13.** Resultados de medida para el envío de echo ICMP en la Topología 2.

	Energía Consumida (W/h)							
	802.11a	802.11b	802.11g	802.11n	802.11a con Filtro MAC	802.11b con Filtro MAC	802.11g con Filtro MAC	802.11n con Filtro MAC
<b>Topología 2</b>								
Cisco Systems AIR-AP1131AG-E-K9	10,4	10,3	10,3	-	10,4	10,3	10,4	-
Cisco Linksys WRT54GL	-	6	6,1	-	-	6,1	6,1	-
Cisco Linksys WRT320N-EZ	5,3	5,3	5,3	5,3	5,4	5,3	5,3	5,4
D-link DWL-2000Ap+	-	5,1	5,1	-	-	5,2	5,2	-
Avaya AP-I	-	3,3	-	-	-	3,4	-	-
Ovislink WX-1590	-	5,5	-	-	-	5,6	-	-

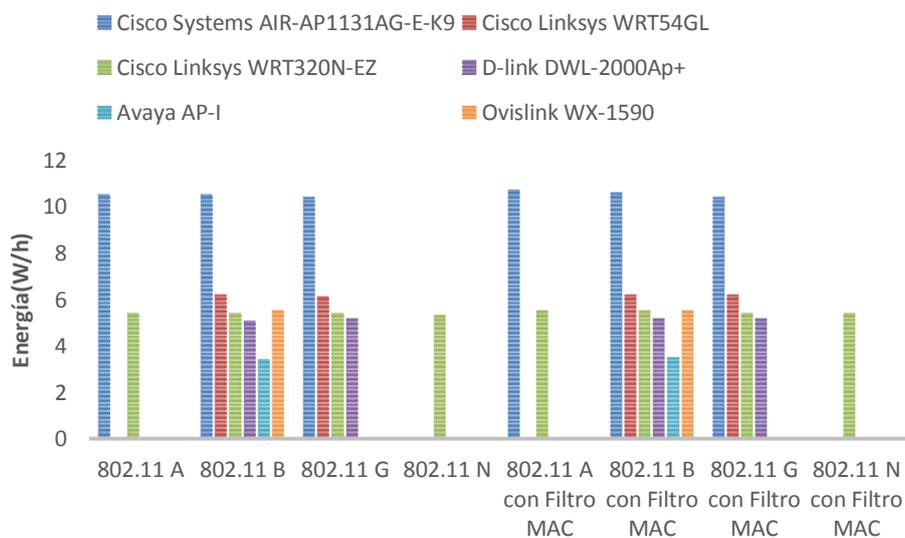
**Figura 13.** Medidas para la entrega de echo en la Topología 2.



**Tabla 14.** Resultados de medida para el envío fichero en la Topología 1

	Energía Consumida (W/h)							
	802.11a	802.11b	802.11g	802.11n	802.11a con Filtro MAC	802.11b con Filtro MAC	802.11g con Filtro MAC	802.11n con Filtro MAC
<b>Topología1</b>								
Cisco Systems AIR-AP1131AG-E-K9	10,5	10,5	10,4	-	10,7	10,6	10,4	-
Cisco Linksys WRT54GL	-	6,2	6,1	-	-	6,2	6,2	-
Cisco Linksys WRT320N-EZ	5,4	5,4	5,4	5,3	5,5	5,5	5,4	5,4
D-link DWL-2000Ap+	-	5,1	5,2	-	-	5,2	5,2	-
Avaya AP-I	-	3,4	-	-	-	3,5	-	-
Ovislink WX-1590	-	5,5	-	-	-	5,5	-	-

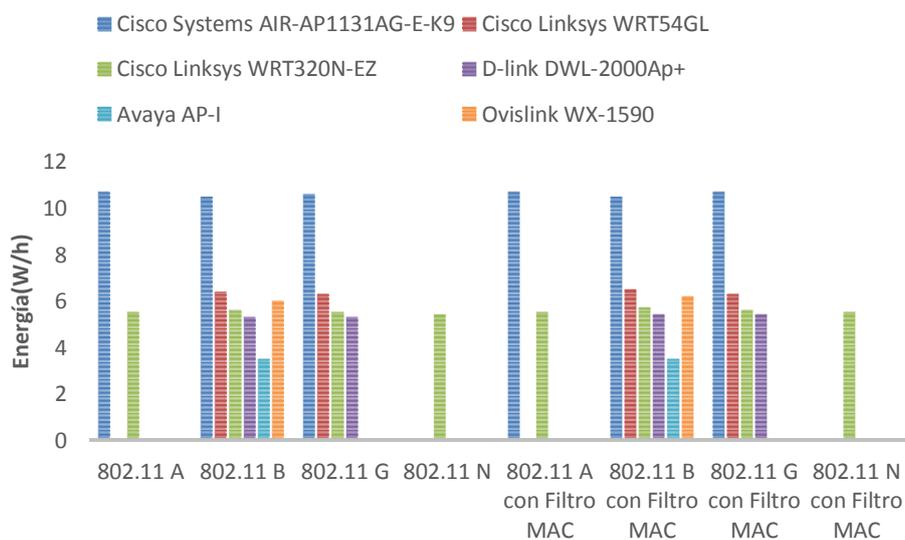
**Figura 14.** Medidas para el envío del fichero en la Topología 1.



**Tabla 15.** Resultados de medida para el envío fichero en la Topología 2

	Energía Consumida (W/h)							
	802.11a	802.11b	802.11g	802.11n	802.11a con Filtro MAC	802.11b con Filtro MAC	802.11g con Filtro MAC	802.11n con Filtro MAC
<b>Topología 2</b>								
Cisco Systems AIR-AP1131AG-E-K9	10,7	10,5	10,6	-	10,7	10,5	10,7	-
Cisco Linksys WRT54GL	-	6,4	6,3	-	-	6,5	6,3	-
Cisco Linksys WRT320N-EZ	5,5	5,6	5,5	5,4	5,5	5,7	5,6	5,5
D-link DWL-2000Ap+	-	5,3	5,3	-	-	5,4	5,4	-
Avaya AP-I	-	3,5	-	-	-	3,5	-	-
Ovislink WX-1590	-	6	-	-	-	6,2	-	-

**Figura 15.** Medidas para el envío del fichero en la Topología 2.



## 6. Topología de red energéticamente eficiente.

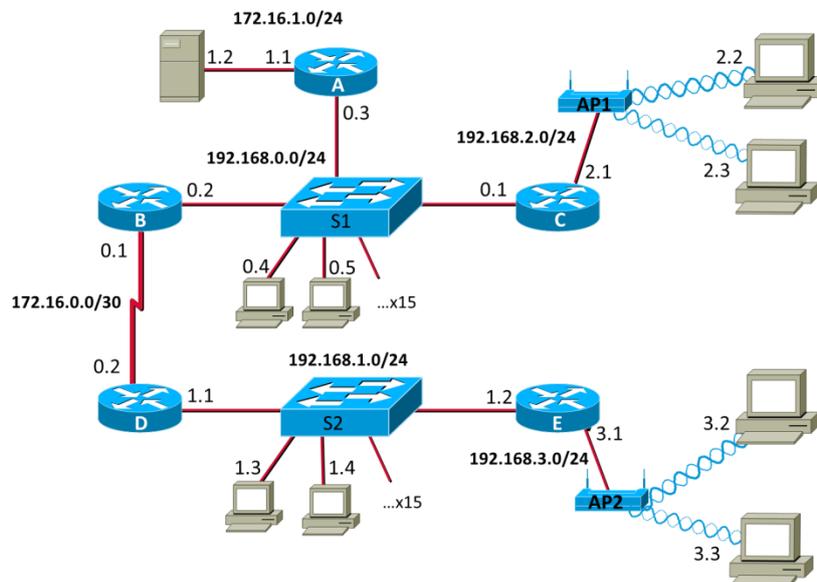
A partir del estudio a lo largo de este proyecto, se puede determinar que dispositivos de red, que modelo o marca de dispositivos y los protocolos de red Wi-Fi y enrutamiento son más apropiadas para tener en cuenta a la hora diseñar una red de comunicaciones energéticamente eficiente.

Para diseñar una red no sólo se debe tener en cuenta el consumo de energía de los dispositivos, sino también las necesidades de nuestra red y la posibilidad de evolución o ampliación. Es decir un número potencial de los hosts, servidores, las necesidades para ciertos servicios o las capacidades ofrecidas por un protocolo u otro.

En la figura 16, se propone una topología completa que consta de todos los dispositivos estudiados y donde se proponen los modelos, marcas y protocolos que son mejores ajustan a las necesidades de la red.

En cuanto a routers se ha seleccionado el Allied AR410, porque es el que menos consume con diferencia. Por otro lado se ha seleccionado el Cisco 2950/24 ya que según la topología de la figura 16, los switches deben tener 18 o más puertos. Como puntos de acceso se ha seleccionado el Cisco Linksys WRT320N-EZ que es el punto de acceso más eficiente teniendo en cuenta su capacidad y características que ofrece, incluyendo el protocolo 802.11n, protocolo de red inalámbrica que se ha escogido ya que ofrece mayor ancho de banda que el resto y las diferencias de consumo son mínimas. Y por último, se recomienda utilizar el protocolo de enrutamiento dinámico OSPF el cual realiza mejor gestión del consumo de energía.

**Figura 16.** Topología propuesta.



En la tabla 16 se realiza una comparación de los valores de consumo para los dispositivos que se adaptan a la red y consumen menos contra los dispositivos con características similares que consumen más.

Estas elecciones, realizadas teniendo en cuenta lo estudiado en el presente proyecto, como se muestra en la tabla 16, han permitido diseñar una red energéticamente eficiente con un consumo estimado de 79,25 W, contra los 184,8 W de consumo que tendríamos si se hubieran seleccionado los dispositivos que consumen más energía. Todo ello se traduce en un ahorro de energía de un 57,12%, es decir un ahorro económico de la misma magnitud.

**Tabla 16.** Consumo de dispositivos para la topología propuesta.

	<b>Menor Consumo</b>	<b>Mayor Consumo</b>
<b>Routers</b>	Allied AR410	Cisco 1841
<b>Switches</b>	Cisco 2950/24	Cisco 3560/24
<b>Puntos de Acceso</b>	Cisco Linksys WRT320N-EZ	Cisco AIR-AP1131AG-E-K9
<b>Protocolo de enrutamiento</b>	OSPF	RIP.V2
<b>Protocolo inalámbrico</b>	802.11n	802.11g
<b>CONSUMO DE ENERGÍA TOTAL ≈</b>	<b>79,25 W</b>	<b>184,8 W</b>

## **7. Conclusiones**

### **7.1 Cumplimiento del objetivo**

En este proyecto se ha medido el consumo de energía de varios dispositivos de red, routers, switches y puntos de acceso, cada uno de ellos en entornos y situaciones diferentes, con el objetivo de encontrar factores determinantes en el consumo energético.

En el presente proyecto se han logrado los objetivos de encontrar esos factores más importantes a tener en cuenta a la hora de diseñar y poner en marcha cualquier red de comunicaciones, los cuales son básicamente seleccionar un modelo de dispositivo apropiado, teniendo en cuenta tanto el consumo como las necesidades de la red, puesto que el consumo de energía depende directamente el hardware del dispositivo. Además es importante prestar especial cuidado en las configuraciones y protocolos seleccionados ya que son otro factor importante en el consumo de energía en las redes de comunicación.

Respecto a los factores determinantes en el consumo energético, encontrados en la realización de este proyecto, añadir que es importante que cuando se disponen a realizar el diseño y puesta en marcha de la red no solo se tengan en cuenta estos factores, sino que es necesario hacer balance también junto con las necesidades de la red y su posible evolución o escalabilidad.

### **7.2 Conclusiones sobre el proyecto.**

El diseño de redes energéticamente eficientes es un tema candente en los últimos años. Esto es debido a la expansión del concepto de redes de verde y el interés de empresas e investigadores en el diseño de redes con un consumo eficiente de la energía, para el ahorro económico. Por ello es importante conocer el comportamiento en términos de consumo de los distintos dispositivos que conforman una red.

En la actualidad como se ha comentado existen numerosas técnicas para el ahorro de energía en las redes de datos. En esa línea se ha realizado este proyecto, no como una alternativa a todas esas técnicas sino que con la intención de servir como base complementaria desde la cual teniendo en cuenta los factores comentados antes, poder aplicar las diferentes técnicas de ahorro, obteniendo unos resultados óptimos.

Según los datos obtenidos a lo largo del proyecto y dependiendo del tipo de red que en un determinado momento se requiera diseñar e implantar, el uso o no de estas recomendaciones o factores decisivos en el consumo energético, se podría estar hablando de un ahorro no solo en términos de energía, sino económico de una magnitud importante, de más de un 50%. Que dado la delicada situación económica y social actual, ese 50% más de gastos podría tratarse de la renuncia de una empresa a un determinado proyecto por falta de presupuesto; y al contrario sería un 50% más de presupuesto para poder invertir en la empresa.

### **7.3 Problemas encontrados y soluciones.**

A la hora de realizar el proyecto han surgido numerosas problemáticas. Lo primero fue que a la hora de plantear la realización del proyecto, se propuso obtener los datos del consumo directamente mediante la consola de configuración de los dispositivos, el problema fue que no todos tenían la posibilidad de facilitar esos valores, por tanto después de investigar y buscar posibles soluciones, se encontró el dispositivo que se ha utilizado para realizar todas las medidas, el "Kill a Watt". Dado que este dispositivo tenía cierto margen de error las medidas se realizaron de forma repetitiva obteniéndose valores medios en base a los cuales poder trabajar, decir que en dichas medidas los cambios en los resultados eran mínimos.

Por otra parte, como se describe en el proyecto el router 3com dadas sus limitaciones solo se pudo estudiar en dos estados, además se tuvo que utilizar un enlace RDSI por falta de puertos Ethernet, con los que conectar más dispositivos.

En todos los casos de estudio se han conectado varios hosts, y para someter a más trabajo a cada dispositivo se ha utilizado el protocolo ICMP, es decir desde determinados host se ha enviado mensajes de echo (ping) a otros destinos, de manera que se generaba se apreciaba un aumento del consumo en los dispositivos.

Para el estudio de switches, se tuvieron bastantes problemas sobre todo en la transmisión broadcast y en la transmisión del fichero. En el primero el problema fundamental fue que en el sistema operativo Windows 7 desde la consola de comandos no se puede realizar envíos de echo en broadcast, por lo que se tuvo que programar un script que recorriese todas las IP posibles y enviase mensajes de echo a todas esas direcciones, simulando el envío broadcast. En la transmisión del fichero el problema era que dado el peso del fichero muchas veces al pasarlo de un host a otro a través de la propia red se bloqueaba el envío, por lo cual la única solución fue repetir el envío tantas veces fuese necesario hasta que se realizará con éxito y así poder obtener un resultado real, en este caso decir que el consumo a lo largo de la transferencia se ha mantenido más o menos estable sin variaciones importantes.

Por último en las mediciones de puntos de acceso, no hubo problemas mayores, simplemente destacar como problemática que cada punto de acceso llevaba consigo una IP por defecto distinta, incluso en cuanto a subred, por lo cual se ha tenido que obtener dicha IP y accediendo a la configuración de cada dispositivo, cambiarla al rango de IP determinado por las topologías.

## **7.4 Aportaciones Personales**

En lo que respecta a lo aprendido en el proyecto, son numerosos los conocimientos que he adquirido durante la realización del mismo.

Destacar que he aprendido sobre todo, durante la etapa de documentarte, es decir cuando tienes que empezar a buscar artículos, otros trabajos relacionados para poder ubicar el proyecto en una línea de estudio, y poder así complementar a todos aquellos estudios ya realizados. Desde mi punto de vista este proyecto me servirá al igual espero que les sirva de base a todo aquel que se disponga a diseñar e implantar cualquier red de comunicaciones, energéticamente eficiente.

Por otra parte la realización del proyecto a nivel personal, ha fortalecido mis conocimientos en el área de la telemática, sobre todo en lo relacionado con los conocimientos del hardware de red y su correspondiente configuración y puesta en marcha. Gracias al proyecto y a los conocimientos adquiridos en asignaturas tales como Integración de Redes, Redes de Área Local y servicios telemáticos, me creo capaz de poder desempeñar de forma correcta cualquier trabajo o proyecto relacionado con las redes de datos.

## **7.5 Futuras Líneas de Trabajo**

Visto los resultados cabría con el futuro ampliar el estudio con dispositivos más complejos que ayuden a obtener más parámetros para mejorar el diseño de redes energéticamente eficientes. Se deberá ampliar el estudio hacia a otros dispositivos también frecuentes en grandes redes de telecomunicaciones y sobre todo protocolos de enrutamiento más complejos tales como ISIS, BGP.

Por otra parte sería interesante el diseñar un protocolo o un sistema de detención y distribución de energía en las redes de comunicación de modo que se pueda gestionar el consumo en función de las necesidades y el tráfico en la red. Para ahorrar energía en aquellas zonas y/o situaciones donde no es necesario la distribución de energía ya sea por la falta de carga de trabajo o porque dada la distribución de la red para determinados casos se pueda simplificar sin perder capacidad ni servicios.

Con estos estudios, se podrá determinar que modelos, protocolos de red, enrutamiento y topologías son los más adecuadas para diseñar redes eficientes en términos de energía para alcanzar así el objetivo de este proyecto que es el diseño de las llamadas “Green Networks”.

## 8. Bibliografía

1. Bianco, C., Cucchietti, F., Griffa, G.: Energy consumption trends in the next generation access network - a telco perspective. 29<sup>th</sup> International Telecommunications Energy Conference (INTELEC 2007), Sept. 30 - Oct. 4, Rome, Italy, (2007).
2. S. Haller, S. Karnouskos, C. Schroth, "The internet of things in an enterprise context," Lecture Notes in Computer Science, 2009, Volume 5468/2009, pp. 14–28, 2009.
3. Y. Zhang, P. Chowdhury, M. Tornatore, B. Mukherjee, "Energy Efficiency in Telecom Optical Networks," IEEE Communications Surveys & Tutorials, vol. 12, n.4, pp. 44–458, 2010.
4. Datasheet of Router Allied AR410. Available at Allied Telesis web site: [http://www.alliedtelesis.com/media/fount/datasheet/AR410Series\\_Datasheet\\_RevQ.pdf](http://www.alliedtelesis.com/media/fount/datasheet/AR410Series_Datasheet_RevQ.pdf)
5. Datasheet of Router Cisco 1800. Available at Cisco web site: [http://www.cisco.com/en/US/prod/collateral/routers/ps5853/product\\_data\\_sheet0900aecd8016a59b.pdf](http://www.cisco.com/en/US/prod/collateral/routers/ps5853/product_data_sheet0900aecd8016a59b.pdf)
6. Fisher, W., Suchara, M., Rexford, J.: Greening Backbone Networks: Reducing Energy Consumption by Shutting Off Cables in Bundled Links. In proceedings of the first ACM SIGCOMM workshop on Green networking, Aug. 30, New Delhi, India, (2010).
7. González, N., Moran, L., Angioletti, J. M., Varela, J. A.: Green IT. Chapter 4. Green Telecom Networks. eKISS nº82. Internal publication of Telefónica. (2009).
8. H. Galperin, "Wireless Networks and Rural Development: Opportunities for Latin America", Information Technologies and International Development, vol. 2, no. 3, pp. 47--56, 2005.
9. Michael Segal, Improving lifetime of wireless sensor networks, Network Protocols and Algorithms, Vol 1, No 2 (2009), Pp. 48-60.

10. [Estandar] IEEE Std 802.11 (2007) IEEE Standard for Information technology - Telecommunications and information exchange between systems - Local and metropolitan area networks - Specific requirements - Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications. Pp.1-1184. Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. New York, USA.
11. S. Nedeveschi, L. Popa, G. Iannaccone, S. Ratnasamy, D. Wetherall, "Reducing Network Energy Consumption via Sleeping and Rate-Adaptation," Proceedings of the 5th USENIX Symposium on Networked Systems Design and Implementation (NSDI '08), San Francisco, California, USA, April 16-18, 2008, pp. 323—336.
12. S. Gao, J. Zhou, N. Yamanaka, "Reducing Network Power Consumption Using Dynamic Link Metric Method and Power Off Links," IEEE international student paper contest 2009. 5th November 2009.
13. R. Subrata, A. Y. Zomaya, B. Landfeldt, B. "Cooperative power-aware scheduling in grid computing environments", Journal of Parallel and Distributed Computing, vol. 70, n. 2, pp. 84—91, 2010.
14. F. Hermenier, N. Lorient, J. M. Menaud, "Power Management in Grid Computing with Xen," International Symposium on Parallel and Distributed Processing and Applications (ISPA 2006), Sorrento, Italy, December 4-7 2006, pp. 407—416.
15. L.M. Feeney and M. Nilsson, "Investigating the Energy Consumption of a Wireless Network Interface in an Ad Hoc Networking Environment", INFOCOM 2001. Twentieth Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies. Proceedings. IEEE, vol. 3, pp. 1548—1557, 2001.
16. Laura Marie Feeney. "An Energy Consumption Model for Performance Analysis of Routing Protocols for Mobile Ad Hoc Networks", Journal of Mobile Networks and Applications, vol. 6, Issue 3 , pp. 239-249, 2001
17. S. Sendra, J. Lloret, M. Garcia and J.F. Toledo, "Power saving and energy optimization techniques for Wireless Sensor Networks", Journal of Communications, Academy publisher, vol. 6, no 6, pp. 439—459, 2011.

18. S. Andrade-Morelli, E. Ruiz-Sánchez, E. Granell, and J. Lloret, "Energy Consumption in Wireless Network Access Points", In proceedings of The Second International Conference on Green Communications and Networking (GreeNETS 2012), Gandia (Spain), October 24–26, 2012.
19. S. Andrade-Morelli, E. Ruiz-Sánchez, E. Granell, and J. Lloret, "Energy Consumption Study of Network Access Switches to Enhance Energy Distribution", In proceedings of the IEEE Workshop on Smart Grid Communications: Design for Performance (SGComm 2012) - IEEE Globecom 2012, Anaheim (California), December 7, 2012.
20. S. Andrade-Morelli, E. Ruiz-Sánchez, S. Sendra, and J. Lloret, "Router Power Consumption Analysis: Towards Green Communications", In proceedings of The Second International Conference on Green Communications and Networking (GreeNETS 2012), Gandia (Spain), October 24–26, 2012.
21. Jayant Baliga , Robert Ayre , Hinton Kerry , Wayne V. Sorin y Rodney S. Tucker," Energy Consumption in Optical IP Networks ", Journal of Lightwave Technology, vol. 27, No. 13, pp 2391-2403, 2009
22. J. Barbancho, C. León, F.J. Molina and A. Barbancho, "Using artificial intelligence in routing schemes for wireless networks", Computer Communications, vol. 30, no. 14-15, pp. 2802--2811, 2007.
23. Cisco Report. Server power calculator analysis: Cisco UCS power calculator and HP power advisor. (2011)
24. Datasheet of Router Cisco 2600. Available at Cisco web site: <http://www.cisco.com/en/US/docs/routers/access/2600/hardware/installation/guide/2600hig.pdf>
25. Datasheet of Router Cisco 1700. Available at Cisco web site: [http://www.cisco.com/warp/public/cc/pd/rt/1700/prodlit/1760e\\_ds.pdf](http://www.cisco.com/warp/public/cc/pd/rt/1700/prodlit/1760e_ds.pdf)
26. Datasheet of Router 3Com Remote Access 531. Available at web site: [http://www.mtmnet.com/PDF\\_FILES/OfficeConnectProductLineSalesBro.pdf](http://www.mtmnet.com/PDF_FILES/OfficeConnectProductLineSalesBro.pdf)
27. Datasheet of Switch Allied AT8124XL. Available at Allied Telesis web site: [http://www.alliedtelesis.com/media/datasheets/guides/8118-24-26xl\\_ig\\_c.pdf](http://www.alliedtelesis.com/media/datasheets/guides/8118-24-26xl_ig_c.pdf)

28. Datasheet of Switch Cisco 3560. Available at Cisco web site:  
[http://www.cisco.com/en/US/prod/collateral/switches/ps5718/ps5528/product\\_data\\_sheet09186a00801f3d7d.pdf](http://www.cisco.com/en/US/prod/collateral/switches/ps5718/ps5528/product_data_sheet09186a00801f3d7d.pdf)
29. Datasheet of Hub 3Com SuperStack II Hub. Available at web site:  
[http://www.mtmnet.com/PDF\\_FILES/3C16665A\\_UserGuide.pdf](http://www.mtmnet.com/PDF_FILES/3C16665A_UserGuide.pdf)
30. Datasheet of Switch Allied AT8024. Available at Allied Telesis web site:  
[http://www.alliedtelesis.com/media/datasheets/8000\\_family\\_ds.pdf](http://www.alliedtelesis.com/media/datasheets/8000_family_ds.pdf)
31. Datasheet of Switch Cisco 2950T. Available at Cisco web site:  
[http://www.cisco.com/application/pdf/en/us/guest/products/ps628/c1650/cc\\_migration\\_09186a00801cfb71.pdf](http://www.cisco.com/application/pdf/en/us/guest/products/ps628/c1650/cc_migration_09186a00801cfb71.pdf)
32. Datasheet of Switch 3Com SuperStack II Switch. Available at web site:  
[http://www.mtmnet.com/PDF\\_FILES/3C16950\\_SSII1100SalesBro.pdf](http://www.mtmnet.com/PDF_FILES/3C16950_SSII1100SalesBro.pdf)
33. Datasheet of Access Point Cisco Linksys WRT320N-EZ. Available at Cisco web site:  
<http://homesupport.cisco.com/es-eu/support/routers/WRT320N/download>
34. Datasheet of Access Point Cisco Systems AIR-AP1131AG-E-K9. Available at Cisco web site:  
[http://www.cisco.com/en/US/docs/wireless/access\\_point/1130/installation/guide/1130hig\\_book.pdf](http://www.cisco.com/en/US/docs/wireless/access_point/1130/installation/guide/1130hig_book.pdf)
35. Datasheet of Access Point Cisco Systems WRT54GL. Available at Cisco web site:  
<http://home.cisco.com/es-eu/products/routers/WRT54GL>
36. Datasheet of Access Point D-link DWL-2000AP+. Available at D-link web site:  
[ftp://ftp.dlink.de/dwl/dwl-2000applus/documentation/DWL-2000applus\\_man\\_en\\_040401.pdf](ftp://ftp.dlink.de/dwl/dwl-2000applus/documentation/DWL-2000applus_man_en_040401.pdf)
37. Datasheet of Access Point Avaya AP-I. Available at Avaya web site:  
<http://downloads.avaya.com/css/P8/documents/003702825>
38. Datasheet of Access Point Ovislink WX-1590. Available at web site:  
<http://www.ferimex.com/download/Manual/WX-1590/WX-1590L-en.pdf>
39. W. R. Stevens: TCP/IP Illustrated, Vol. 1: The Protocols (Addison-Wesley Professional Computing Series) (1994)