

Desarrollo de modelos de computación para sistemas Cloud Computing



Master en Ingeniería Informática

Trabajo Fin de Grado

Autor:

Ernesto Montero Sandiego

Tutor/es:

Higinio Mora Mora

Septiembre 2017



Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

Agradecimientos

Es una satisfacción personal terminar un nuevo ciclo, en todo este tiempo en la universidad aprendí de mis errores, conocí cuál es mi verdadero potencial y descubrí que la vida es más bonita cuando se trabaja por las cosas que uno quiere, junto a compañeros excepcionales. No quisiera olvidarme de todos los buenos maestros / profesores que me han formado y sobre todo mis familiares, en especial mis padres, los cuales, soy lo que soy gracias a ellos.

Contenidos

1. Resumen.....	11
2. Introducción	11
3. Objetivo.....	12
4. Estado del arte	13
4.1. Edificio.....	14
4.2. Hardware / Software.....	16
4.2.1. Hardware	16
4.2.2. Software	17
4.3. Sistema de refrigeración.....	18
4.3.1. Pasillos fríos / calientes	19
4.3.2. Refrigeración híbrida.....	20
4.3.3 Inmersión de aceite mineral	21
4.3.4. On-Demand Cooling (ODC)	22
4.3.5. Ventajas y desventajas de los sistemas de refrigeración vistos	23
4.4. Energías renovables para computación Cloud Computing	25
4.4.1. Energía Solar fotovoltaica.....	25
4.4.2. Energía eólica.....	25
4.4.3. Energía mareomotriz	26
4.4.4. Free Cooling.....	26
4.4.5. Ventajas y desventajas	28
5. Gestión de la energía y el consumo energético	29
6. Climatología.....	35
6.1. Clima.....	35
6.2. Temperatura	36
6.3. Viento.....	37
7. Propuesta a implementar	38

7.1. Optimización CPD vs creación de un nuevo CPD	39
7.2. Energía renovable a implantar.....	39
7.3. Sistema o sistemas de refrigeración a implantar	42
7.4. Propuesta	43
8. Simulación de la propuesta	45
8.1. Arquitectura inicial de una sala de un CPD	45
8.2. Estimación del consumo sistema de refrigeración	46
8.3. Estimación de la energía renovable.....	47
8.4. Cálculo del consumo y ahorro de los escenarios propuestos	49
8.5. Calculo del coste Total de Propiedad.....	51
8.5.1. Costes directos.....	52
8.5.2. Costes indirectos	54
8.5.3. Coste Total de Propiedad (TOI)	54
8.6. Retorno de la Inversión (ROI).....	54
9. Conclusión.....	56
10. Anexos.....	58
10.1. Certificaciones otorgadas por “The Uptime Institute”	58
10.2. Mapas climatológicos según AEMET.....	59
11. Referencias.....	64

Lista de ilustraciones

Ilustración 1 Simulación arquitectura de un paradigma Cloud (Elaboración propia)	16
Ilustración 2 Sistema de refrigeración en los CPD's tradicionales (Elaboración propia)	20
Ilustración 3 Estructura de un sistema de refrigeración híbrido (Elaboración propia).....	21
Ilustración 4 Metodología del sistema ODC (Elaboración propia)	22
Ilustración 5 Diseño de circuito de bomba de calor (Elaboración propia)	28
Ilustración 6 Típica distribución del consumo eléctrico en un centro de datos.....	30
Ilustración 7 Distribución consumo de energía en un centro de datos a nivel hardware	33
Ilustración 8 Temperatura del aire en Alicante (1971-2000) por meses [48].....	37
Ilustración 9 Velocidad del viento y racha (martes, 20 junio 2017 a las 19:42 hora oficial) según AEMET [49]	38
Ilustración 10 Racha (km/h) del viento correspondiente al intervalo de días 13 - 19 ambos inclusive [49].....	38
Ilustración 11 Velocidad máxima (km/h) del viento correspondiente al intervalo de días 13 - 19 ambos inclusive [49]	38
Ilustración 12 Ubicación de la Universidad de Alicante (Captura de imagen Google Earth) [52]	39
Ilustración 13 Área proyectada de la Universidad de Alicante utilizando la base de datos de LiDAR [51]	41
Ilustración 14 Vista aérea en 3D de la universidad 1 de 2 - Aplicación Google Earth [52]	41
Ilustración 15 Vista aérea en 3D de la universidad 2 de 2 - Aplicación Google Earth [52]	41
Ilustración 16 Ejemplo de distribución de servidores en una sala de centro de datos [56]	45
Ilustración 17 Número de paneles solares (m2) según valor MPS en un año. (Elaboración propia)	48
Ilustración 18 Gráfica para un ROI de 4.067.003,00 €	56
Ilustración 19 Temperatura media anual península ibérica.....	60
Ilustración 20 Temperatura media anual de las mínimas	60
Ilustración 21 Temperatura media anual de las máximas	61
Ilustración 22 Número medio anual de días con temperatura mínima $\leq 0^{\circ}\text{C}$	61
Ilustración 23 Número medio anual de días con temperatura mínima $\leq 0^{\circ}\text{C}$ en invierno.....	62
Ilustración 24 Número medio anual de días con temperatura mínima $\geq 20^{\circ}\text{C}$	62
Ilustración 25 Número medio anual de días con temperatura mínima $\geq 20^{\circ}\text{C}$ en verano	63
Ilustración 26 Número medio anual de días con temperatura máxima $\geq 25^{\circ}\text{C}$	63
Ilustración 27 Número medio anual de días con temperatura máxima $\geq 25^{\circ}\text{C}$ en verano.....	64

Lista de tablas

Tabla 1 CPD tradicionales vs WSC	14
Tabla 2 Requisitos mínimos que debe cumplir un CPD según “The Uptime Institute”	15
Tabla 3 Estándares de rendimiento para cada nivel de CPD según “The Uptime Institute”	15
Tabla 4 Principales ventajas y desventajas de las distintas Energías Renovables que se pueden implantar en un CPD	29
Tabla 5 Distribución del consumo energético según nivel del CPD a nivel hardware (Tabla obtenida [20])	30
Tabla 6 Energía consumida en un centro de datos (Obtenida de “Data Center Energy Flw and Efficiency”)	32
Tabla 7 Consumo de los componentes en un CPD. * Hardware que participa en el consumo del servidor [20]	32
Tabla 8 Estudio comparativo de varias arquitecturas de energía eficiente en un centro de datos [45]	34
Tabla 9 Centro de datos nuevos VS Centro de datos en funcionamiento (Elaboración propia) .	39
Tabla 10 Ventajas y desventajas de energías renovables instaladas en la UA	40
Tabla 11 Ventajas y desventajas de sistemas de refrigeración para el CPD de la UA	43
Tabla 12 Consumo energético anual y semanal según distintos tamaños de un CPD [57]	46
Tabla 13 Número de horas anual de superávit y déficit utilizando energía solar	49
Tabla 14 Consumo anual de un CPD típico	49
Tabla 15 Consumos y ahorro energético de los distintos escenarios propuestos	51
Tabla 16 Coste Instalación sistema de refrigeración híbrida	52
Tabla 17 Coste Instalación sistema free-cooling	53
Tabla 18 Coste Instalación fotovoltaica	53
Tabla 19 Costes directos totales	54
Tabla 20 Coste Total de Propiedad (TOI) – Indirectos	54
Tabla 21 Beneficio venta de Servidores Usados	55
Tabla 22 Estimación ROI con un periodo a medio plazo de 5 años	55
Tabla 23 Centros de datos certificados por Uptime Institute en España	59
Tabla 24 Centros de datos certificados por Uptime Institute en Noruega	59

Acrónimos y abreviaturas

TIC	Tecnologías de la información y la comunicación
NIST	The National Institute of Standards and Technology
UA	Universidad de Alicante
VLSI	Very Large Scale Integration
ULSI	Ultra large scale integration
ICP	Iterative Closest Point
IoT	Internet de las cosas
WSC	Warehouse Scale Computer
TI	Tecnología de la información
CPD	Centro de procesamiento de datos
Tier	Nivel
VM	Virtual Machine
IDC	Internet data center
HTTP	Hypertext Transfer Protocol
HTTPS	Hypertext Transfer Protocol Secure
FTP	File Transfer Protocol
SCP	Secure Copy Protocol o Simple Communication Protocol
CPU	Central Processing Unit
I/O	input/output
GE	Gigabit Ethernet
W	Vatios
KW	Kilovatios
MIPS	Millions of Instructions Per Second
FLOPS	Floating point Operations Per Second
USB	Universal Serial Bus
BMS	Building Management System
CRAC	Computer room air conditioner
CRAH	Computer room air handler
EPA	Environmental Protection Agency
DPM	Dynamic Power Management
DVFS	Dynamic Voltage and Frequency Scaling
AEMET	Agencia Estatal de Meteorología - AEMET. Gobierno de España

HPC	High Performance Computing
NREL	National Renewable Energy Lab
TOI	Coste Total de Propiedad
ROI	Retorno de la Inversión

1. Resumen

El paradigma de computación Cloud constituye una de las estrategias más innovadoras en cuanto a la adopción de Tecnologías de la Información por la sociedad. Las ventajas de este modelo de gestión de las TIC van en la línea de la mejora de la eficiencia y la reducción de costes, al tiempo que ofrece recursos y servicios accesibles a toda la sociedad. En este proyecto se plantea avanzar en el desarrollo de modelos de computación que permitan optimizar los procesos de ahorro de energía de los servicios Cloud.

2. Introducción

Muchos de los avances que está experimentando la sociedad en la actualidad se basan en el desarrollo de sistemas o paradigmas de computación, conocidos como “Cloud Computing”. Este término aparece en los 90’s, cuando John Mc Carthy opinó: “*Computation may someday be organised as a public utility*” [1]. No obstante, no fue hasta 1997 cuando el profesor Ramnath Chellappa introdujo este término en el contexto actual como: “*A new computing paradigm where the boundaries of computing will be determined by the economic rationale rather than technical limits alone*” [1], llegando a ser una tendencia para las TIC [2] permitiendo transferir los datos de los ordenadores personales y dispositivos móviles, tales como portátiles, etc. a las infraestructuras preparadas para el almacenamiento de la información conocidas como “centro de datos”. De acuerdo con NIST, este modelo de computación para sistemas Cloud se define como [3]: “*is a model for enabling convenient, on-demand network access to a shared pool of configurable computing resources (e.g., networks, servers, storage, applications, and services) that can be rapidly provisioned and released with minimal management effort or service provider interaction.*”.

El fácil acceso a los recursos que utiliza este paradigma, junto a los precios económicos que ofrece actualmente el mercado unido al éxito de Internet, hace que este sistema Cloud no solo sea utilizado por la comunidad tecnológica sino también por el público general.

La introducción de este paradigma en la sociedad ha tenido también un gran impacto en la industria de la TI, donde grandes empresas como Google, Amazon y Microsoft se esfuerzan por ofrecer plataformas Cloud más potentes. Siendo la columna vertebral de la economía de la información, crucial para las universidades y las instituciones gubernamentales, así como para los servicios financieros, los médicos, los medios de comunicación y las industrias de alta tecnología.

Finalmente, este modelo se implementa en los “centros de datos”. (Edificios, los cuales, contienen distintas salas preparadas para contener servidores empresariales, equipos de comunicación de servidores y equipos de refrigeración y electricidad).

Este contexto ha promovido el constante avance del desarrollo de la tecnología de procesamiento y almacenamiento de la información, convirtiéndose en uno de los mayores consumidores de energía del mundo del sector de las TIC, según algunos estudios estiman que en 2017 se llegará a consumir el 12% de toda la energía generada [4].

Los altos costos operativos asociados con la infraestructura de alimentación empujan a los proveedores a buscar estrategias para reducir el consumo de energía, como por ejemplo Google (optimizando la eficiencia de sus centro de datos) [5], Facebook (instalando nuevos centro de datos en el Polo Ártico) [6], etc.

En este sentido, también se encuentra la propia UA, donde ha realizado distintos estudios científicos tales como:

- Definición de un nuevo marco aprovechando las capacidades informáticas proporcionadas por el paradigma de “Internet de la cosas” (IoT) para apoyar las aplicaciones corporativas [7].
- Desarrollo de paradigmas computacionales basados en memorias con datos previamente calculados integrando las nuevas tecnologías VLSI y ULSI [8].
- Propuesta de un enfoque eficiente para la fase de coincidencia del algoritmo ICP, debido a que algunas de sus fases presentan un alto coste computacional, haciendo imposible algunas de sus aplicaciones [9].
- Propuesta de una técnica para estimar los retrasos de la red y programar tareas más precisas, cubriendo la problemática a la que se enfrenta el desarrollo de aplicaciones así como los servicios en los sistemas móviles consecuencia de la gran variedad de dispositivos con capacidades muy heterogéneas cuyos tiempos de respuesta son difíciles de predecir [10].
- Propuesta de un marco formal y un conjunto de primitivas computacionales para abordar problemas de alta precisión de cálculo matemático en ingeniería y simulación numérica. [11]
- Discutir el paradigma del procesamiento en tiempo real en el nivel inferior de los sistemas informáticos, donde describe una unidad aritmética basada en este principio que contiene operaciones de adición, multiplicación, división y raíz cuadrada. [12]

Buscando la optimización de los recursos o el ahorro del coste computacional.

3. Objetivo

Los objetivos a llevar a cabo a lo largo de este trabajo son los siguientes:

1. Realizar un estado del arte con el propósito de conocer la situación actual en la evolución de estos sistemas.
2. Identificar las características de configuración y gestión de los sistemas Cloud que tienen relación con la gestión de la energía y el consumo energético.
3. Propuesta de un modelo que integren los elementos anteriores para optimizar su funcionamiento.
4. Implementar un caso de uso que ponga en práctica los conocimientos adquiridos y establezca las bases para su desarrollo precompetitivo.

4. Estado del arte

La tendencia hacia este modelo de computación, el fácil acceso a los servicios de Internet y la constante evolución de las TIC, hace que aparezca una nueva clase de sistemas informáticos que algunos investigadores, como: Mark D. Hill lo han denominado WSC¹[13], cuyas principales características de estas modelo frente a los centro de datos tradicionales son:

- La escalabilidad de la infraestructura de software.
- Repositorios de datos.
- Plataforma de hardware.

WSC es un tipo de centro de datos, cuyos requisitos de homogeneidad, el control de una sola organización y el enfoque mejorado en la eficiencia de los costes motivan a los diseñadores a tomar nuevas medidas de gestión de los recursos (o servicios de Internet). Actualmente suministran servicios a empresas como Google, Amazon, Facebook y la división de servicios en línea de Microsoft.

Además se tiene que considerar que los servicios de Internet deben alcanzar una alta disponibilidad, ofreciendo al menos el 99.99% de tiempo de actividad. En este sentido, conseguir una operación sin errores en una gran colección de hardware y software de sistema es difícil y se hace más difícil debido al gran número de servidores involucrados. Aunque teóricamente se podría conseguir evitar errores de hardware mediante la utilización de 10.000 servidores, esto supondría tener un coste extremadamente elevado. Por lo tanto, las cargas de trabajo de WSC se deben diseñar para tolerar un gran número de fallos de componentes con poco o ningún impacto en el rendimiento y la disponibilidad del nivel de servicio.

En la siguiente tabla, se muestran las características entre un centro de datos tradicional y un WSC.

¹ Warehouse Scale Computer es la visión de un centro de datos como un ordenador.

Características CPD tradicionales VS WSC	
Centros de datos tradicionales	WSC
Suelen albergar un gran número de aplicaciones de tamaño relativamente pequeño o mediano.	Pertencen a una sola organización.
Cada aplicación se ejecuta en una infraestructura de hardware dedicada que está desacoplada y protegida de otros sistemas en la misma instalación.	Utilizan una plataforma relativamente homogénea de hardware y software de sistema.
Diferentes sistemas informáticos a menudo tienen poco en común en términos de hardware, software o infraestructura de mantenimiento	Comparten una capa de gestión de sistemas común.
Alojan hardware y software para múltiples unidades organizativas o incluso diferentes empresas	Gran parte del software de aplicación, middleware y sistema se construye internamente en comparación con el predominio de software de terceros que se ejecuta en los centros de datos tradicionales.
Tienden a no comunicarse entre sí.	

Tabla 1 CPD tradicionales vs WSC

4.1. Edificio

Los centros de datos se clasifican por varios niveles, empezando por el Tier I y terminando por el Tier IV [14]. Se tiene que tener en cuenta, los objetivos que pretende alcanzar la organización que vaya a utilizar este modelo de computación Cloud. En este sentido, aparece la necesidad de realizar unos estándares donde se defina las características y rendimiento que debe tener cada nivel de centro de datos. Por ello, los organismos o entidades encargadas de realizar la clasificación de los distintos Tiers son:

- El Instituto Uptime [15].
- Organización especializada en servicios profesionales relacionados con el centro de datos.
- Asociación de la Industria de las Telecomunicaciones (TIA) [16] junto a un grupo industrial acreditado por ANSI formado aproximadamente por 400 empresas miembros.

Estas entidades u organizaciones, abogan por una clasificación de 4 niveles basados en la:

- Distribución de la energía.
- Alimentación ininterrumpida (UPS).
- Suministro de refrigeración.
- Redundancia de centro de datos.

Donde según el nivel que se desee implantar o que se esté utilizando debe cumplir los siguientes requisitos (véase la siguiente tabla).

Requisitos mínimos para cada nivel de CPD	
Nivel de CPD	Descripción de los requisitos
Tier I	<ul style="list-style-type: none"> No utilizan componentes redundantes. Sólo tiene una única ruta conectada directamente al equipo informático del sitio.
Tier II	<ul style="list-style-type: none"> Utiliza componentes redundantes. Sólo tiene una única ruta conectada directamente al equipo informático del sitio.
Tier III	<ul style="list-style-type: none"> Utiliza componentes redundantes Tiene varias rutas redundadas conectadas directamente al equipo informático del sitio. Pero sólo se utiliza una ruta de acceso directo al equipo informático del sitio.
Tier IV	<ul style="list-style-type: none"> Es tolerante a fallos (Faul Tolerant) Utiliza componentes redundantes Configuración de una ruta de conectividad múltiple que al mismo tiempo sirve al equipo informático del sitio. Todo el hardware es de doble potencia

Tabla 2 Requisitos mínimos que debe cumplir un CPD según “The Uptime Institute”

Además, según “The Uptime Institute” [15], raramente las organizaciones o empresas que utilizan este sistema de computación realizan un diseño topológico correcto, por lo que se ha considerado mencionar los estándares de rendimiento que utiliza cada nivel del centro de datos y qué elementos utiliza cada uno de los respectivos Tiers. Como puede ser la utilización de componentes redundantes, Tolerancia a fallos, etc. (véase la siguiente tabla).

Estándares de rendimiento que debe cumplir cada nivel de CPD				
Requisitos del CPD	Tier I	Tier II	Tier III	Tier IV
Fuente	Sistema	Sistema	Sistema	Sistema + Sistema
Redundancia de componentes del sistema	N	N+1	N+1	Mínimo de N+1
Enlaces de conexión	1	1	1 normal 1 alternativo	2 Simultáneamente activos
Compartir o utilizar recursos simultáneos	No	No	No	Si
Mantenimiento	No	No	Si	Si
Tolerancia a fallos	No	No	No	Si

Tabla 3 Estándares de rendimiento para cada nivel de CPD según “The Uptime Institute”

Por último la organización “The Uptime Institute” ha otorgado hasta la fecha, 918 certificaciones en 85 países de todo el mundo [15]. De esas, 32 se encuentran repartidas entre las distintas organizaciones o corporaciones ubicadas en territorio Español (ver anexo 10.1).

4.2. Hardware / Software

Para poder llevar a cabo este paradigma de computación en la nube, tanto el hardware como el software juegan el papel más importante. Sin ellos, todos los servicios que se realizan en la actualidad utilizando los servicios y los recursos “Cloud” ofrecidos por ejemplo por, Google [17], Amazon [18], Microsoft [19], etc. no sería posible.

Uno de los aspectos importantes que tiene el hardware es el almacenamiento (Storage), el cual hace posible que los usuarios puedan almacenar toda la información que consideren oportuna sin tener la necesidad de utilizar los propios recursos, como puede ser, ordenadores, memorias USB (Universal Serial Bus).

En cuanto al software, este consiste en permitir que los usuarios o clientes puedan acceder desde el exterior a los recursos mediante la utilización de protocolos de red, como pueden ser: HTTP/HTTPS, FTP, SCP, etc.

4.2.1. Hardware

El hardware es una parte importante de sistemas computacionales Cloud, por lo que a lo largo de esta sección, se va a analizar la eficiencia de algunos componentes hardware que participan en este paradigma. En este sentido y siguiendo la arquitectura que indica la siguiente ilustración, los componentes analizados han sido:

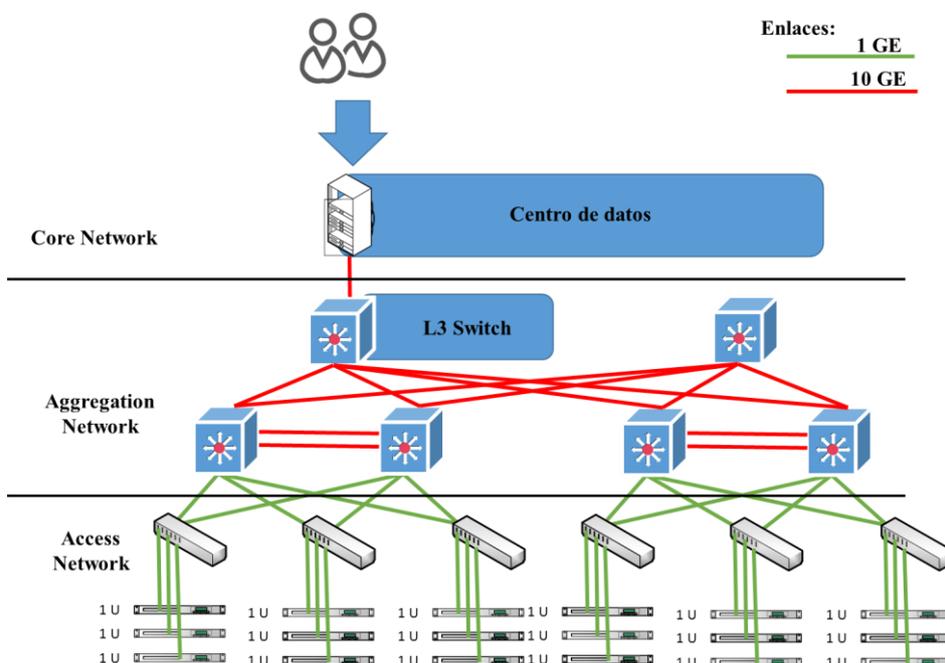


Ilustración 1 Simulación arquitectura de un paradigma Cloud (Elaboración propia)

- **Servidores**

Se conoce que el modelo de carga de los **servidores** depende del estado del servidor, de la utilización de CPU y además debe administrar los módulos de memoria, discos,

recursos de I/O y otros periféricos en un estado aceptado, generando un incremento de la carga y por tanto un aumento del consumo.

- **Conmutadores (switches) y cableado**

Existen diferentes soluciones para la interconexión de servidores y conmutadores, por ello, en función del ancho de banda soportado, las características físicas y la calidad del enlace se implementará una solución con un cableado u otro. Además, se sabe que los factores que determinan el coste y el consumo de energía de los transceptores vienen dados de la calidad de la señal de transmisión de un cable concreto, el cual, determina un equilibrio entre la velocidad de transmisión y la distancia del enlace.

De los distintos cableados existentes, los más utilizados son:

- Par trenzado

Utilizado para las conexiones Ethernet, permitiendo transmisiones a GE y cuya distancia máxima permitida es hasta 100 metros con el transceptor de energía consumida de alrededor de 0.4W o 10 enlaces GE hasta 30 metros con el transceptor de potencia de 6W [20].

- Fibra óptica

Para la organización de 10 enlaces GE es común el uso de fibras ópticas multimodo. Las fibras multimodo permiten transmisiones de hasta 300 metros con la potencia del transceptor de 1W [20].

- **Carga de trabajo**

Son los objetos diseñados para el modelado universal de varios servicios de usuario en este paradigma, como redes sociales, mensajería instantánea y entrega de contenido. La ejecución de cada objeto de carga de trabajo requiere la finalización exitosa de sus dos componentes principales:

- Computacional

Define la cantidad de recursos informáticos requeridos para ser proporcionados por el servidor de computación en MIPS o FLOPS y el tiempo por el cual estos recursos deben ser asignados.

- Comunicacional.

Define la cantidad y el tamaño de las transferencias de datos que se deben realizar antes, durante y después de la ejecución de la carga de trabajo.

4.2.2. Software

El software es una parte importante de este paradigma cuyo objetivo es proporcionar y entregar servicios en un sistema Cloud a los distintos dispositivos de los usuarios. Este modelo computacional es utilizado en la gran mayoría de centros de datos.

Hoy en día, la gran mayoría de centros de datos contienen miles de máquinas físicas organizadas en racks, las cuales implementan la tecnología de la virtualización ejecutando millones de VM [21] consumiendo gran cantidad de energía para el procesamiento de datos, almacenamiento y comunicación afectando negativamente al medio ambiente.

La tecnología de la virtualización se puede definir como: “un enfoque para el uso eficiente de los recursos del servidor de computadoras, que reduce el número total de servidores o ubicaciones de servidores donde la utilización es baja” [22].

Esta tecnología permite desplazar la carga de trabajo entre los centros de datos de una empresa, además de permitir que los servidores subutilizados se apaguen.

Aunque a priori parece que utilizando la virtualización se esté ahorrando un coste, tanto a nivel de ampliación de infraestructura como a nivel de inversión de nuevo hardware. Tiene uno de los problemas más importantes, el cual, llega a afectar a la eficiencia energética del propio centro de datos, a consecuencia de la integración de nuevas solitudes o migración de VM en servidores físicos [23].

4.3. Sistema de refrigeración

En los puntos anteriores se han analizado los distintos componentes que hacen que este paradigma se lleve a cabo. En este sentido, una infraestructura Cloud consta de una colección de racks apilados unos al lado de otro formando filas, los cuales, contienen distintos dispositivos hardware, como son, switches, router, servidores, etc., conectados entre sí. Estos dispositivos son las principales fuentes de calor y no contemplar un sistema de refrigeración puede llegar a causar fallos en los dispositivos, disminuir el rendimiento del dispositivo e acortar la vida del dispositivo, entre otras consecuencias.

El sistema de refrigeración es otro de los aspectos a tener en cuenta en este modelo computacional y repercute en el consumo de la energía, cuyo principal propósito es proporcionar un buen ambiente térmico para la confiabilidad de los distintos dispositivos de TI, teniendo una especial atención en los servidores.

En la mayoría de los centros de datos tradicionales (IDC), el rango de temperatura operacional sigue estando entre 18-23C o incluso más bajo [24].

Los IDC tradicionales emplean mecanismos y políticas, como son: la utilización de un número limitado de sensores físicos ubicados en el techo para monitorizar la temperatura de la sala y la utilización de unidades de refrigeración (CRAC / CRACH) para garantizar el enfriamiento de los equipos de acuerdo las especificaciones.

Hay que tener en cuenta que diferentes tipos de hardware con diferentes densidades de potencia y distribución de energía siempre significan diferentes requisitos de refrigeración (variación de potencia, temperatura del aire de entrada, volumen de flujo de aire), por lo que, una unidad de refrigeración no puede conocer y reflejar exactamente la demanda de enfriamiento directamente basada en el cambio del uso del servidor. Por ejemplo, una carga de trabajo de una aplicación multiservidor aumenta causando una gran variación de potencia y posterior aumento de la salida térmica. Este mecanismo de control de enfriamiento no responderá hasta que el sensor, ubicado en el techo, perciba el aumento de temperatura del aire en la sala e informe al sistema BMS. Este tiempo de respuesta provoca un mayor rango de oscilación de temperatura y un menor tiempo de respuesta para hacer frente a cualquier variación térmica o de potencia importante.

De acuerdo con esto, se han realizado distintos estudios de diferentes sistemas de refrigeración como:

- Aumentar la utilización de los servidores, permitiendo el apagados de servidores sobre provisionados (véase sub-sección 4.2)
- Aumentar la temperatura del aire (ODC) (véase sub-sección 4.3)
- Pasillos fríos /calientes (véase sub-sección 4.3)
- Refrigeración híbrida (véase sub-sección 4.3)
- Inmersión de hardware en aceite mineral (véase sub-sección 4.3)

Donde el principal objetivo es mantener los componentes hardware en las temperaturas que indica el fabricante y así cumplir con SLA establecidos mediante el diseño y la utilización de sistemas más eficientes.

4.3.1. Pasillos fríos / calientes

Este sistema lo utilizan la mayoría de organizaciones o corporaciones tradicionales (IDC), como por ejemplo, la organización Nixval [25].

En la siguiente ilustración se muestra este sistema de refrigeración. En ella, los racks están distribuidos en filas y el espacio entre las dos filas se protege y se aísla para mejorar la eficiencia del enfriamiento.

Hay que tener en cuenta, que un CPD puede tener más de una sala donde para ubicar los distintos servidores, por lo que, el procedimiento para conseguir la temperatura óptima, es, por un lado, mediante la suministración del aire frío desde un suelo falso con baldosas perforadas para la distribución del aire frío, el cual, fluye desde el fondo del rack hasta la parte superior del mismo y por otro lado, el aire caliente generado se recicla desde el techo utilizando una o varias unidades de refrigeración para cada una de las distintas salas de servidores y así absorber el aire caliente y transformarlo en aire frío [26].

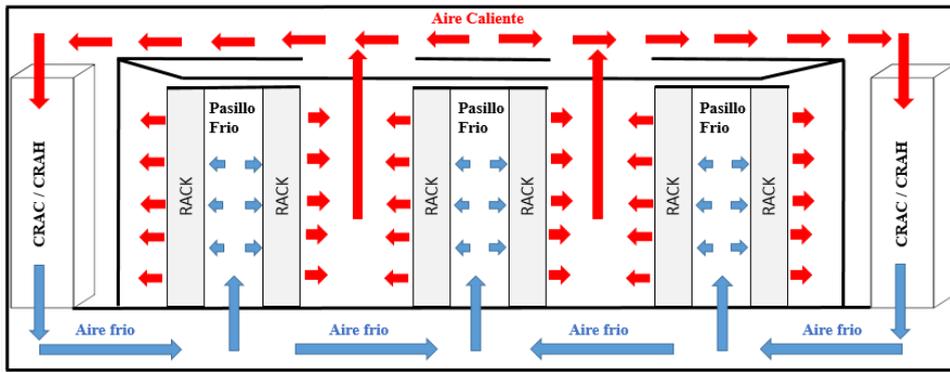


Ilustración 2 Sistema de refrigeración en los CPD's tradicionales (Elaboración propia)

Este sistema de refrigeración está monitorizado utilizando sensores, los cuales, se encuentran ubicados en la parte superior de la sala, cuya finalidad es controlar la temperatura de la sala para así garantizar el mantenimiento y estado del hardware, sin tener en consideración el consumo de la energía.

4.3.2. Refrigeración híbrida

Esta infraestructura tiene en consideración el consumo eléctrico, como el mantenimiento y estado del hardware. Por ello, por un lado, utiliza un circuito de agua caliente para enfriar componentes de alta potencia, como pueden ser, procesadores y dispositivos de memoria que dominan el calor total disipado en los servidores. Y por otro lado, utiliza el aire frío, como podría ser mediante un sistema de pasillo frío, para enfriar otros componentes auxiliares, tales como, discos, la fuente de alimentación y los chipsets de la placa base debido a que disipan menos energía y presentan menor densidad de potencia.

Siguiendo con esta tendencia, se ha creado el primer prototipo de superordenador de agua caliente refrigerada [27], conocido como "Aquasar" [28]. Este sistema consta de 33 IBM BladeCenter QS22 PowerXCell y 9 IBM BladeCenter HS22 Intel Nehalem distribuidos equitativamente en 3 chasis IBM BladeCenter H con 14 BladeCenters en cada chasis, permitiendo tanto el enfriamiento del hardware por aire frío como mediante un sistema de agua caliente además de reutilizar el calor desperdiciado.

En la ilustración. 4, se muestra la estructura y los elementos que intervienen en este sistema. Como se puede observar, es un circuito cerrado entre el refrigerador y los racks, diseñado para eliminar la disipación de calor de los armarios (racks). El agua refrigerada en el circuito absorbe la disipación de calor de los racks y regresa al refrigerador caliente. Para llevar a cabo este proceso, el agua se bombea a los servidores y es el intercambiador de calor intermedio (HTX) el que se encarga de refrigerarla y que mediante un circuito en el propio servidor esta fluya por dentro absorbiendo la carga disipada por los procesadores y dispositivos de memoria.

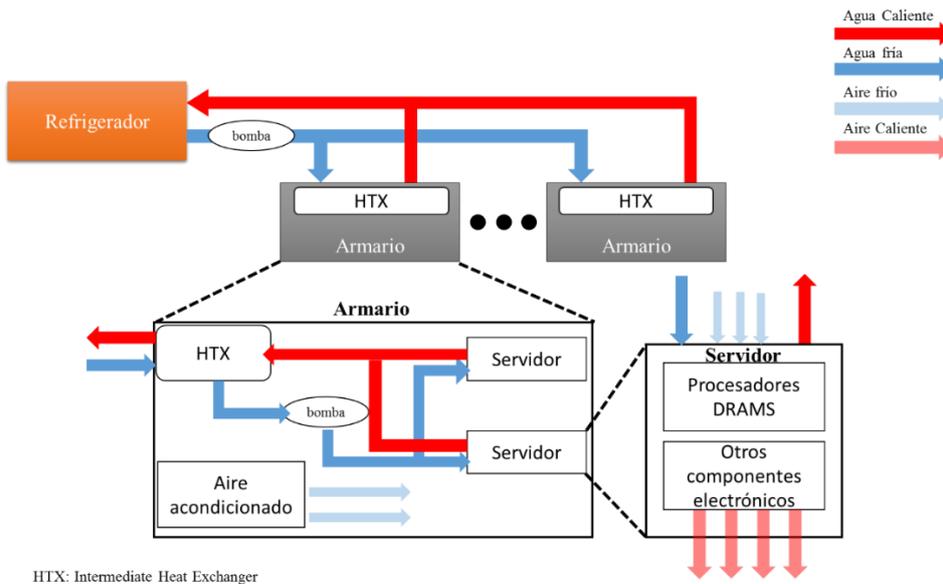


Ilustración 3 Estructura de un sistema de refrigeración híbrido (Elaboración propia)

4.3.3 Inmersión de aceite mineral

Este sistema pretende utilizar un líquido dieléctrico, el cual, se suele utilizar para fines de refrigeración. De este modo, el aceite mineral cumple con los requisitos para la refrigeración de los distintos elementos que hacen posible la computación Cloud y por lo tanto es un elemento clave, además de tener siempre en cuenta el cumplimiento con el respectivo SLA que garantiza el centro de datos.

Consiste en sumergir dentro de una infraestructura, la cual, contiene aceite mineral, los distintos elementos hardware que participan en este paradigma excepto el cableado hasta cubrirlos completamente, llegando a conseguir un ahorro importante [29] y [30].

Se tiene que tener en cuenta que este tipo de sistemas afecta directamente a la seguridad a nivel de dispositivo y sus componentes. Debido a esto “Jimil M. Shah, Richard Eiland, Ashwin Siddarth y Dereje Agonafer” analizan la fiabilidad del hardware sumergido y mejoras de fiabilidad en los centro de datos [31]. Donde, plantean varias líneas de investigación a tener en cuenta en este sistema, como pueden ser:

- Medir el efecto del aceite mineral en los principales componentes.
- Utilización de la prueba del envejecimiento para analizar los distintos cambios que sufren las propiedades y químicas utilizando el aceite mineral.

Por otro lado, algunas organizaciones [29], [32] han seguido esta tendencia, patentado este sistema además de implementarlo hoy en día.

Finalmente, puede ser una solución en aquellos países como India, China, etc., cuyas condiciones ambientales se encuentran por encima del nivel de intensidad que indica ASHRAE G3 [31],

haciendo difícil la implementación de sistemas que permitan minimizar el costo de energía para mantener la temperatura térmica requerida.

4.3.4. On-Demand Cooling (ODC)

Otra técnica que se ha investigado para reducir el consumo de la energía es aumentar la temperatura de un IDC. Anteriormente se ha visto el problema que existe en los centro de datos tradicionales en el caso de existir una variación de la temperatura térmica en la sala de un CPD. De acuerdo con esto, y siguiendo esta tendencia aparece “On-Demand Cooling (ODC) [24], donde, el objetivo es proporcionar toda la información térmica de la sala al instante mediante la utilización de controladores térmicos permitiendo mejorar la capacidad de respuesta a los posibles problemas térmicos y reducir la oscilación de temperatura y por lo tanto, permite utilizar temperaturas más altas en las salas (HTA), consiguiendo reducir el consumo de energía basándose en un uso más eficiente de las unidades de refrigeración (CRAC / CRACH).

La siguiente ilustración muestra la metodología de un sistema ODC controlado por con controladores térmicos en tiempo real.

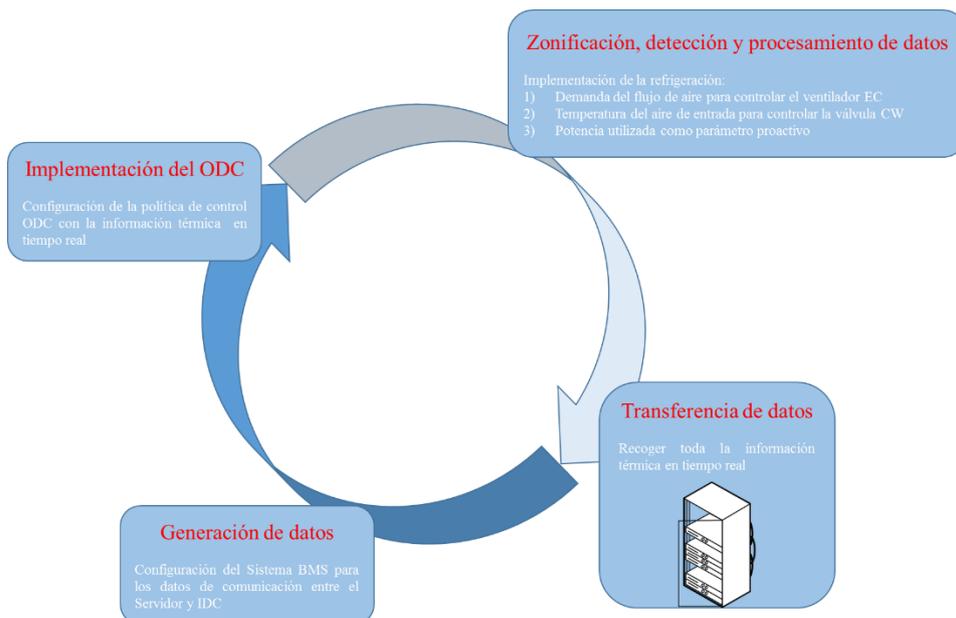


Ilustración 4 Metodología del sistema ODC (Elaboración propia)

Este sistema o técnica consta de cuatro pasos. Los cuales son:

- Generación de datos
- Transferencia de datos
- Zonificación, detección y procesamiento de datos
- Implementación del ODC

4.3.5. Ventajas y desventajas de los sistemas de refrigeración vistos

Una vez analizados los sistemas de refrigeración que se han considerado más importantes, teniendo en cuenta por posibilidad de implantación o bien se están utilizando.

La siguiente tabla muestra las ventajas y desventajas de cada uno de los sistemas de refrigeración vistos anteriormente.

Ventajas y desventajas de los sistemas de refrigeración

Sistema refrigeración	Ventajas	Desventajas
Pasillos fríos / calientes	<ul style="list-style-type: none"> • Instalaciones ya diseñadas 	<ul style="list-style-type: none"> • Ubicación de sensores • Menor tiempo de respuesta para hacer frente a cualquier variación térmica. • Un desajuste entre la temperatura térmica de los servidores y el suministro de aire frío puede producir ineficiencias en circuito, como el enfriamiento insuficiente o el enfriamiento excesivo de los servidores.
Refrigeración híbrida	<ul style="list-style-type: none"> • Sistema económico • Puede eliminar el calor de un centro de datos con menos energía que el enfriamiento por aire convencional 	<ul style="list-style-type: none"> • Puntos calientes en la sala del centro de datos
Inmersión de aceite mineral	<ul style="list-style-type: none"> • Simplicidad en el diseño de las instalaciones. • Mejora la eficiencia de enfriamiento. • Ahorro de costo • Minimiza los problemas operacionales, como: <ul style="list-style-type: none"> • Sobrecalentamiento. • Oscilaciones de temperatura en el sistema. • Fallos en los ventiladores de los servidores. • Ruido • Polvo • Calidad del aire • Eliminación de los puntos calientes. • Menos variación de la temperatura ambiente. 	<ul style="list-style-type: none"> • Pocos CPD implementan este sistema de refrigeración. • Proveedores reacios a vender este tipo de hardware frente al hardware de refrigeración por aire existentes. • Influencia del aceite mineral en las propiedades del material que está compuesto cada uno del hardware que forma parte de este paradigma (mecánicas y químicas). • Problemas de fiabilidad a nivel de hardware
On-Demand Cooling	<ul style="list-style-type: none"> • Información térmica de la sala del CPD en tiempo real. • Un aumento de la temperatura del aire de entrada de 1 grado puede reducir el consumo de energía de enfriamiento en un 2% -5% • Reduce la oscilación de temperatura • Garantiza la seguridad térmica ante mayores variaciones de potencia. • Permite aumentar la temperatura de 21 grados hasta un máximo de 27 grados. 	<ul style="list-style-type: none"> • Necesidad de mantener el hardware por debajo de la temperatura crítica implicando una limitación en cuanto al aumento de la temperatura en la sala del CPD.

Tabla 3 Principales ventajas y desventajas de los distintos sistemas de refrigeración

4.4. Energías renovables para computación Cloud Computing

Según Greenpeace, los combustibles fósiles serán sustituidos por las energías renovables en 2050 [33]. Además, es más común que las organizaciones o empresas que necesitan o utilizan un CPD para el tratamiento de todos sus datos, apuesten por las energías renovables o por técnicas, las cuales, utilizan los propios recursos que genera el entorno, como puede ser el aire, con el objetivo de respetar el medio ambiente. En este sentido, se encuentra el nuevo centro de datos Mapfre, en España [34] o Green Mountain AS, en Noruega [35].

Se tiene que tener en cuenta los distintos SLAs que debe garantizar cada CPD, por lo que, la necesidad de tener, tanto el sistema de refrigeración como el hardware activo durante las 24 horas durante los 365 días que contiene un año, es esencial.

En consecuencia, apostar por este tipo de energías o técnicas implica un ahorro en el consumo de la energía.

En este trabajo se han estudiado las energías renovables o técnicas que se pueden llegar a implantar en el centro de datos que tiene la misma Universidad de Alicante [36], dada su ubicación y climatología a lo largo del año. Cabe recordar, que esta organización está utilizando la energía solar para abastecer a todos los centros / Facultades que representa.

4.4.1. Energía Solar fotovoltaica

La energía solar fotovoltaica se obtiene directamente a partir de la radiación solar mediante un dispositivo semiconductor, llamado como “panel fotovoltaico” o bien mediante la exposición de metales sobre una capa, conocida como “panel solar de película fina” [37].

Hoy en día, este tipo de energía está considerada como una de las mejores fuentes de energía renovable o limpia que podría ayudar con el ahorro energético en este tipo de computación.

Además la organización como “Greenpeace España” [38] espera que la energía solar fotovoltaica podría dar electricidad limpia a más de 4.000 millones de personas 2030.

4.4.2. Energía eólica

Este tipo de energía es capturada por turbinas eólicas que convierten la energía cinética en energía mecánica utilizada para producir electricidad. La potencia está determinada por tres velocidades importantes del viento, las cuales son específicas para un aerogenerador, estas son:

- La velocidad del viento de corte.
- La velocidad nominal del viento.
- La velocidad de corte.

Cuando la velocidad del viento excede la velocidad del viento cortado, la turbina eólica comienza a generar electricidad. Su poder crece a medida que la velocidad del viento aumenta hasta que alcanza la velocidad nominal del viento. La relación entre la potencia y la velocidad del viento se puede mostrar en la ecuación:

$$P = 0.5C_p \rho A v^3,$$

Donde C_p denota la eficiencia de potencia, ρ es la densidad del aire, A es el área barrida por el rotor y v es la velocidad del viento.

Cuando la velocidad del viento está entre la velocidad del viento de corte y la velocidad nominal del viento, la potencia de salida se ajusta a su capacidad máxima. El poder cae bruscamente a cero para proteger su conjunto de cuchillas cuando la potencia del viento excede la velocidad de corte del viento [27].

4.4.3. Energía mareomotriz

Este tipo de energía se produce a partir de una corriente de marea de agua de mar que es relativamente predecible debido a una tabla de mareas conocida.

Por otro lado, la potencia disponible de una corriente de marea con una velocidad de marea V se estima utilizando la ecuación:

$$P_{\text{tide}} = (1/2) \rho A V^3$$

Donde ρ representan la densidad del agua, A representa el área barrida por las palas del rotor.

Además, la energía generada a partir de un generador de corriente de marea puede estimarse utilizando la ecuación:

$$P_m = C_p P_{\text{tide}}$$

Donde C_p representa la eficiencia de conversión de energía cinética en energía eléctrica [27].

4.4.4. Free Cooling

En este caso, no es una energía renovable la que pretende cumplir el objetivo de reducir el consumo de energía eléctrica, sino más bien utiliza el recurso del aire que proporciona el propio medioambiente.

Actualmente, existen varios métodos que utilizan el aire exterior, tales como:

- Utilización del aire a baja temperatura directamente del exterior.

Debido a la cantidad de elementos que compone el aire, como puede ser el polvo, la humedad, las partículas de sal provenientes del mar, implicando posibles incrementos en los costes de explotación y el consumo de energía.

- Utilización del aire a baja temperatura indirectamente del exterior.
Evita los posibles problemas que puedan tener el hardware al ser tratado el aire del exterior previamente.

De acuerdo con esto, “Naoki Futawari, Hideki Tsukimoto, Yuji Kohata, Yosuke Udagawa y Yasuhiro Naito” [39] han propuesto un sistema o circuito, centrado en la utilización del aire a baja temperatura indirectamente desde el exterior, llamado como “pumped refrigerant cycle” (ciclos de bomba de calor refrigerante) o conocido como “pump cycle” (ciclo de bomba de refrigerante).

Para llevarlo a cabo este método, han utilizado:

- Un climatizador de aire
Ubicado al exterior y su función es tratar el aire y enviarlo a la unidad de bombeo del aire.
- Una unidad para bombear el aire
Situada al lado de la unidad de refrigeración tradicional. Esta unidad se encuentra configurada para que envíe el aire limpio recibido del climatizador a baja temperatura (ya convertido en aire frío) a la unidad de refrigeración tradicional.
- Unidad de refrigeración tradicional
Es la que se encarga de transportar el aire a la sala del CPD, utilizando el sistema de refrigeración, conocido como “Pasillos fríos / calientes” visto anteriormente.

Este diseño (ver ilustración siguiente) no degrada la calidad del aire dentro de la sala de ordenadores. Dado que la bomba refrigerante funciona cuando la temperatura del aire exterior es baja, por lo tanto el consumo de energía se reduce significativamente.

Según los distintos estudios realizados en Sapporo (Japón), Nueva York (EE.UU.) y Austen (Texas, EE.UU.) se ha conseguido reducir el consumo anual de energía en un 54%, 50% y 38 %.

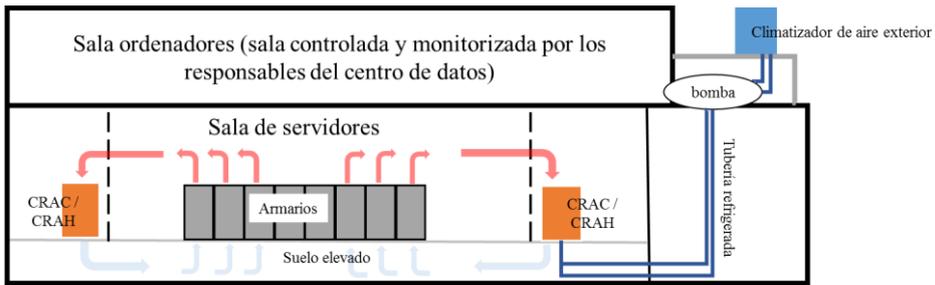


Ilustración 5 Diseño de circuito de bomba de calor (Elaboración propia)

4.4.5. Ventajas y desventajas

A lo largo de este apartado se van a ver las ventajas y desventajas de las distintas energías renovables que se pueden implantar en los CPD, mediante la siguiente tabla. En ella, se listan, las ventajas y desventajas que se han considerado como más importante o que pueden tener más relevancia.

Ventajas y desventajas de las energías renovables e sistemas		
Energía renovables	Ventajas	Desventajas
Energía Solar Fotovoltaica	<ul style="list-style-type: none"> • Coste más económico. • Más utilizada por lo que es más fácil de implantar. 	<ul style="list-style-type: none"> • Factores que se deben tener en cuenta puesto que pueden afectar negativamente: <ul style="list-style-type: none"> • Zona geográfica del CPD. • Edificios alrededor del CPD. • Estructura del edificio.
Energía eólica	<ul style="list-style-type: none"> • Presenta menor fluctuación que la energía mareomotriz implicando una mayor disponibilidad en el CPD. 	<ul style="list-style-type: none"> • Alta imprevisibilidad • Factores que se deben tener en cuenta puesto que pueden afectar negativamente conduciendo a un bajo consumo de la energía: <ul style="list-style-type: none"> • Actividades humanas diarias. • Condiciones climáticas • Requiere una gran capacidad de almacenamiento de energía para remodelar la energía eólica. • Costo elevados, consecuencia de los dispositivos (baterías) adicionales para el almacenamiento.
Energía mareomotriz	<ul style="list-style-type: none"> • Presenta mayor fluctuación que la energía eólica implicando un menor disponibilidad en el CPD 	<ul style="list-style-type: none"> • Fácil de predecir • Necesita una gran cantidad de almacenamiento para sincronizar la energía generada de las mareas.
Free-Cooling	<ul style="list-style-type: none"> • Mejor control de funcionamiento implicando una ventilación más efectiva. • Utilización del aire del exterior como recurso de enfriamiento. 	<ul style="list-style-type: none"> • Costes elevados • Rediseño de la infraestructura. • Factores que se deben tener en cuenta puesto que pueden afectar negativamente: <ul style="list-style-type: none"> • Zona geográfica del CPD. • Edificios alrededor del CPD • Estructura del edificio.

Tabla 4 Principales ventajas y desventajas de las distintas Energías Renovables que se pueden implantar en un CPD

5. Gestión de la energía y el consumo energético

Hoy en día, este modelo de computación Cloud pretende cumplir con dos objetivos:

- Satisfacer las necesidades de los usuarios (cliente o proveedor)
- Cumplir con los acuerdos SLA (según las características de cada centro de datos)

Según lo visto anteriormente, cada sala o habitación que contenga cada CPD, cumplirá con una topología de diseño, unas especificaciones y unos objetivos concretos, tal y como se ha comentado en la sección anterior (ver sub-sección “4.1. Edificio”).

Además, la mayoría de los centros de datos están afectando negativamente al medio ambiente, debido a:

- El consumo eléctrico que necesitan cada una de las partes que hacen posible que cientos de miles de usuarios utilicen los recursos conocidos como “nube”, como se muestra en la Ilustración 6. Según [40], el equipo de refrigeración utiliza casi la misma cantidad de energía que el equipo de TI, llegando a utilizar más de 80% de la energía total del CPD entre ambos.

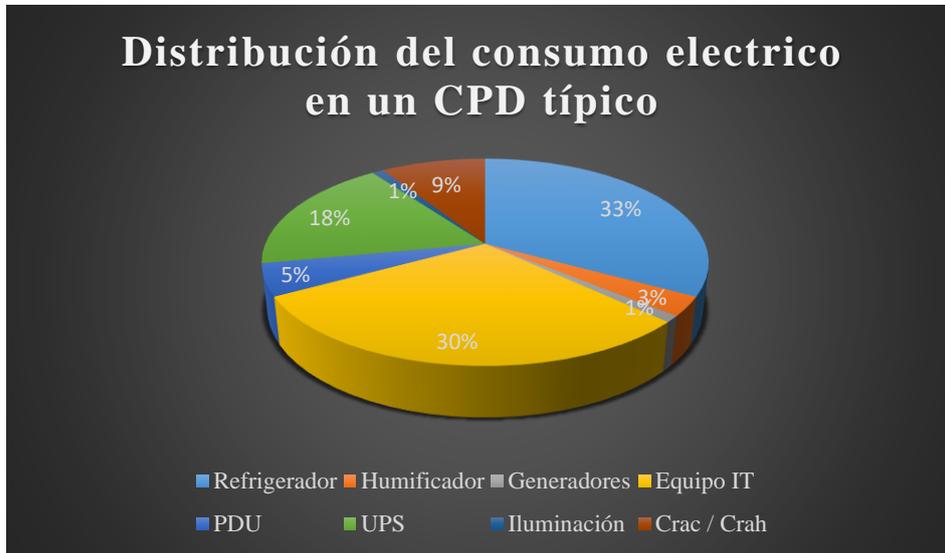


Ilustración 6 Típica distribución del consumo eléctrico en un centro de datos

- La necesidad de utilizar una gran cantidad de energía (véase tabla 5) para el procesamiento de datos, el almacenamiento, la comunicación y la refrigeración del hardware.

Según la Agencia de Protección del Medio Ambiente de los Estados Unidos, estimo un consumo de energía de más de 100.000 millones KW h con un coste anual de 7.400 millones de dólares para los centros de datos de los Estados Unidos en 2017.

- La emisión de carbono tiene un efecto perjudicial sobre los seres vivos y el medio ambiente. Un CPD puede producir 170 millones de toneladas métricas de carbono al año y se espera que en 2020 lleguen a 670 millones de toneladas métricas.

Distribución del consumo energético de los TIER a nivel hardware			
Parámetros	Consumo de energía (kW · h)		
	TIER II	TIER III	TIER IV / TIER III alta velocidad
Centro de datos	477,8	503,4	508,6

Tabla 5 Distribución del consumo energético según nivel del CPD a nivel hardware (Tabla obtenida [20])

Estos efectos negativos hacen que surjan líneas de investigación con el objetivo de optimizar los recursos que se están utilizando actualmente o mediante la apuesta e implantación de energías renovables para autoabastecerse, buscando en todo momento un ahorro del consumo, un sistema de computación más eficiente y una mejora en el impacto que tiene al medio ambiente.

Este trabajo pretende diseñar un modelo de computación para sistemas Cloud Computing siguiendo la línea de la mejora de la eficiencia y la reducción de costes al tiempo de ofrecer recursos y servicios accesibles a toda la sociedad. Para ello, se ha centrado en los siguientes puntos:

- Nivel del CPD sobre lo que se va a analizar.
- El consumo generado por el hardware y software.
- Coste de refrigeración consecuencia del calor térmico generado por el hardware utilizado.

Como se ha visto en la sección anterior, existen distintos niveles de centro de datos, donde cada uno tiene que cumplir con unos requisitos o necesidades. Para decidir sobre qué nivel de CPD se va a centrar este trabajo se han analizado las certificaciones que ha otorgado “The Uptime Institute” en los países de Noruega y España, donde se ha observado que la gran mayoría corresponden al nivel III. Por lo tanto, esta investigación se va a centrar en los CPD - Tier III.

El siguiente paso, tras seleccionar el nivel del centro de datos, ha sido el análisis de la eficiencia que tiene este diseño de centro de datos. Para ello, se ha tenido en cuenta el valor PUE (Power Usage Effectiveness). Este valor define la relación entre la energía consumida por un CPD y la energía que llega a los equipos de TI (véase la siguiente fórmula).

$$PUE = \frac{\text{Total de energía consumida por un centro de datos}}{\text{Total de energía que llega a los equipos de TI}}$$

En este sentido, la gran mayoría de centro de datos, como los de Google [5], tiene como objetivo hacer sus centros de datos más eficientes mediante la reducción del uso energético a la vez de contribuir al crecimiento exponencial de Internet.

Por ello, pretenden que dicho valor se aproxime a 1 para que casi toda la energía la utilicen los equipos de TI. Como ejemplo:

- Valor del PUE igual a 1,12

El CPD solamente utiliza el 12% de energía adicional para todo su funcionamiento.

Siguiendo esta línea y según el capítulo 2 del libro “Optimum Cooling of Data Centers” [41], donde se indica el tanto por ciento de consumo utilizado por cada uno de los elementos implicados utilizando distintos valores de PUE. Además, existen estándares de medición de PUE, tales como “The Green Grid” [42]. (Véase la siguiente tabla).

Distribución del consumo		
Componente	% del consumo PUE = 1.8	% del consumo PUE = 3.0
Equipamiento informático	55%	34%
Refrigeración	19%	31 %
CRAC / CRAH	13%	21%
Otros (PDU, UPS, generador, etc .)	13 %	14%

Tabla 6 Energía consumida en un centro de datos (Obtenida de “Data Center Energy Flw and Efficiency”)

Una vez se ha obtenido la eficiencia de un centro de datos según el valor del PUE y que componentes participan en el consumo se va a continuar analizando el consumo que genera el hardware.

En la siguiente tabla (Véase tabla 7), se presenta el consumo de carga de algunos de los componentes que participan en este paradigma. En ella, el consumo de energía de los componentes del centro de datos, donde, el consumo máximo de un servidor es de 301 W, compuesta por una asignación de CPU máxima de 0.13 KW² (43,19%) y 0.171 KW (56,81%) de otros dispositivos, tales como, memoria, discos, ventiladores, ranuras periféricas, placas base y unidades de potencia.[20]. Por otro lado, el consumo mínimo de un servidor inactivo es de 0.198 KW (65,78%), en este consumo se incluye el consumo de energía de CPU, siendo de 0.027 KW, el cual permite mantener el sistema operativo activo.

Consumo de energía Hardware en un centro de datos			
Hardware	Consumo de energía (KW)		
Servidores			
*Consumo máximo Servidores	0.301		
*Consumo máximo CPU servidor	0.130		
*Memoria, placa base, ventiladores, PSU perdidas, periféricos	0.171		
Servidores “inactivos”	0.198		
Conmutadores (Switches)			
	Cableado	Núcleo(C1) y añadiendo (C2)	
Chasis	146	1,5k (10G)	15k (100G)
Tarjeta puertos (Line card)	-	1k (10G)	12k (100G)
Puerto (boca)	0,42	0,3k (10G)	1,6k (100G)

Tabla 7 Consumo de los componentes en un CPD. * Hardware que participa en el consumo del servidor [20]

En cuanto al consumo generado durante una hora de ejecución en un CPD Tier III es de alrededor de 503 KW h [20]. Lo que supone que en un año sería de alrededor de 4.406.280 KW h. La mayor parte de este consumo corresponde los servidores, donde estos utilizan aproximadamente el 70% y el otro 30% restante corresponde a los enlaces de comunicación y conmutadores, como se aprecia en la siguiente ilustración.

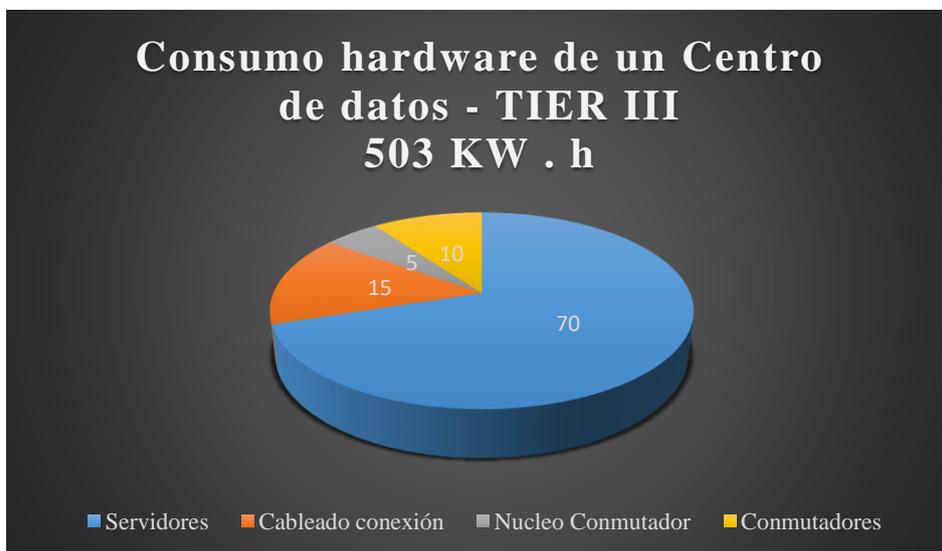


Ilustración 7 Distribución consumo de energía en un centro de datos a nivel hardware

Por otro lado, se tiene que tener en cuenta, el calor generado por el hardware, donde este es aproximadamente el 30% dentro de la sala del CPD. Por ello, se han desarrollado técnicas, tales como, DPM, y DVFS [20], las cuales dependen del apagado y la metodología de apagado, siendo óptimas cuando aparezcan limitaciones en CPD.

Otro aspecto importante en el consumo de la energía es el servidor “inactivo”, el cual, consume 2/3 del pico de carga [21]. Normalmente la media de carga de trabajo es solo del 30% y un 60% es consumido por los servidores que se encuentran inactivos o en modo “Sleep” la mayor parte del tiempo. De acuerdo con esto, algunas investigaciones, como las realizadas por *David Meisner*, *Brian T. Gold* y *Thomas F. Wenisch* [43] y *David Meisner* y *Thomas F. Wenisch* [44] abogan por el uso de modos inactivos de baja potencia del sistema completo para combatir este consumo de energía generado por el servidor en modo inactivo.

Además, los enlaces de comunicación, switching y elementos adicionales consumen más del 30% de la energía.

A parte del consumo que generan los distintos componentes hardware, se encuentra la arquitectura Cloud cuya eficiencia en la gran mayoría de los centros de datos no se considera como óptima y por lo tanto se necesita un exceso de energía para satisfacer las necesidades de los clientes o proveedores. Esto ha generado que algunos investigadores, tales como Buyya et al y Liu et al

[45], hayan desarrollado distintas arquitecturas consiguiendo mejores eficiencias. La siguiente tabla, muestra una comparativa de las arquitecturas propuestas.

Arquitecturas Cloud eficientes		
	Buyya et al	Liu et al
Parte involucradas	Clientes, Asignación de recursos “Green”, Máquinas virtualizadas, Máquinas físicas	Servicios de datos, Administración de migraciones, Monitorización de servicios, Administración del ambiente
Componentes involucrados para mejorar la eficiencia energética	Negociación “Green”, Analizar servicio, perfil del cliente, Precios, Monitorizar la energía, Programación de servicios, Administración de VM, “Accounting”	“Migration Scheduling Engine”, Control de migración de VM, ON/OFF, control, Utilización de recursos, Carga de trabajo de las VMs, Simulación de carga de trabajo, Almacenamiento activo.

Tabla 8 Estudio comparativo de varias arquitecturas de energía eficiente en un centro de datos [45]

Como se ha visto anteriormente, a parte del hardware, se encuentra también el software, el cual, puede influir negativamente en el consumo. Se conoce que los servidores que se utilizan para este modelo de computación no suelen utilizar el 100% de su capacidad máxima permitida y además un servidor inactivo o en modo “sleep” consume el 66,66 % (2/3) del pico de carga de lo consumido por un servidor. Este exceso de consumo hace que aparezcan líneas de investigación donde se pretenda conseguir un ahorro de energía aumentando la utilización de los servidores. Siguiendo esta línea, se encuentra el laboratorio de Hewlett-Packard, el cual, realizó un estudio centrado en los centros de datos donde concluyo que la mayoría de sus 1.000 servidores tienen tasas de utilización de sólo 10-25% de su capacidad total [22].

En virtud de ello, los empleados u operarios de los centros de datos apuestan por el desarrollo de un software que permita operar en los centros de datos de manera más eficiente y reducir el consumo de energía. Se tiene en cuenta, que una gestión eficiente con el desarrollo de software puede reducir el número de servidores de trabajo logrando las mismas tareas funcionales. Además, si con número reducido de servidores se puede lograr el mismo rendimiento, también puede reducirse la cantidad de hardware auxiliar, como pueden ser: fuentes de alimentación, equipos de distribución y equipos de refrigeración.

Por ello, el 70% [23] de los centros de datos utilizan la tecnología de la virtualización (vista anteriormente), la cual, podría reducir las emisiones en un 27%, gracias a la reducción drástica del número de servidores activos.

Aunque implementar la tecnología conlleva un ahorro y ventajas, tales como, evitar problemas de drivers, compatibilidad de hardware, ejecución de múltiples aplicaciones etc. también tiene desventajas, como la mencionada en la sección anterior (Véase 4.2.2. Software).

Estas desventajas han generado distintos estudios donde:

- N. Kord y H. Haghighi [23] han propuesto un enfoque de eficiencia energética basado en heurísticas para la colocación de VM, que utiliza el método MCC (Coeficiente de correlación múltiple) para seleccionar el servidor que proporciona un equilibrio adecuado entre la eficiencia de energía y la violación del SLA.
- H. Li, J. Wang, J. Peng, J. Wang y T. Liu [46], han propuesto un algoritmo centralizado de programación de consumo de energía utilizando la técnica de consolidación de la carga de trabajo (ESWCT). El objetivo es reducir el consumo de energía mejorando la utilización integrada de los recursos, mediante la consolidación de las máquinas virtuales en una cantidad mínima de servidores, basada en el equilibrio entre la utilización de los recursos integrados (procesador, memoria y ancho de banda de red) compartida simultáneamente por los usuarios en los centros de datos de la nube.
- Datacentre Energy-efficient Network-aware Scheduling algoritmo (DENS) se propone en [47]. Pretende reducir el consumo de energía en un centro de datos mediante la optimización del trade-off entre la consolidación de tareas y la distribución de patrones de tráfico, basado en la función computacional ponderada.

Por último, se encuentra el consumo de los sistemas de refrigeración. Este depende:

- Valor del PUE, tal y como se ha visto en la tabla 6.
- Recursos utilizados, tales como, gas natural [5]

6. Climatología

Previo a proseguir con una propuesta que permita optimizar los recursos de este paradigma y por lo tanto, sea considerada como un modelo de computación para sistemas Cloud Computing “Green”, se necesita definir la ubicación del centro de datos.

Además, se conoce que las condiciones climatológicas varían según zona geográfica influyendo directamente en los sistemas de refrigeración e energías renovables a utilizar.

De acuerdo con esto, este trabajo se va a centrar en el centro de datos que utiliza la propia Universidad de Alicante, el cual, cubre todas las necesidades que requieren los usuarios y que además utilizan en dicha institución.

6.1. Clima

La Universidad de Alicante se encuentra ubicada en la península ibérica, concretamente en la provincia de Alicante. Según la clasificación de Köppen, define distintos tipos de climas presentes en la Península Ibérica e Islas Baleares. Siendo estos:

- Climas secos (Tipo B)
- Climas Templados (Tipo C)
- Climas Fríos (Tipo D)
- Climas Polares (Tipo E)

En virtud de ello, la provincia de Alicante es un subtipo de clima B definido como “desierto cálido” o desierto frío” según el atlas facilitado por AEMET [48].

6.2. Temperatura

Según el ministerio de medio ambiente [48] la temperatura del aire se mide con termómetros instalados en garitas meteorológicas, con el depósito a 1,5 m de altura del suelo y los valores se expresan en grados Celsius (°C), de los que se conoce que en Alicante:

- La temperatura media del aire es superior a 17°C (en la parte de la franja costera entre Málaga y Alicante).
- La temperatura máxima del aire es superior a 22°C.
- La temperatura mínima del aire es superior a 15°C

En cuanto al verano, los valores medios de la temperatura máxima varían entre 17/20°C y los 32/35°C, de los que según el Atlas Climático Ibérico, se verifica que en toda la región del interior de la Península se registran los valores más elevados de la temperatura máxima (en verano), en concreto, los meses de julio y agosto (Véase anexo 10.2).

La siguiente ilustración muestra las distintas temperaturas del aire registradas por AEMET en la provincia de Alicante.

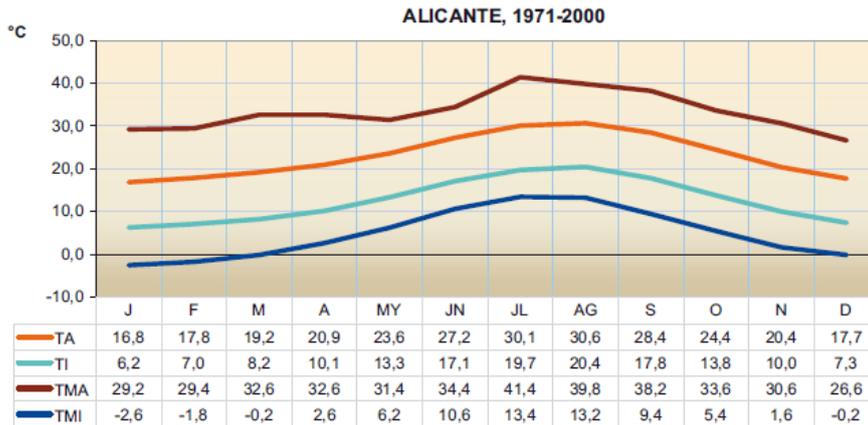


Ilustración 8 Temperatura del aire en Alicante (1971-2000) por meses [48]

J, F, M,
A, MY,
JN, JL,
AG, S,
O, N, D

Enero, Febrero, Marzo, Abril, Mayo, Junio, Julio, Agosto, Septiembre, Octubre, Noviembre y Diciembre

TA Temperatura media de las máximas

TI Temperatura media de las mínimas

TMA Temperatura máxima absoluta

TMI Temperatura mínima absoluta

6.3. Viento

Como se conoce, las plantas de energías eólicas, se suelen ubicar en zonas donde exista una velocidad media del viento entre 11 y 16 km por hora. Esta velocidad, normalmente se suele registrar en zonas costeras, como es el caso de la UA o en las cimas de la montaña, entre algunos sitios.

Por ello, se ha accedido al sitio web público para ver todos los datos correspondientes al viento en Alicante. Desafortunadamente, AEMET, no contiene ningún atlas que haga referencia al viento, como puede tener la temperatura del aire y la radiación solar. Por consecuencia, se han utilizado los datos que facilita la web los cuales corresponden a la:

- Velocidad y racha del viento cuya franja horaria son los días 19 y 20 de Junio de 2017 (Véase ilustración 9).
- Velocidad y la racha del viento de los días 13, 14, 15, 16, 17, 18 y 19. (Véanse las ilustraciones 10 y 11).

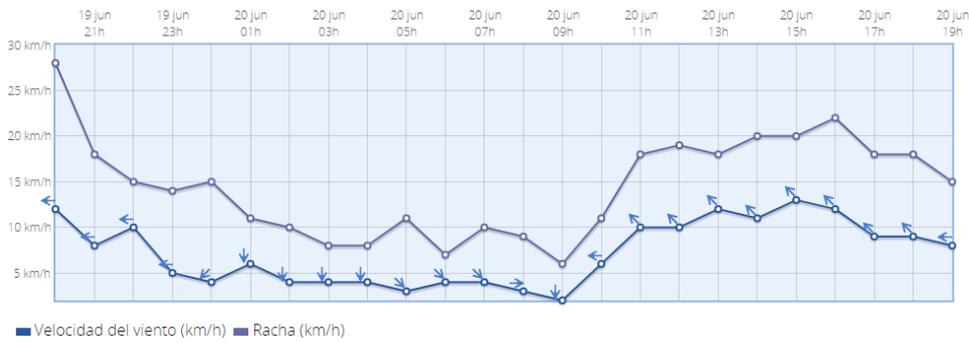


Ilustración 9 Velocidad del viento y racha (martes, 20 junio 2017 a las 19:42 hora oficial) según AEMET [49]



Ilustración 10 Racha (km/h) del viento correspondiente al intervalo de días 13 - 19 ambos inclusive [49]

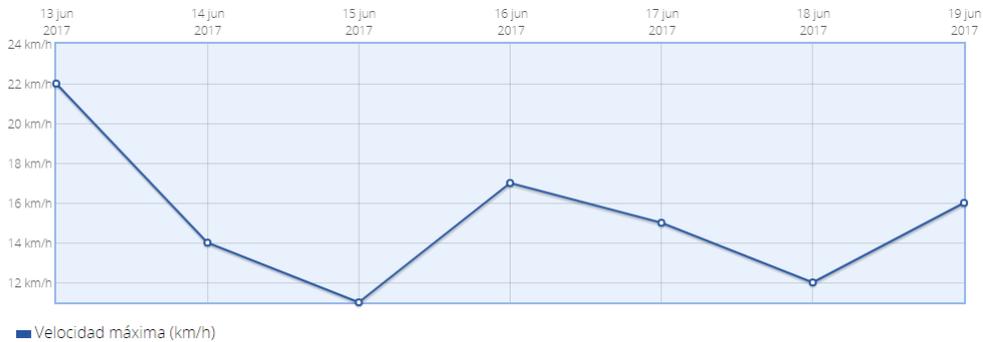


Ilustración 11 Velocidad máxima (km/h) del viento correspondiente al intervalo de días 13 - 19 ambos inclusive [49]

7. Propuesta a implementar

Hasta ahora se han visto los dos primeros objetivos de los que consta este trabajo. A lo largo de esta sección se va a centrar en el tercer objetivo, siendo este: “propuesta de un modelo que integren los elementos anteriores para optimizar su funcionamiento.”

Para ello, en las siguientes sub-secciones se van a analizar las ventajas y desventajas de utilizar cada uno de los elementos mencionados anteriormente en la ubicación del centro de datos.

7.1. Optimización CPD vs creación de un nuevo CPD

En la siguiente tabla, se muestran las ventajas y desventajas que se han considerado más importantes entre CPD's actualmente en funcionamiento y los nuevos.

Centro de datos en funcionamiento VS Centro de datos nuevo		
Tipo de CPD	Ventajas	Desventajas
En funcionamiento	<ul style="list-style-type: none">• Infraestructura en uso• Inversión económica para permitir el uso de los recursos naturales	<ul style="list-style-type: none">• Sistema de refrigeración instalado
Nuevo	<ul style="list-style-type: none">• Adaptar el diseño con los recursos naturales.• Elegir el sistema de refrigeración que se adapte mejor al clima y ubicación del CPD	<ul style="list-style-type: none">• Migración de los datos• Aumento de los costes.

Tabla 9 Centro de datos nuevos VS Centro de datos en funcionamiento (Elaboración propia)

Por otro lado, se encuentra a ubicación (véase ilustración 12) del centro de datos, definido en la sección 6, donde se ha decidido proponer un modelo de computación para sistemas Cloud Computing integrando algunos de los elementos vistos anteriormente, al CPD actualmente en uso.



Ilustración 12 Ubicación de la Universidad de Alicante (Captura de imagen Google Earth) [52]

7.2. Energía renovable a implantar

El siguiente aspecto que se va a analizar en esta propuesta, es la integración de energías renovables en nuestro modelo (vistas en la sección 4.2 Energías renovables para computación Cloud Computing) como fuente de energía suplementaria de los centro de datos.

En este sentido, se ha realizado la siguiente tabla, donde se han considerado las ventajas y desventajas más importantes.

Energía renovables en el CPD de la Universidad de Alicante - Ventajas y desventajas

Energía renovable	Ventajas	Desventajas
Energía solar	<ul style="list-style-type: none"> • Instalación en cualquier superficie (campo abierto o techos residenciales) • No hay ningún riesgo para los usuarios de la universidad • Generan electricidad todos los días ya que la ubicación de la universidad lo permite. • Desarrollo de un sistema de apoyo que ayude a la toma de decisiones para calcular el potencial de energía solar de las superficies en los paisajes urbanos [50]. 	<ul style="list-style-type: none"> • Evitar tejados de edificios donde les afecte alguna sombra o árbol que no permita que genere electricidad desde la puesta hasta el atardecer.
Energía eólica	<ul style="list-style-type: none"> • Velocidades mínimas requeridas, las cumple la ubicación. 	<ul style="list-style-type: none"> • Coste elevado de instalación • Estudio previo de la superficie • Tener una gran superficie para su instalación. • Riego a los usuarios de las instalaciones de la universidad. • Viento para empezar a producir electricidad oscila entre 11 y 16 km por hora.
Energía mareomotriz	<ul style="list-style-type: none"> • Es predecible • Es eficiente a bajas velocidades. Dado que el agua es 100 veces más densa que el aire, es posible generar energía a velocidades de m/s. 	<ul style="list-style-type: none"> • Tecnología cara • Necesidad de ser construida cerca de la tierra, por lo tanto, implica ocupación de zona costera. • Puede producir efectos negativos en el medioambiente

Tabla 10 Ventajas y desventajas de energías renovables instaladas en la UA

Tras ver las ventajas y desventajas de cada una de las energías renovables nombradas en la sección 4.2, se analiza la distribución y forma que tienen los distintos centros de los que esta conforma la propia UA, con el objetivo de comprobar que efectivamente se puede implantar alguna de las energías mencionadas anteriormente. (Véanse las siguientes ilustraciones)

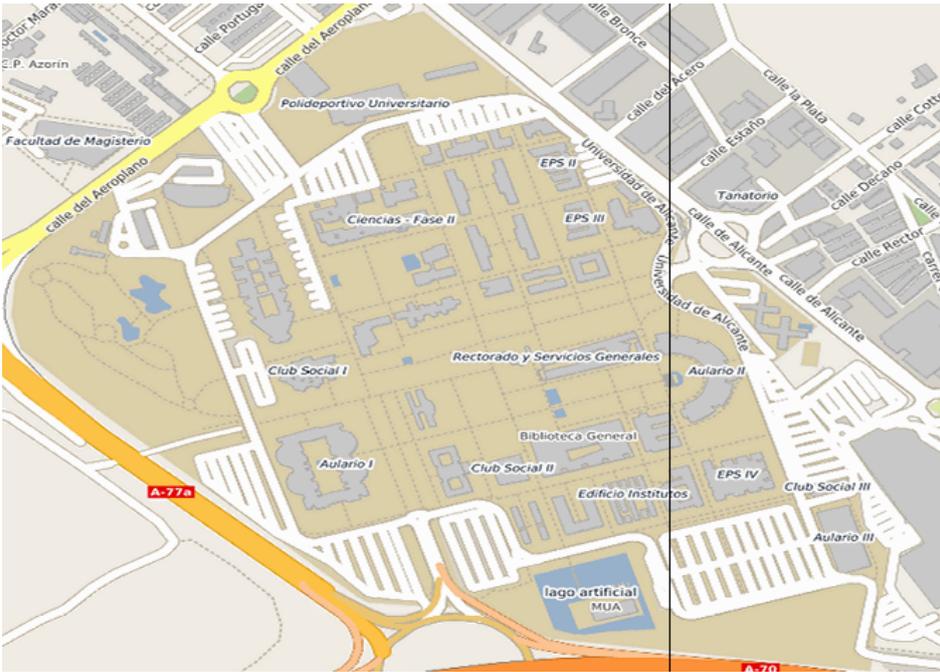


Ilustración 13 Área proyectada de la Universidad de Alicante utilizando la base de datos de LiDAR [51]



Ilustración 14 Vista aérea en 3D de la universidad 1 de 2 - Aplicación Google Earth [52]

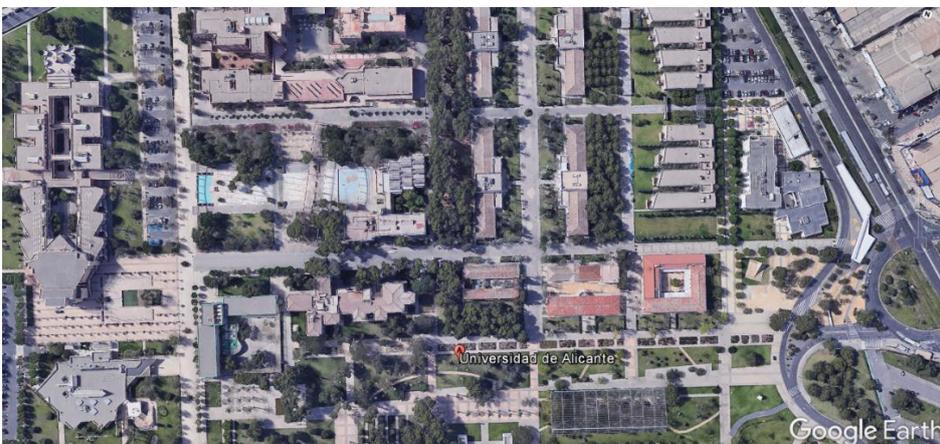


Ilustración 15 Vista aérea en 3D de la universidad 2 de 2 - Aplicación Google Earth [52]

Para el estudio de la distribución de los distintos centros que contiene la propia UA se utilizan las aplicaciones de:

- LiDar [51]
Se pretende obtener un mapa 2D para ver la distribución de cada uno de los edificios que forman la UA y si con el espacio que existe entre ellos, se puede instalar cualquier energía renovable. (Véase ilustración 13)
- Google Earth,[52]
En LiDar, se ha visto que hay suficiente espacio para poder llevar a cabo cualquiera de las energías renovables. Por lo que se utiliza las vistas aéreas en 3D que muestra la propia aplicación de Google Earth (Véanse ilustraciones 14 y 15) para ver:
 - Elementos que pueden influir en la instalación de las energías renovables:
 - Árboles.
 - Sombras
 - Altura
 - Etc.
 - Diseño del tejado de los edificios:
 - Rectos
 - Con un grado de pendiente
 - Etc.

7.3. Sistema o sistemas de refrigeración a implantar

La siguiente tabla, muestra las ventajas y desventajas de cada uno de los sistemas que se pueden utilizar en la ubicación del centro de datos.

Ventajas y desventajas de los sistemas de refrigeración en la Universidad de Alicante		
Sistemas de refrigeración	Ventajas	Desventajas
Pasillos fríos / calientes	<ul style="list-style-type: none"> • Actualmente en uso. • Coste mínimo • No hay que actualizar hardware especial. 	<ul style="list-style-type: none"> • Estudio de los sensores de tempera. • Tiempo de reacción corto.
Hibrida	<ul style="list-style-type: none"> • No tiene un coste excesivo de instalación. • Utilización del sistema de Pasillos fríos / calientes. • No hay que actualizar el hardware. 	<ul style="list-style-type: none"> • Estudio de los sensores. • Necesidad de actualizar los RACKS para que soporten este sistema. • Necesidad de actualizar la carcasa de los servidores que requieran este tipo de refrigeración. • Adaptar las instalaciones para este sistema.
Inversión de aceite mineral	<ul style="list-style-type: none"> • Solo para los nuevos CPD's • No hay necesidad de mantener la temperatura de la sala. 	<ul style="list-style-type: none"> • Adaptación de CPD • Actualización de todo hardware. • Desconfianza por parte de los proveedores.
On-Demand Cooling (ODC)	<ul style="list-style-type: none"> • Información térmica de la sala del CPD en tiempo real. • Reduce la oscilación de temperatura • Garantiza la seguridad térmica ante mayores variaciones de potencia. • Permite aumentar la temperatura de 21 grados hasta un máximo de 27 grados. • Puede reducir el consumo de energía de enfriamiento entre un 2% y un 5% 	<ul style="list-style-type: none"> • Necesidad de mantener el hardware por debajo de la temperatura crítica • Aumento de la temperatura en la sala del CDP limitado • Estudio y adaptación del sistema. • Utilización de nuevo software, para el filtrado de los datos.

Tabla 11 Ventajas y desventajas de sistemas de refrigeración para el CPD de la UA

7.4. Propuesta

En las sub-secciones anteriores se han visto las ventajas y desventajas que tienen cada uno de los elementos propuestos para implantar un modelo que permita reducir el impacto sobre el medio ambiente.

Tras analizarlas se ha determinado que el modelo propuesto para este trabajo es:

- **Propuesta para la optimización del CPD**

Según “The Uptime Institute”, en España, solo ha otorgado 18 certificaciones. Hoy en día, hay muchos centros de datos en funcionamiento que no tienen una certificación de CPD, por lo que, este trabajo ha priorizado la optimización de los CPD's existentes contra el diseño, implementación y puesta en funcionamiento de un nuevo centro de datos.

También, se ha tenido en consideración que la implantación de un nuevo CPD produce un impacto menos negativo que los que ya se encuentran en uso, debido a que la mayoría de organizaciones que necesitan más espacio, crean nuevos centros de datos pensando en el medio ambiente.

- **Energía solar como fuente suplementaria en el CPD**

Energía solar, como recurso energético por:

- Coste más económico
- Utilización del propio tejado de los edificios para la instalación de las placas solares.
- No necesita de permisos especiales
- La gran mayoría de los días son soleados en la UA por lo que es la energía renovable que más energía va a producir.

- **Sistemas de refrigeración:**

- ***Refrigeración híbrida***

Este sistema cuenta con el sistema de refrigeración “Pasillos fríos / calientes”, por lo que, solo se tendrá que implantar el sistema que permite el enfriamiento mediante el uso del agua.

- ***Free Cooling***

Con esta opción se persigue utilizar la temperatura del aire exterior. Como se ha visto en las anteriores secciones, se conoce que el rango de la temperatura de un CPD tradicional oscila entre los 18°C y los 23°C [24].

En cuanto a la temperatura del aire en Alicante:

- Tiene una media de 20°C, teniendo picos de temperaturas máximas de más de 25°C y mínimas de más de 15°C.
- Nunca es inferior a 0°C.
- Durante el año, 80 días tiene temperaturas mínimas igual o superior a 20°C. De esos 80 días, 60 corresponden al verano.
- Durante el año, 150 días tiene temperaturas máximas igual o superior a 25°C. De esos 150 días, 110 corresponden al verano

Por lo tanto, la temperatura del exterior, se encuentra dentro del rango de temperatura que necesita la sala de un centro de datos. Excepto algunos días puntuales. Esto hace que este trabajo se decante también por la utilización de este método.

Con esta propuesta no solo se pretende conseguir un modelo de sistema de computación Cloud Computing lo más autosuficiente acercándose a un valor de PUE = 1, sino que también pretende que conseguir una alta eficiencia en el CPD tradicional aportando algo más, como:

- La utilización del agua caliente para moderar la temperatura de las distintas salas [53.]
- Lograr reducciones adicionales de energía mediante el uso de calor residual procedente de equipos informáticos para otros fines. Bergquist y Ganslandt [54] describen un extenso sistema de calefacción y refrigeración urbana en Estocolmo, Suecia, y sus intentos de incorporar centros de datos como fuentes de calor.
- La aportación mediante la utilización de un sistema gestión térmica que permita aumentar la eficiencia energética neta, gracias al estudio realizado por el laboratorio NREL [55].

Siguiendo con este modelo, en la siguiente sección se va a realizar una simulación de coste y ahorro en tres escenarios concretos:

- CPD tradicional.
- CPD tradicional optimizando el sistema de refrigeración.
- CPD tradicional optimizando el sistema de refrigeración y utilizando energía solar.

8. Simulación de la propuesta

Con el objetivo de comprobar si el modelo propuesto en la sección anterior consigue optimizar un CPD tradicional, actualmente en uso. Se han realizado distintos escenarios para analizar el ahorro conseguido y en mayor medida si se ha conseguido que el propio CPD tenga un menor impacto en el medioambiente, además de ser lo más autosuficiente posible.

8.1. Arquitectura inicial de una sala de un CPD

Como se ha visto en las secciones anteriores, los centro de datos, están compuestos de distintas salas, las cuales contienen distintos RACKS, apilados unos al lado de otros, los cuales contienen distintos elementos hardware.

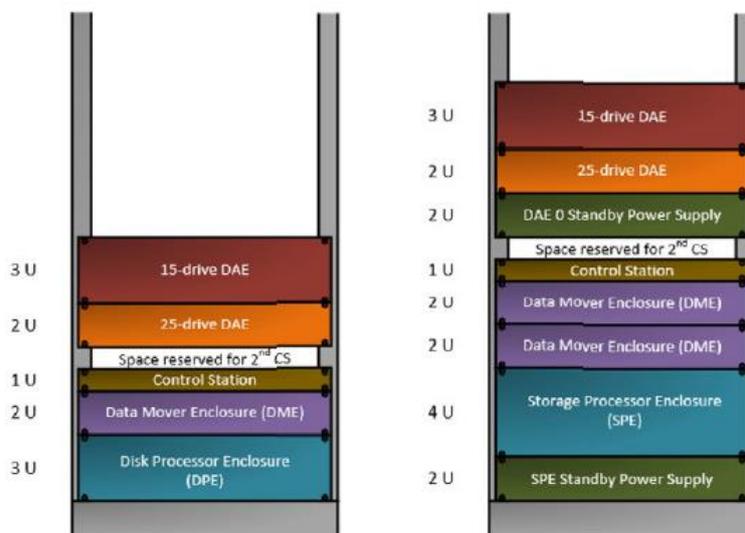


Ilustración 16 Ejemplo de distribución de servidores en una sala de centro de datos [56]

La ilustración anterior, muestra dos ejemplos de configuración de archivos para los modelos VNX 5600 (izquierda) y VNX 8000 (derecha).

Si se comparada los dos modelos se observa el modelo 8000 utiliza 4U para el Storage Processor Enclosure (SPE) frente a 3U que contiene el modelo 5600. Tener un SPE de 4U implica que contiene los dos SP. Donde las características de un SP son:

- 2x8core 2.7GHz Intel Sandy Bridge CPUs (16Cores Total)
- 128GB de 1600MHz DDR3 de memoria
- 11 I / O PCI-E Gen3 ranuras con 9 ranuras de apoyo FC, FCoE e iSCSI
- Otras 2 ranuras reservadas para back- Final.
- Sistema operativo SP actualizado, el cual permite estas configuraciones de memoria más grandes.

Esto da un total de 32 núcleos, 22 ranuras de E / S y 256 GB de memoria a través de los 2 SPs.

Se tiene que tener en cuenta que para el diseño de la infraestructura se han descarto algunos hardware, como pueden ser Switch, Routers o el cableado. No obstante, para el cálculo del consumo energético, en la temperatura de la sala sí que se ha tenido en cuenta.

Finalmente, en la sección 5, se ha estimado el consumo del centro de datos y el consumo que generan los componentes hardware que llevan a cabo este paradigma. En él, el consumo máximo de los servidores es de 0.301 KW h, lo que equivale a 7.224 KW h/semana. Según la siguiente tabla, corresponde al escenario 3, donde el número de servidores que intervienen es de 1500 y 3000 máquinas virtualizadas.

Consumo de energía semanal y anual dependiendo del tamaño del CPD				
Escenario	Núm. de servidores	Núm. de máquinas virtuales	KW h/semana	KW h/año
1	500	1000	2.400	126.500
2	1000	2000	4.800	253.500
3	1500	3000	7.200	380.200
4	2000	4000	9.700	507.300
5	2500	5000	12.100	634.000

Tabla 12 Consumo energético anual y semanal según distintos tamaños de un CPD [57]

8.2. Estimación del consumo sistema de refrigeración

A lo largo de esta sección se va a analizar el consumo eléctrico que se necesita para refrigerar todos los componentes que hacen posible este sistema. Como se ha visto anteriormente, en

función de la eficiencia del CPD, se incrementan o disminuyen los recursos, tales como CRAC / CRAH afectando directamente al consumo energético del centro de datos.

Un centro de datos tradicional dedica el 45% del consumo eléctrico al sistema de refrigeración.

Por otro lado, un estudio realizado por IBM en 2009 [58] encontró que el enfriamiento de líquidos puede ser 3500 veces más eficiente que el aire refrigerado. Sus pruebas mostraron una reducción del 40% en el uso total de energía con refrigeración líquida.

Además el enfriamiento por líquido también mejora las condiciones de trabajo del personal del centro de datos al reducir el nivel de ruido, ya que se pueden eliminar los múltiples ventiladores por servidor utilizados en refrigeración por aire.

8.3. Estimación de la energía renovable

En [57] introducen la métrica de Suministro Mínimo de Porcentaje (MPS) para estimar el alcance de la energía renovable del centro de datos proporcionado por un panel solar de 1 m². Por ello, se va a analizar la parte de energía renovable producida por un panel solar de 1 m² sobre el consumo de energía del centro de datos, utilizando la variable MPS.

$$MPS = \frac{\text{Produccion de energía renovable(W h)}}{\text{Total de energía consumida(W h)}} \times 100\%$$

La métrica MPS, describe la cobertura de energía renovable en comparación con el consumo total de energía

A continuación, se construye y analiza el modelo que describe la relación entre el número de m² de paneles solares requeridos para asegurar un valor de cobertura deseado. Se elige el escenario 3 (véase tabla 12) 1500 PMs y 3000 VMs para nuestro estudio de caso, ya que otros casos serán proporcionales a esto.

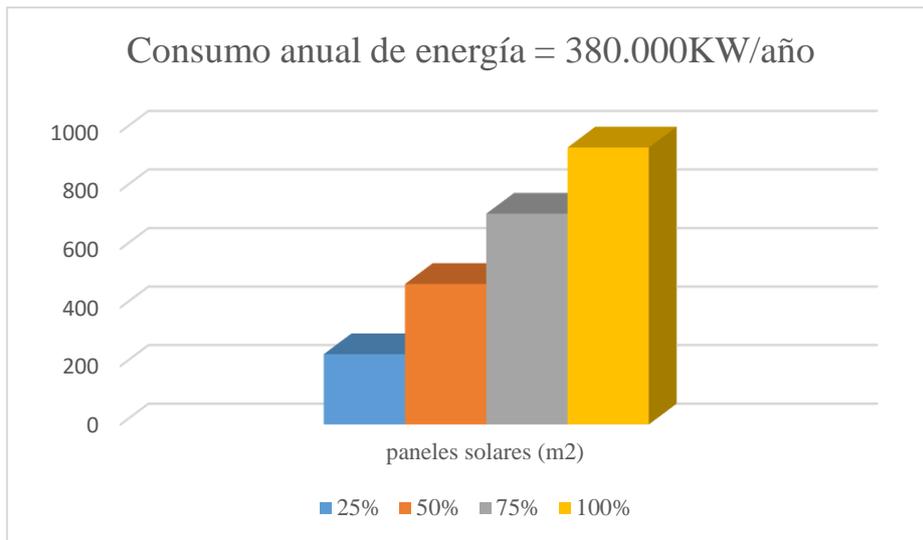


Ilustración 17 Número de paneles solares (m2) según valor MPS en un año. (Elaboración propia)

La ilustración 17 muestra la relación entre el número de m² de panel solar necesarios para los valores anuales de MPS del 25%, 50%, 75% y 100%. Por ejemplo, para un 75% de cobertura con energía renovable, se necesitan 480 m², o cualquier otra combinación que pertenezca a la columna gris del gráfico.

También se tiene que tener en cuenta que la producción de energía renovable fluctúa entre diferentes intervalos de tiempo dependiendo de las condiciones climáticas, el consumo de energía del centro de datos fluctúa entre diferentes intervalos de tiempo dependiendo de la carga de trabajo. Esto significa que ocasionalmente hay una tasa de producción más alta que la tasa de consumo y ocasionalmente es lo contrario. Se hace referencia a la diferencia entre la energía disponible renovable y el consumo de energía de la carga de trabajo como ΔE , dada como sigue:

$$\Delta E = \text{Energías renovables} - \text{Consumo de energía}$$

- Si $\Delta E > 0$
Significa que se produce más energía que lo que se consume. La energía sobrante puede almacenarse, por ejemplo, o venderse de nuevo a la red si se permite, de lo contrario se desperdiciará.
- Si $\Delta E < 0$
Significa que el consumo de energía es mayor que la producción y, en consecuencia, energía producida por fuentes contaminantes (brown energy) debe ser comprada de la red.

En [57], han realizado un estudio para analizar el impacto que tienen la utilización de las fuentes renovable en los centros de datos ubicados a 60 ° latitud norte. Donde, se han centrado en el

escenario con una cobertura del 75% referente a la Ilustración 17 y 5 puntos equidistantes a lo largo de un año, obteniendo los valores de la siguiente tabla:

Número de horas de déficit y superávit	
Número de horas de déficit	6925
Número de horas de superávit	1859

Tabla 13 Número de horas anual de superávit y déficit utilizando energía solar

8.4. Cálculo del consumo y ahorro de los escenarios propuestos

A lo largo de esta sección se van a analizar el consumo y el ahorro (en el caso que se consiga) en cada uno de los escenarios propuestos.

Previo a realizar los distintos cálculos se ha observado que los datos obtenidos en la tabla 12 y en la sección 5 son distintos en cuanto al consumo total de KW año. Esta diferencia es consecuencia a que, la tabla 12 solo centra en los consumos de los servidores y el software (VM) utilizado, descartando otros componentes informáticos, tales como: routers, switch, etc. los cuales también consumen energía, en cambio, en la sección 5 se contemplan todos. Debido a esto, para el cálculo de cada uno de los escenarios se va a utilizar el de la sección 5. La siguiente tabla muestra el consumo anual de un centro de datos.

Consumo anual de un típico CPD			
Componente CPD	Porcentaje de uso	KW/año	Coste del KW/h (0.12 € [59])
Equipo informático	30%	4.269.384.	512.326€
Sistema de refrigeración	45%	6.404.076	768.489€
Electricidad	25%	3.557.820	426.938 €
		14.231.280	1.707.753 €

Tabla 14 Consumo anual de un CPD típico

Una vez se ha estimado el consumo según la información obtenida de las distintas investigaciones realizadas. Se sigue con la estimación del consumo de los distintos escenarios. Para ello, se van a describir los distintos componentes que intervienen:

- Escenario 1:
Es un centro de datos actualmente en uso, donde su eficiencia PUE es igual o superior a 3. La arquitectura de la sala parecida la ilustración 16 y utiliza el sistema de pasillo frío calor, cuyos sensores están ubicados según experiencia de los responsables del funcionamiento del paradigma.
- Escenario 2:

Mismos componentes y distribución del equipo de TI que el escenario 1. Sólo se actualiza el sistema de refrigeración, utilizando el sistema híbrido además del aire exterior.

Tras la información, se ha considerado que utilizando este sistema de optimización aplicando un PUE de 1.8, se consigue reducir:

- Del 33% inicial al 19 % el sistema refrigeración (no incluye Crac/Crah y humificador)
- Del 37% el humificador - Crac / Crach y electricidad al 13%
- Escenario 3:

Mismo escenario que el número 2, pero utilizando energías renovables, en este caso, la energía solar. Según la información obtenida en AEMET y la ubicación de la UA, se estima que con la energía solar se podría ahorrar un 41% máximo teórico. Evitando el uso de recursos producidos por fuentes contaminantes “Brown energy”, gracias a la climatología, la ubicación y el impacto directo con las placas solares al no tener elementos que intervengan entre el sol y las placas solares.

Para la estimación del ahorro máximo teórico se han realizado las siguientes consideraciones:

- Ubicación:
La ubicación del centro de datos permite ahorrar el 50% del coste energético correspondiente a la luz solar generada durante el día.
- Factores ambientales:
Hacen que afecten a la producción de este tipo de energía, tales como, exceso de temperatura o días lluviosos. Con estas consideraciones se estima que el máximo de días que se puede utilizar son 300 días.

$$x = \frac{300 \text{ días} \times 100\%}{360 \text{ días}} = 82\%$$

Tras esto, se ha conseguido conocer el porcentaje de los días que contiene un año que permite utilizar de forma óptima este tipo de energía renovable.

Se sigue calculando el ahorro anual máximo teórico, para ello:

$$X = \frac{50\% (\text{luz solar al día}) \times 82\% (\text{días anuales utilización})}{100\%} = 41\%$$

Tras la información obtenida, se llega a la conclusión que el Máximo teórico anual de ahorro es del 41%.

Una vez descritos los distintos escenarios, se procede a calcular el consumo y ahorro de cada uno. En la siguiente tabla se muestran el consumo y ahorro correspondiente a cada escenario.

Consumo y ahorro de los distintos escenarios propuestos					
Tipo de escenario	Descripción escenario	Consumo KW/año	€ Totales	% Ahorro	Total ahorro (€)
Escenario 1	CPD tradicional	14.231.280	1.707.753 €	0%	0 €
Escenario 2	CPD tradicional más optimización sistema de refrigeración	8.823.393	1.058.807 €	38%	648.946 €
Escenario 3	CPD tradicional más optimización sistema de refrigeración utilizando energía solar	8.396.455	1.007.574 €	41%	700.178 €

Tabla 15 Consumos y ahorro energético de los distintos escenarios propuestos

En este caso, se ha estimado la eficiencia utilizando un PUE de 1.8, donde se ha conseguido un ahorro energético del máximo teórico del 69%. No obstante, algunos artículos [60] indican el ahorro puede ser superior al 75% del consumo de energía respecto a sistemas de refrigeración.

A parte de conseguir un ahorro importante y una mejora de la eficiencia, la utilización de energías renovables, siendo en este caso, la energía solar, permite en algunos momentos tener superávit de energía.

Este exceso de electricidad puede ser utilizado por otros usuarios de la red eléctrica, pudiendo generar unos ingresos indirectos que repercuten en el gasto final del CPD. Además de contribuir con el medioambiente. En esta propuesta no se ha contemplado esta opción, debido a los altos costes.

En la sección “8.3 Estimación de la energía renovable”, un centro de datos ubicado en el norte, tiene un superávit de 1859 horas anuales. Por lo que, dadas las características climatológicas de donde se encuentra el centro de datos como mínimos tiene las mismas horas de exceso.

8.5. Cálculo del coste Total de Propiedad

Para el cálculo del coste total de propiedad, se va a tener en cuenta los:

- Costes directos
- Costes indirectos

8.5.1. Costes directos

Para la elección de los distintos componentes que van a verse implicados en esta propuesta, se ha realizado un estudio de los KW h que consume un centro de datos utilizando en producción 1.500 servidores y 3.000 máquinas virtuales (véase tabla 12) a la hora. Donde en este caso, un centro de datos con dichas características consume 42 KW h.

$$X = \frac{7200 \text{ KW h semanales}}{168 \text{ h semanales}} = 42 \text{ KW h}$$

Por otro lado, se ha realizado una estimación de número de Racks que tiene instalados un centro de datos con dichas características (ver Ilustración 16). En este caso, hacen falta 190 Racks².

8.5.1.1. Coste Instalación sistema de refrigeración híbrida

El coste de instalación del sistema de refrigeración híbrida es de 3.791.000,00 €. En la siguiente tabla (véase tabla 16), se desglosan los materiales que intervienen y coste de cada uno.

Coste Instalación sistema de refrigeración híbrida			
Material	€ unidad	Unidades totales	€ Totales
Implantación sistema hidráulico para Racks en uso	200,00 €	187	37.400,00 €
Servidores	2.500,00 €	1.500	3.750.000,00 €
Otros	3.000,00 €	1	3.000,00 €
Coste Total			3.790.400,00 €

Tabla 16 Coste Instalación sistema de refrigeración híbrida

8.5.1.2. Instalación sistema free-cooling

El coste de instalación del sistema de free-cooling es de 49.000,00 €. La siguiente tabla (véase tabla 17), desglosa los materiales que intervienen y coste de cada uno.

² Como dato, se ha realizado una estimación de que en cada Rack contiene una media de 8 servidores.

Coste Instalación sistema free-cooling			
Material	€ unidad	Unidades totales	€ Totales
Enfriador	10.000,00 €	1	10.000,00 €
Aero-refrigerador de velocidad variable	6.000,00 €	1	6.000,00 €
Bomba de aero-refrigerador de velocidad variable	500,00 €	1	500,00 €
Bomba de refrigerador por agua de velocidad variable.	500,00 €	1	500,00 €
CRAH de refrigeración por agua de doble circuito	15.000,00 €	2	30.000,00 €
Otros	2.000,00 €	1	2.000,00 €
Coste Total			49.000,00 €

Tabla 17 Coste Instalación sistema free-cooling

8.5.1.3. Instalación fotovoltaica.

En este caso, para cubrir el 100% de la energía se necesitan 640 m². Según [63], un panel solar tiene 1.6368 m² y un coste de 299,00€. Para cubrir 640 m², se necesitan 391 paneles.

$$\text{Número total de paneles solares} = \frac{640 \text{ m}^2}{1,6368 \text{ m}^2} = 391 \text{ paneles solares}$$

En la siguiente tabla (véase tabla 18), se desglosan el coste total de la instalación fotovoltaica.

Coste Instalación fotovoltaica			
Material	€ unidad	Unidades totales	€ Totales
Paneles solares	299,00 €	391	116.909,00 €
Otros	6.000,00 €	1	6.000,00 €
Coste Total			122.909,00 €

Tabla 18 Coste Instalación fotovoltaica

8.5.1.4. Costes directos totales

En las anteriores sub-secciones se ha calculado el coste total de cada una de los módulos o fases que se tienen que llevar a cabo para la implantación y puesta en marcha de esta propuesta.

En la siguiente tabla (véase tabla 19), indica el coste máximo teórico estimado directo.

Costes directos totales	
Módulo	€ Totales
Instalación del sistema híbrido	3.790.400,00 €
Instalación Free-cooling	49.000,00 €
Instalación fotovoltaica	122.909,00 €
Costes Totales implantación de los tres módulos	3.962.309,00 €

Tabla 19 Costes directos totales

8.5.2. Costes indirectos

Según la infografía realizada por Cliatec [64], las caídas de centro de datos implican unos costes de \$126.000 por día, o lo que es lo mismo 104.694 € [65] (véase tabla 20).

Coste Total de Propiedad (TOI) – Indirectos					
Módulo	Material	Coste unidad	Unidades totales	Total material	Total
Estimación caída del centro de datos	Humano (Mantenimiento del centro de datos)	104.694 €	1 días	104.694 €	104.694 €
					104.694 €

Tabla 20 Coste Total de Propiedad (TOI) – Indirectos

8.5.3. Coste Total de Propiedad (TOI)

El TOI es el coste total de proveer y mantener una solución informática. Permite conocer los costes directos e indirectos, así como los beneficios de la compra de equipos o software.

$$TOI = \text{Suma de costes directos} + \text{Costes indirectos}$$

Por lo que, según las estimaciones realizadas anteriormente, el Coste Total de Propiedad es:

$$TOI = 3.962.309,00 \text{ €} + 104.694 \text{ €} = 4.067.003 \text{ €}$$

8.6. Retorno de la Inversión (ROI)

El ROI es el beneficio que se obtiene por cada unidad monetaria invertida durante un período de tiempo. Esta métrica, se suele utilizarse para medir la viabilidad de un proyecto y medir su éxito.

$$ROI = \frac{\text{Beneficios}}{\text{Costes}}$$

En este caso, se ha estimado que los componentes hardware que se sustituyen se pueden vender al 50% del coste real invertido, dando unos beneficios de 1.500.000,00 €

Beneficio venta de Servidores Usados			
Material	€ unidad	Unidades totales	€ Totales
Servidores	1.000,00 €	1.500	1.500.000,00 €
Coste Total			1.500.000,00 €

Tabla 21 Beneficio venta de Servidores Usados

Finalmente, se ha conseguido obtener un ROI de

$$ROI = \frac{1.707.753,00 \text{ €} - (1.707.753,00 \times 0,69) + 1.500.000,00 \text{ €}}{4.067.603 \text{ €}} = 0,7$$

Como se observa, en un caso ideal, si el centro hiciera el 100% de la inversión, en una estimación de 7 meses recuperaría 100% de la inversión. Como este caso, es difícil que una empresa realice dicha inversión, se ha estimado realizarla en un periodo de cinco años.

Cálculo con un ROI de un tiempo de 5 años						
Referencia	ROI año (% Inversión)					Total
	1	2	3	4	5	
1. Costes del proyecto						
1.1. Refrigeración híbrida	808.600,00 €	808.600,00 €	808.600,00 €	808.600,00 €	556.000,00 €	3.790.400,00 €
1.2. Free-Cooling	33.500,00 €	-	-	15.500,00 €	-	49.000,00 €
1.3. Energía Fotovoltaica	24.581,80 €	24.581,80 €	24.581,80 €	24.581,80 €	24.581,80 €	122.909,00 €
Total costes generados	866.681,80 €	833.181,80 €	833.181,80 €	848.681,80 €	580.581,80 €	3.962.309,00 €
2. Ahorro generado						
2.1. Venta servidores	320.000,00 €	320.000,00 €	320.000,00 €	320.000,00 €	220.000,00 €	1.500.000,00 €
2.2. Ahorro Energético	273.240,00 €	529.402,00 €	734.333,00 €	1.041.728,00 €	1.349.124,00 €	3.927.827,00 €
Total beneficios generados	593.240,00 €	849.402,00 €	1.054.333,00 €	1.361.728,00 €	1.569.124,00 €	5.427.827,00 €
Flujo de caja	-273.441,80 €	-257.221,60 €	-36.070,40 €	476.975,60 €	988.542,20 €	

Tabla 22 Estimación ROI con un periodo a medio plazo de 5 años

Tras la estimación de ROI teórico estimado (véase tabla 22), se ha realizado la gráfica siguiente (ver ilustración 18). En ella, se observa que con los beneficios obtenidos de la instalación y puesta en marcha de los distintos módulos vistos anteriormente, en un periodo teórico máximo de tres años se ha recuperado la inversión realizada.

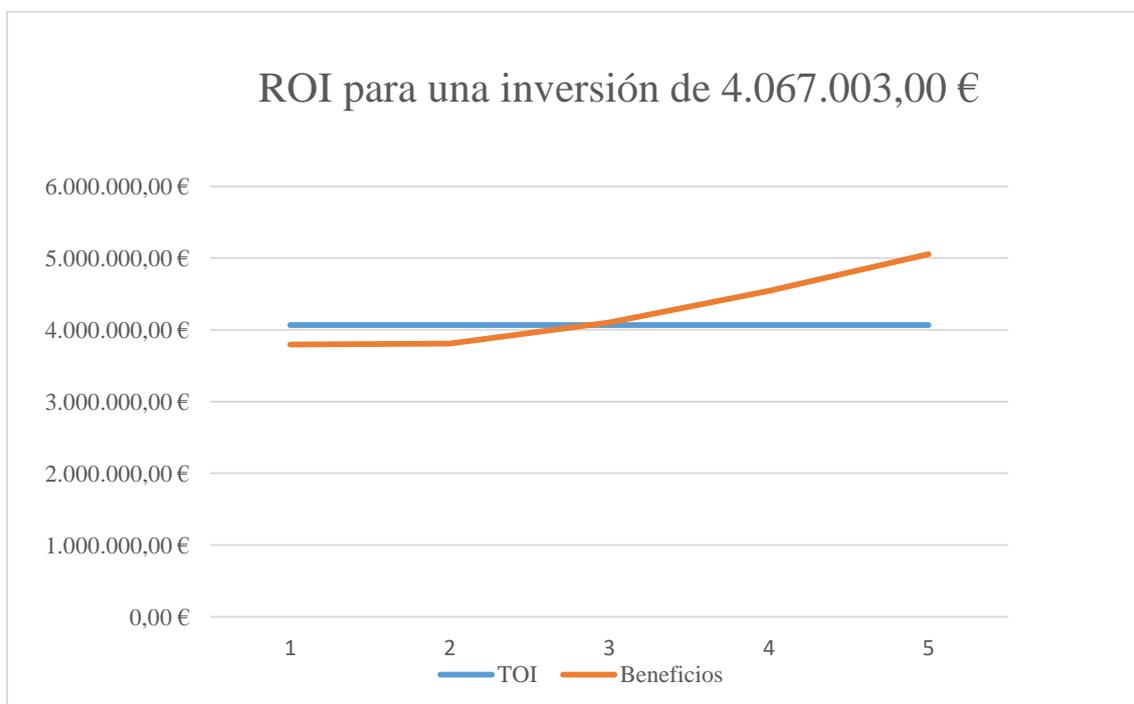


Ilustración 18 Gráfica para un ROI de 4.067.003,00 €

9. Conclusión

Como se ha visto a lo largo de este trabajo, el paradigma de computación Cloud constituye una de las estrategias más innovadoras en cuanto a la adopción de Tecnologías de la Información por la sociedad. No obstante, el objetivo de las organizaciones de garantizar los acuerdos de servicios (SLA), las cuales, son las propietarias de los recursos necesarios para el procesamiento de los datos, y por lo tanto de implementar este sistema de computación. Implica la necesidad de utilizar una gran cantidad de energía afectando negativamente al medioambiente.

En este sentido, se han realizado hasta la fecha, una gran cantidad de investigaciones, tales como:

- Utilizar sistemas de virtualización, con el objetivo de que un servidor puede ejecutar más de un sistema operativo a la vez.
- Minimizar el número de máquinas cuyo estado es “sleep” pretendiendo tener más procesos activos y por lo tanto tener menos servidores encendidos.
- Utilizar recursos naturales, como viento, mar, sol, aceite mineral, etc.
- Etc.

Cuyo objetivo es el de garantizar como mínimo el mismo nivel de acuerdo de servicio, además de perseguir un ahorro en el consumo energético e disminuir el impacto en el medioambiente.

En esta línea se ha llevado a cabo este trabajo, el cual, ha realizado un estudio del estado actual de las distintas partes que forman este modelo de computación, siendo estas:

- Edificio.
- Hardware y software.
- Sistemas de refrigeración.
- Recursos naturales (en la península ibérica).
- Climatología (en la península ibérica).

Donde se ha llegado a la conclusión que en los centro de datos actuales, tanto el hardware como software están utilizando tecnologías que permiten un ahorro y por lo tanto están reduciendo el impacto en el medioambiente. A pesar de ello, aún utilizan sistemas de refrigeración que para poder cumplir con los SLAs establecidos necesitan consumir una gran cantidad de energía.

Este trabajo propone como posible solución en un centro de datos tradicional: un rediseño del sistema de refrigeración, utilizando el actual (pasillo frio/calor), adaptando el sistema hibrido e “free cooling”. Además, de utilizar la energía solar como recurso energético. Teniendo en cuenta que no siempre va a ser posible la utilización de los recursos naturales, sol y aire, consecuencia de la climatología.

Aplicando este modelo propuesto se ha conseguido un ahorro energético máximo teórico del 69%. Consiguiendo reducir el impacto negativo en el medioambiente.

Por último, cada vez más las entidades públicas como las privadas se están sumando al respeto del medio ambiente a través de la reducción de emisiones contaminantes y de un uso más eficiente y racional de los recursos. En esta tendencia, se encuentra la organización Microsoft, la cual, está investigando el impacto que tiene trasladar sus centros de datos bajo el mar [61] con la idea de reducir los tiempos de espera además de disminuir el consumo energético [62]. Como también se está extendiendo a otros dominios tales como "visibilidad del satélite"[50].

10. Anexos

10.1. Certificaciones otorgadas por “The Uptime Institute”

Las siguientes tablas muestran las empresas y nivel de centro de datos que se encuentran certificadas por dicha institución tanto en España como en Noruega.

Certificaciones de los distintos Tiers del CPD otorgadas en España			
Empresa	Nombre centro de datos	Localización centro de datos	Certificación TIER
BVA	Complejo Tecnológico TC - CPD 1	Madrid, Spain	<ul style="list-style-type: none"> • Tier IV Gold Certification of Operational Sustainability • Tier IV Certification of Constructed Facility • Tier IV Certification of Design Documents
Telefonica Global Technology	Alcala Data Center - Centro de Tecnologías Digitales	Alcala de Henares, Spain	<ul style="list-style-type: none"> • Tier IV Gold Certification of Operational Sustainability • Tier IV Certification of Constructed Facility • Tier IV Certification of Design Documents
BBVA	Complejo Tecnológico Tres Cantos - CPD II	Madrid, Spain	<ul style="list-style-type: none"> • Tier IV Gold Certification of Operational Sustainability • Tier IV Certification of Constructed Facility • Tier IV Certification of Design Documents
Ironic S.A.	Madrid-4	Alcobendas, Madrid Spain	<ul style="list-style-type: none"> • Tier IV Certification of Constructed Facility • Tier IV Certification of Design Documents
KIO Networks	KIO/Murcia	Murcia, Spain	<ul style="list-style-type: none"> • Tier IV Certification of Constructed Facility • Tier IV Certification of Design Documents
INDITEX	INDITEX DATA CENTER	Arteixo, A Coruna Spain	<ul style="list-style-type: none"> • Tier IV Certification of Constructed Facility • Tier IV Certification of Design Documents
ASAC Comunicaciones S.L.	ASAC DataCenter 1	Llanera, Spain	<ul style="list-style-type: none"> • Tier III Certification of Constructed Facility • Tier III Certification of Design Documents
Silc Inmobles	Centre Tecnològic – Cerdanyola CD2, Fase 1	Barcelona, Spain	<ul style="list-style-type: none"> • Tier III Certification of Constructed Facility
Silc Inmobles	Centre Tecnològic – Cerdanyola CD1	Barcelona, Spain 20	<ul style="list-style-type: none"> • Tier III Certification of Constructed Facility • Tier III Certification of Design Documents
United Nations	UN Global Service Centre	Valencia, Spain	<ul style="list-style-type: none"> • Tier III Certification of Constructed Facility • Tier III Certification of Design Documents
T-Systems ITC Iberia SAU	CPD Cerdanyola, Phase 1	Barcelona, Spain	<ul style="list-style-type: none"> • Tier III Certification of Constructed Facility • Tier III Certification of Design Documents
MAPFRE	CPD MAPFRE Tales de Mileto	Madrid, Spain	<ul style="list-style-type: none"> • Tier III Certification of Constructed Facility • Tier III Certification of Design Documents
Enagás	Green Data Center	Madrid, Spain	<ul style="list-style-type: none"> • Tier IV Certification of Design Documents
TISSAT	WALHALLA Data Center	Castellon, Spain	<ul style="list-style-type: none"> • Tier IV Certification of Design Documents

T-Systems ITC Iberia SAU	CPD 22@	Barcelona, Spain 29	• Tier III Certification of Design Documents
Silc Inmobles	Centre Tecnològic – Cerdanyola CD2	Barcelona, Spain	• Tier III Certification of Design Documents
Mediapro	MediaCloud	Barcelona, Spain	• Tier III Certification of Design Documents
EDICOM	Edicom Business Center	Paterna, Valencia Spain	• Tier II Certification of Design Documents

Tabla 23 Centros de datos certificados por Uptime Institute en España

Certificaciones de los distintos Tiers del CPD otorgadas en Noruega			
Empresa	Nombre centro de datos	Localización centro de datos	Certificación TIER
Green Mountain AS	DC2 Telemark, Space A01.DH3	Rjukan, Norway	• Tier III Certification of Constructed Facility • Tier III Certification of Design Documents
Green Mountain AS	DC1 Stavanger, Space DH1 & DH2	Rennesoy, Norway	• Tier III Certification of Constructed Facility • Tier II Certification of Design Documents
DigiPlex Fet AS	EVRY Data Centre	Oslo, Norway	• Tier IV Certification of Design Documents

Tabla 24 Centros de datos certificados por Uptime Institute en Noruega

10.2. Mapas climatológicos según AEMET

Las siguientes ilustraciones visualizan:

- Temperatura media del aire en la Península Ibérica e Baleares (1971-2000). Véase ilustración 19.
- Temperatura media de las mínimas en la Península Ibérica e Baleares (1971-2000). Véase ilustración 20.
- Temperatura media de las máximas en la Península Ibérica e Baleares (1971-2000). Véase ilustración 21.
- Número medio de días con temperatura mínima inferior o igual a 0 °C en la Península Ibérica e Islas Baleares (1971-2000). Véase ilustraciones 22 y 23.
- Número medio de días con temperatura mínima superior o igual a 20 °C en la Península Ibérica e Islas Baleares (1971-2000). Véase ilustraciones 24 y 25.
- Número medio de días con temperatura máxima superior o igual a 25 °C en la Península Ibérica e Islas Baleares (1971-2000). Véase ilustraciones 26 y 27.

Esta información se ha obtenido del Atlas climático ibérico, proporcionado por el ministerio de medio ambiente y medio rural y marino [48]

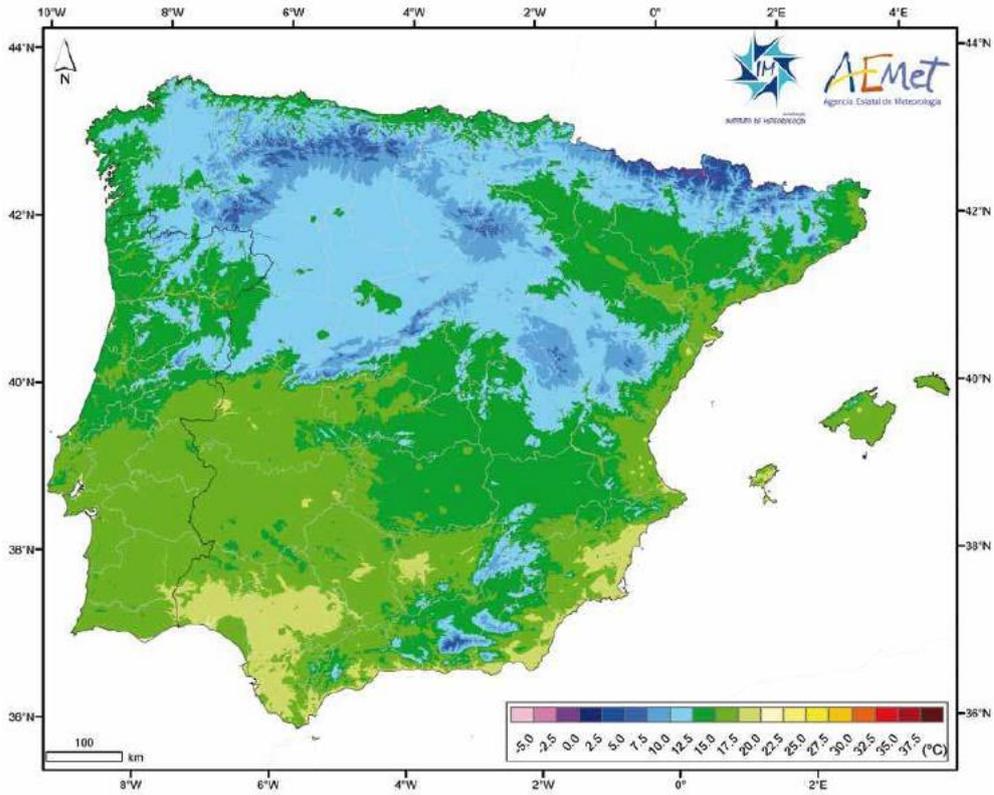


Ilustración 19 Temperatura media anual península ibérica

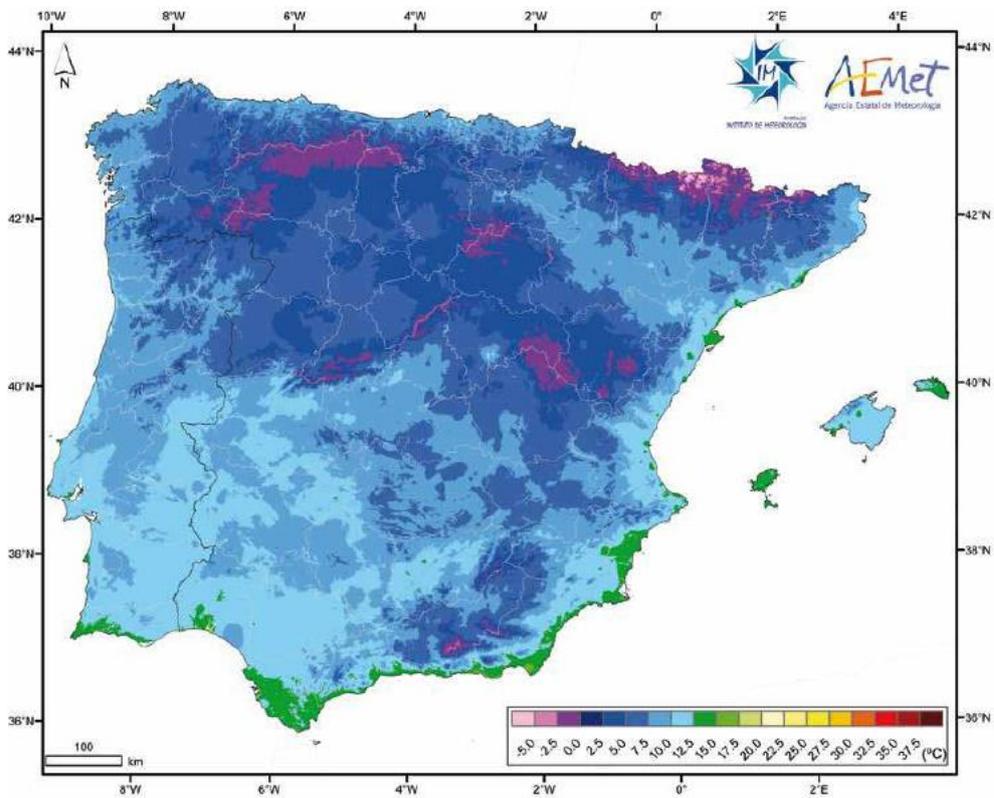


Ilustración 20 Temperatura media anual de las mínimas

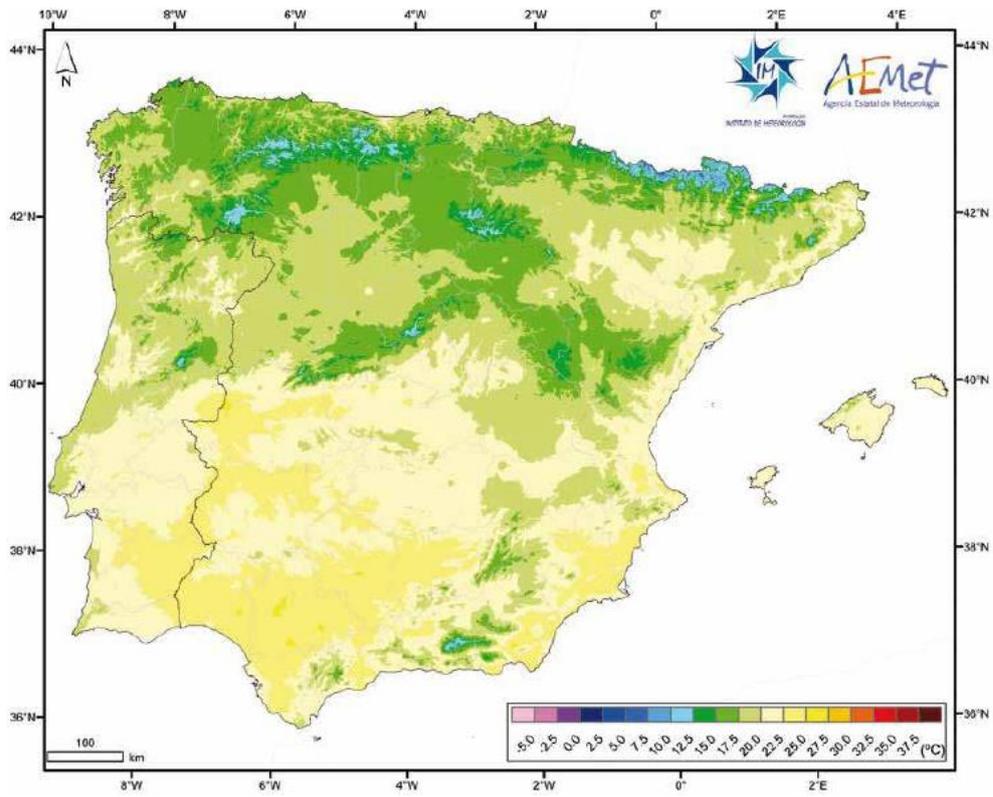


Ilustración 21 Temperatura media anual de las máximas

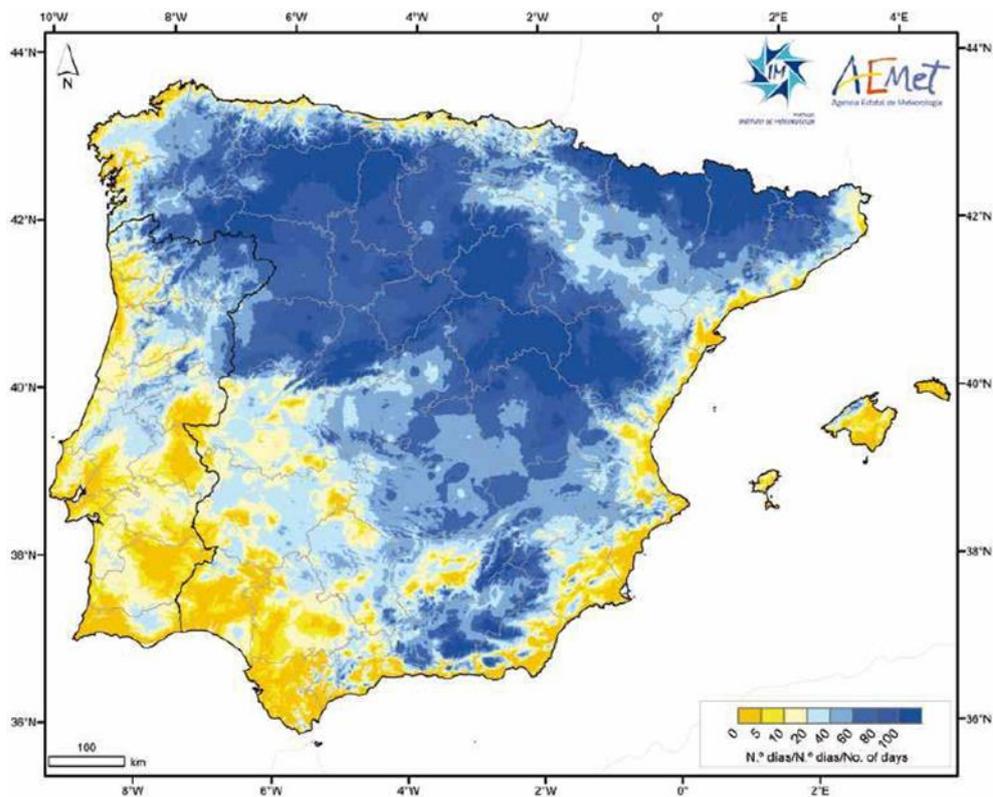


Ilustración 22 Número medio anual de días con temperatura mínima $\leq 0^\circ\text{C}$

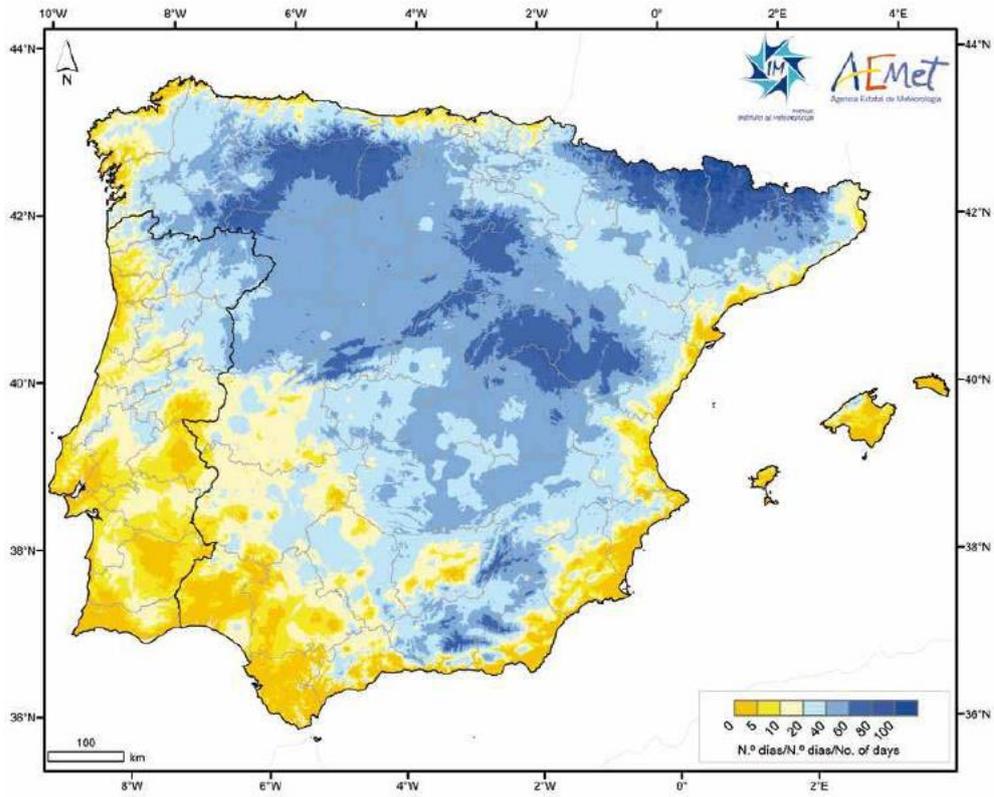


Ilustración 23 Número medio anual de días con temperatura mínima $\leq 0^{\circ}\text{C}$ en invierno

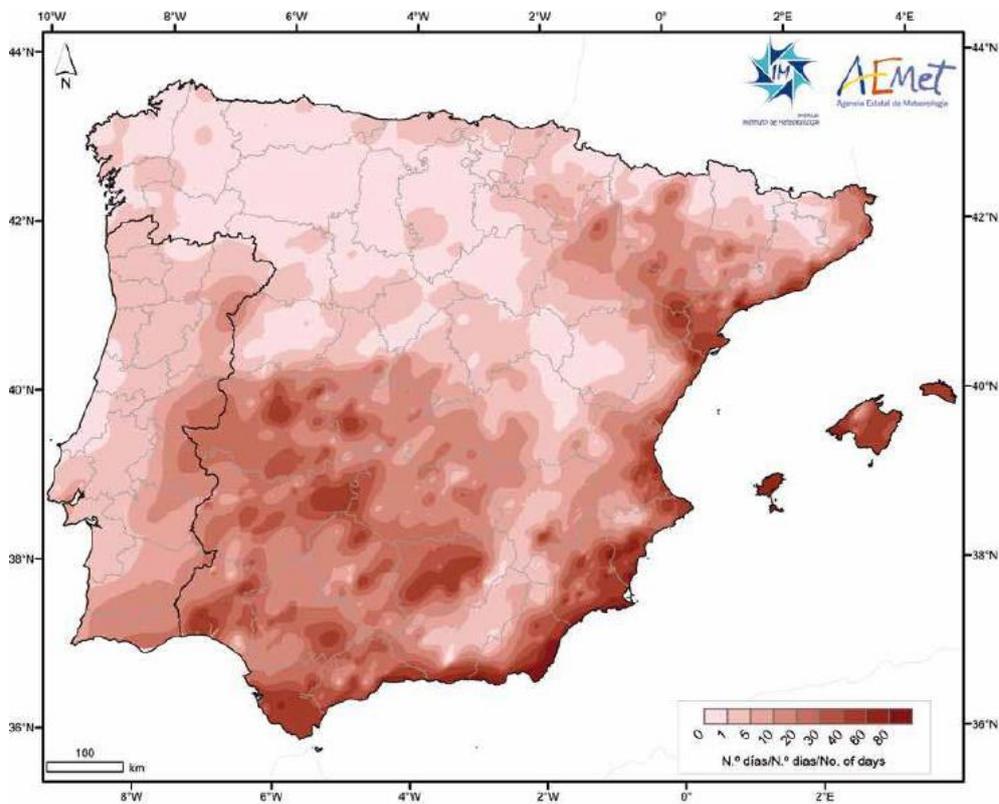


Ilustración 24 Número medio anual de días con temperatura mínima $\geq 20^{\circ}\text{C}$

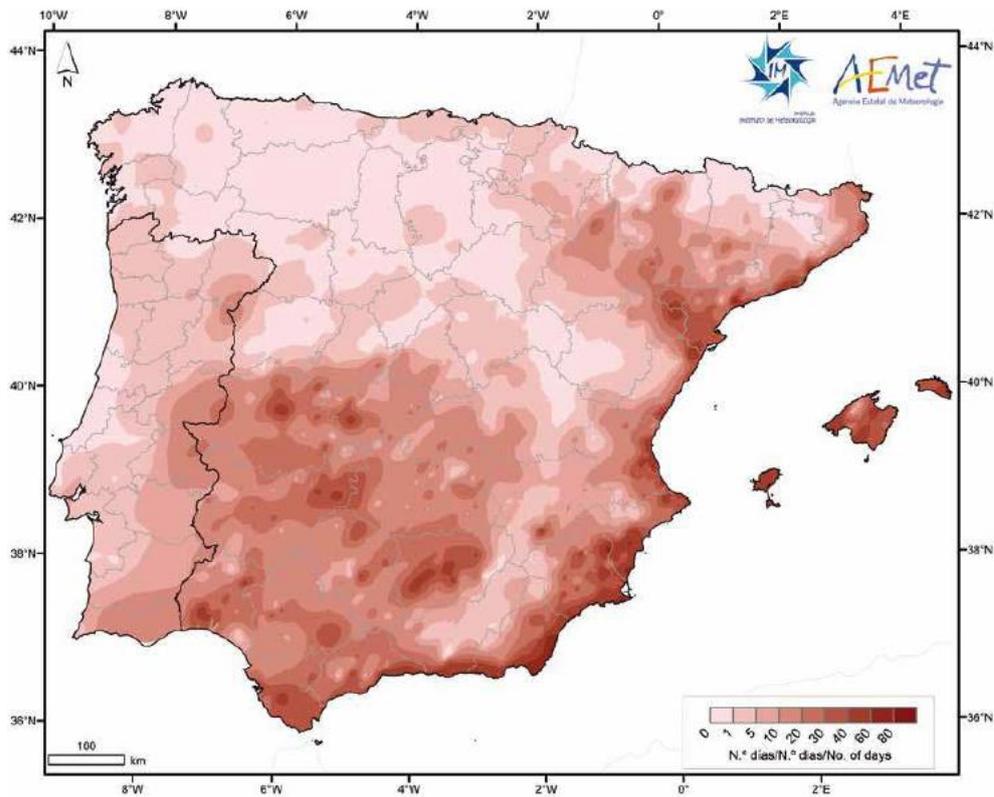


Ilustración 25 Número medio anual de días con temperatura mínima $\geq 20^{\circ}\text{C}$ en verano

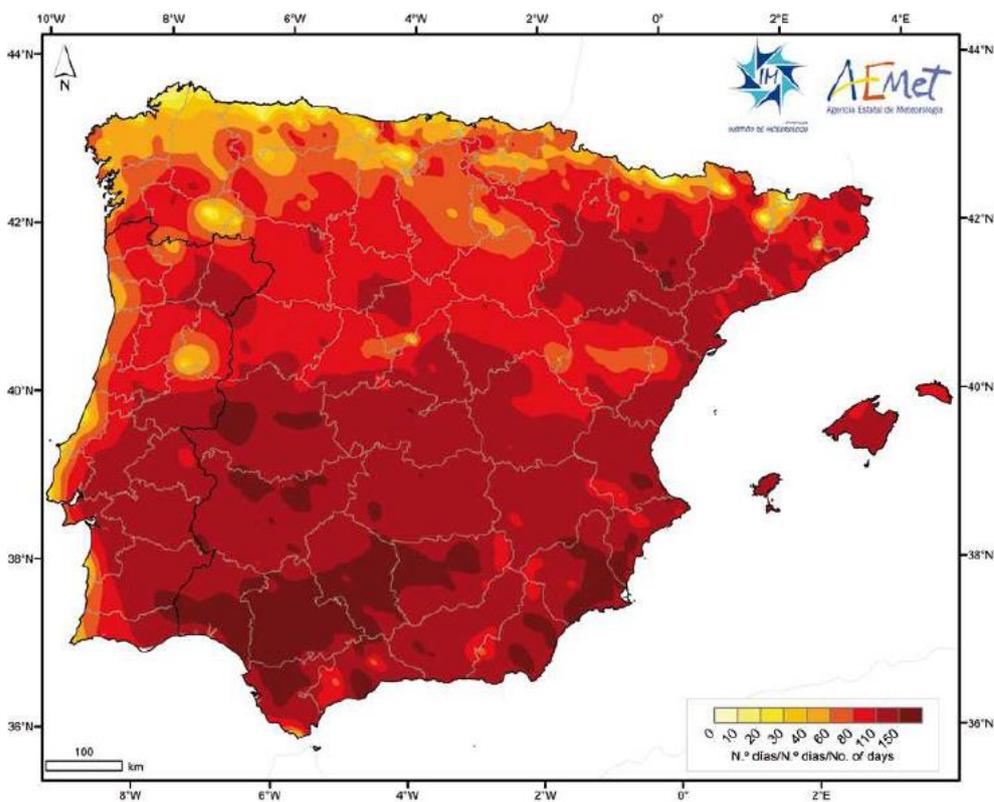


Ilustración 26 Número medio anual de días con temperatura máxima $\geq 25^{\circ}\text{C}$

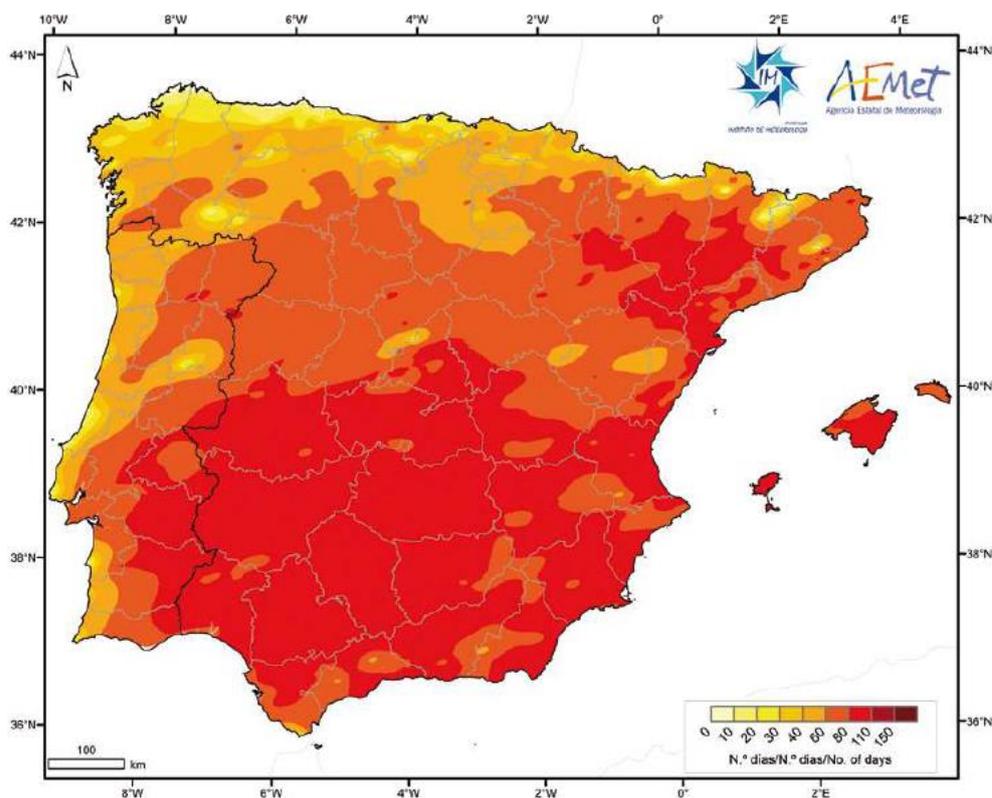


Ilustración 27 Número medio anual de días con temperatura máxima $\geq 25^{\circ}\text{C}$ en verano

11. Referencias

- [1] KALPANA, P. Cloud Computing–Wave of the Future. International Journal of Electronics Communication and Computer Engineering, 2012, vol. 3, no 3, p. 2249-071.
- [2] DIKAIKOS, MARIOS D., ET AL. Cloud computing: Distributed internet computing for IT and scientific research. IEEE Internet computing, 2009, vol. 13, no 5.
- [3] ZHANG, QI; CHENG, LU; BOUTABA, RAOUF. Cloud computing: state-of-the-art and research challenges. Journal of internet services and applications, 2010, vol. 1, no 1, p. 7-18.
- [4] COOK, GARY, ET AL. Clicking clean: A guide to building the green Internet. Greenpeace International, Tech. Rep., May 2015
- [5] GOOGLE DATA CENTERS:IT 2017, [web]
<https://www.google.com/about/datacenters/efficiency/internal/>. Accedido 11/07/2017
- [6] JAVIER G. FERNÁNDEZ: Viaje al corazón de Facebook en el Ártico, June 2017, [Online]
<http://www.expansion.com/economia-digital/companias/2017/06/22/594ad05fca4741a6428b45ce.html>.
 Accedido 11/07/2017
- [7] COLOM, J. F., MORA, H., GIL, D., & SIGNES-PONT: Collaborative building of behavioural models based on internet of things. Computers & Electrical Engineering, 2017, vol. 58, p. 385-396.
- [8] MORA-MORA, HIGINIO, ET AL. Mathematical model of stored logic based computation. Mathematical and Computer Modelling, 2010, vol. 52, no 7, p. 1243-1250.

- [9] MORA, HIGINIO, ET AL. Computational Analysis of Distance Operators for the Iterative Closest Point Algorithm. *PLoS one*, 2016, vol. 11, no 10, p. e0164694.
- [10] MORA MORA, HIGINIO, ET AL. Flexible framework for real-time embedded systems based on mobile cloud computing paradigm. *Mobile Information Systems*, 2015, vol. 2015.
- [11] MORA, HIGINIO, ET AL. Mathematical model and implementation of rational processing. *Journal of Computational and Applied Mathematics*, 2017, vol. 309, p. 575-586.
- [12] MORA-MORA, HIGINIO, ET AL. Real-time arithmetic unit. *Real-Time Systems*, 2006, vol. 34, no 1, p. 53.
- [13] BARROSO, LUIZ ANDRÉ; CLIDARAS, JIMMY; HÖLZLE, URS. The datacenter as a computer: An introduction to the design of warehouse-scale machines. *Synthesis lectures on computer architecture*, 2013, vol. 8, no 3, p. 1-154.
- [14] TURNER IV, W. PITT, ET AL. Tier classifications define site infrastructure performance. *Uptime Institute*, 2006, vol. 17.
- [15] THE UPTIME INSTITUTE, [web] <https://es.uptimeinstitute.com>. Accedido 11/07/2017
- [16] ANSI/TIA-942, [web] http://www.tia-942.org/content/162/289/About_Data_Centers- Accedido 11/07/2017
- [17] GOOGLE DRIVE, [web] https://www.google.com/intl/es_ALL/drive. Accedido 11/07/2017
- [18] AMAZON WEB SERVICES, [web] <https://aws.amazon.com/es>. Accedido 11/07/2017
- [19] MICROSOFT "PORTAL OFFICE" [web] <https://portal.office.com>. Accedido 11/07/2017
- [20] KLIAZOVICH, DZMITRY; BOUVRY, PASCAL; KHAN, Samee Ullah. GreenCloud: a packet-level simulator of energy-aware cloud computing data centers. *The Journal of Supercomputing*, 2012, vol. 62, no 3, p. 1263-1283.
- [21] ALISMAIL, SHADEN M.; KURDI, HEBA A. Green algorithm to reduce the energy consumption in cloud computing data centres. En *SAI Computing Conference (SAI)*, 2016. IEEE, 2016. p. 557-561.
- [22] DAI, JUN, ET AL. Data center energy flow and efficiency. En *Optimum Cooling of Data Centers*. Springer New York, 2014. p. 9-30.
- [23] KORD, NEGIN; HAGHIGHI, HASSAN. An energy-efficient approach for virtual machine placement in cloud based data centers. En *Information and Knowledge Technology (IKT), 2013 5th Conference on*. IEEE, 2013. p. 44-49.
- [24] ZHANG, SHU, Et Al. On demand cooling with real time thermal information. En *Thermal Measurement, Modeling & Management Symposium (SEMI-THERM)*, 2015 31st. IEEE, 2015. p. 138-146.
- [25] EMPRESA CORPORATIVA NIXVAL, [web] <https://www.nixval.com>. Accedido 11/07/2017
- [26] QU, JUNMEI, ET AL. Smart temperature monitoring for data center energy efficiency. En *Service Operations and Logistics, and Informatics (SOLI)*, 2013 IEEE International Conference on. IEEE, 2013. p. 360-365.
- [27] CHEN, SHAOMING; IRVING, SAMUEL; PENG, LU. Operational cost optimization for cloud computing data centers using renewable energy. *IEEE Systems Journal*, 2016, vol. 10, no 4, p. 1447-1458.

- [28] ZIMMERMANN, SEVERIN, ET AL. Aquasar: A hot water cooled data center with direct energy reuse. *Energy*, 2012, vol. 43, no 1, p. 237-245.
- [29] MIDAS GREEN TECH, [web] <http://www.midasgt.com/>. Accedido 11/07/2017
- [30] LIQUIDCOOL SOLUTIONS, [web] <http://www.liquidcoolsolutions.com>. Accedido 11/07/2017
- [31] SHAH, JIMIL M., ET AL. Effects of mineral oil immersion cooling on IT equipment reliability and reliability enhancements to data center operations. En *Thermal and Thermomechanical Phenomena in Electronic Systems (ITherm)*, 2016 15th IEEE Intersociety Conference on. IEEE, 2016. p. 316-325.
- [32] GREEN REVOLUTION COOLING, [web] <http://www.grcooling.com>. Accedido 11/07/2017
- [33] TESKE, SVEN, ET AL. *Energy [r] evolution-a sustainable world energy outlook 2015*. 2015.
- [34] ELMUNDO (MAFRE), [web] <https://www.elmundodemafre.com/revista85/temas-revista85.html>. Accedido 11/07/2017
- [35] GREEN MOUNTAIN AS, [web] <https://greenmountain.no>. Accedido 11/07/2017
- [36] UNIVERSIDAD DE ALICANTE, [web] www.ua.es. Accedido: 11/07/2017
- [37] WIKIPEDIA, [web] https://es.wikipedia.org/wiki/Energ%C3%ADa_solar_fotovoltaica. Accedido: 11/07/2017
- [38] GREENPEACE ESPAÑA, [web] <http://www.greenpeace.org/espana/es/news/2010/November/la-energ-a-solar-puede-dar-ele/>. Accedido: 11/07/2017
- [39] FUTAWATARI, NAOKI, ET AL. Packaged air conditioner incorporating free cooling cycle for data centers. En *Telecommunications Energy Conference (INTELEC)*, 2016 IEEE International. IEEE, 2016. p. 1-6.
- [40] OHADI, M. M., ET AL. A comparison analysis of air, liquid, and two-phase cooling of data centers. En *Semiconductor Thermal Measurement and Management Symposium (SEMI-THERM)*, 2012 28th Annual IEEE. IEEE, 2012. p. 58-63.
- [41] DAI, JUN, ET AL. *Optimum cooling of data centers*. springer-verlag new york, 2016.
- [42] THE GREEN GRID, GET CONNECTED TO EFFICIENT IT, [web] <https://www.thegreengrid.org/en/resources/library-and-tools/20-PUE:-A-Comprehensive-Examination-of-the-Metric>. Accedido: 11/07/2017
- [43] WENISCH, THOMAS F. *PowerNap: Eliminating Server Idle Power*. 2009.
- [44] MEISNER, DAVID; WENISCH, THOMAS F. DreamWeaver: architectural support for deep sleep. En *ACM SIGPLAN Notices*. ACM, 2012. p. 313-324.
- [45] DHINGRA, AKSHAT; PAUL, SANCHITA. A survey of energy efficient data centers in a cloud computing environment. *International Journal of Advanced Research in Computer and Communication Engineering*, 2013, vol. 2, no 10, p. 4033-4040.
- [46] HONGYOU, LI, ET AL. Energy-aware scheduling scheme using workload-aware consolidation technique in cloud data centres. *China Communications*, 2013, vol. 10, no 12, p. 114-124.

- [47] KLIAZOVICH, DZMITRY; BOUVRY, PASCAL; KHAN, SAMEE ULLAH. DENS: data center energy-efficient network-aware scheduling. En Green Computing and Communications (GreenCom), 2010 IEEE/ACM Int'l Conference on & Int'l Conference on Cyber, Physical and Social Computing (CPSCom). IEEE, 2010. p. 69-75.
- [48] AEMET, I. M. Atlas climático ibérico/Iberian climate atlas. Agencia Estatal de Meteorología, Ministerio de Medio Ambiente y Rural y Marino, Madrid, Instituto de Meteorología de Portugal, 2011.
- [49] AEMET –INFORMACIÓN DEL VIENTO, [web]
http://www.aemet.es/es/eltiempo/observacion/ultimosdatos?k=val&l=8019&w=0&datos=img&x=h24&f=v el_racha. Accedido: 20/07/2017
- [50] BOULMIER, ANTHONY; WHITE, JOHN; ABDENNADHER, NABIL. Towards a Cloud Based Decision Support System for Solar Map Generation. En Cloud Computing Technology and Science (CloudCom), 2016 IEEE International Conference on. IEEE, 2016. p. 230-236.
- [51] LIDAR, [web] <http://www.lidar-online.com/tools/maps/?lang=es>. Accedido: 11/07/2017
- [52] APLICACIÓN GOOGLE EARTH, [web] <https://www.google.com/intl/es/earth/>. Accedido: 11/07/2017
- [53] BRUNSCHWILER, THOMAS, ET AL. Direct waste heat utilization from liquid-cooled supercomputers. En Proceedings of the 14th international heat transfer conference, Washington. 2010.
- [54] MOORE, DAVID A., ET AL. Hybrid warm water cooled supercomputing system. En Thermal and Thermomechanical Phenomena in Electronic Systems (ITherm), 2016 15th IEEE Intersociety Conference on. IEEE, 2016. p. 614-618.
- [55] BERGQUIST, G., AND GANSLANDT, M, 2014, “Transforming Data Centre Excess Heat From a Cost to a Revenue Stream!”, Data Center Dynamics (London, UK).
- [56] RAÚL LLINARES LLOPIS, profesor de la Universidad Politécnica de Valencia – Campus Alcoy – Administración de sistemas, 2015
- [57] SHEME, ENIDA, ET AL. Datacenters powered by renewable energy: A case study for 60 degrees latitude north. En Software, Telecommunications and Computer Networks (SoftCOM), 2016 24th International Conference on. IEEE, 2016. p. 1-5.
- [58] SCHMIDT, ROGER; ENGINEER, FELLOW CHIEF. Packaging of New Servers-energy efficiency aspects. En 1st Berkeley Symposium on Energy Efficient Electronics. 2009.
- [59] COSTE DEL KW/ H EN ESPAÑA, [web] <http://comparadorluz.com/faq/precio-kwh-electricidad>. Accedido; 11/07/2017
- [60] PATRICIA GARCÍA. El nuevo Centro de Proceso de Datos de Madrid alberga gran parte de los datos y las comunicaciones de MAPFRE a nivel mundial. Septiembre 2014. N° 85
- [61] COMPUTER WORLD, [web] <http://www.computerworld.es/tendencias/microsoft-prueba-su-centro-de-datos-bajo-el-mar>. Accedido 11/07/2017
- [62] JAVIER LÓPEZ TAZÓN, microsoft ensaya centros de datos bajo el mar, Febrero 2016
- [63] COSTE DE UNA PLACA SOLAR, [web] <http://www.leroymerlin.es/fp/17551800/panel-solar-jinko-j-monocristalino?pathFamiliaFicha=341301&uniSelect=0&ancho=0&largo=0#ficha-tecnica>. Accedido 05/09/2017.

[64] INFOGRAFÍA CAIDA DE CENTRO DE DATOS, [web] <http://www.ciatec.com/blog/wp-content/uploads/2016/01/Caidas-en-los-centros-de-datos-001.jpg>. Accedido 05/09/2017

[65] CAMBIO DE DIVISA, [web] <http://www.expansion.com/ahorro/conversor-divisas/dolar-euro>. Accedido 10/09/2017