

Universitat Politècnica de Catalunya
Centres de Processament de Dades
Grau en Enginyeria Informàtica

EXERCICI AiP

GREEN DATA CENTERS

Autor:
Daniel DONATE

Professor:
David LÓPEZ
Q2 Curs 2020-2021

8 d'abril del 2021



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
BARCELONATECH
Facultat d'Informàtica de Barcelona



Taula de Continguts

Introducció	2
Tècniques	4
Virtualització	4
Type1 Hypervisor	4
Type2 Hypervisor	5
Reutilització del calor residual	7
Humidificació ultrasònica	9
Humidificació Isotèrmica	10
Humidificació Adiabàtica	11
Humidificador Ultrasònic	11
Free-air cooling	13
IA per reduir el consum dels Data Centers	15
Bibliografia	17

Introducció

Un Green Data Center (o Data Center sostenible) és un centre de dades que utilitza tecnologies amb una gran eficiència energètica, que no malgasta recursos en mantenir sistemes obsolets (com servidors inutilitzats o, directament, morts) i que pren avantatge de les noves i, sobretot, més eficients tecnologies.

El creixement continu del mercat mundial dels centres de dades ha provocat que el consum d'energia que suposen els Data Centers hagi anat augmentant significativament amb el temps. Actualment, s'estima que els Data Centers consumeixen entre el 3% i el 5% de l'energia mundial i són responsables d'entre un 2% i un 4% de les emissions de CO₂ del planeta [1]. I la tendència, lluny d'aturar-se, va en augment. L'investigador Anders Andrae prediu que al 2025 els Data Centers podrien arribar a representar el 20% del consum d'energia global, i suposar el 5,5% de les emissions mundials de CO₂, sempre i quan no es produeixi una ràpida adopció de fonts d'energia més (verdes i) eficients [2].

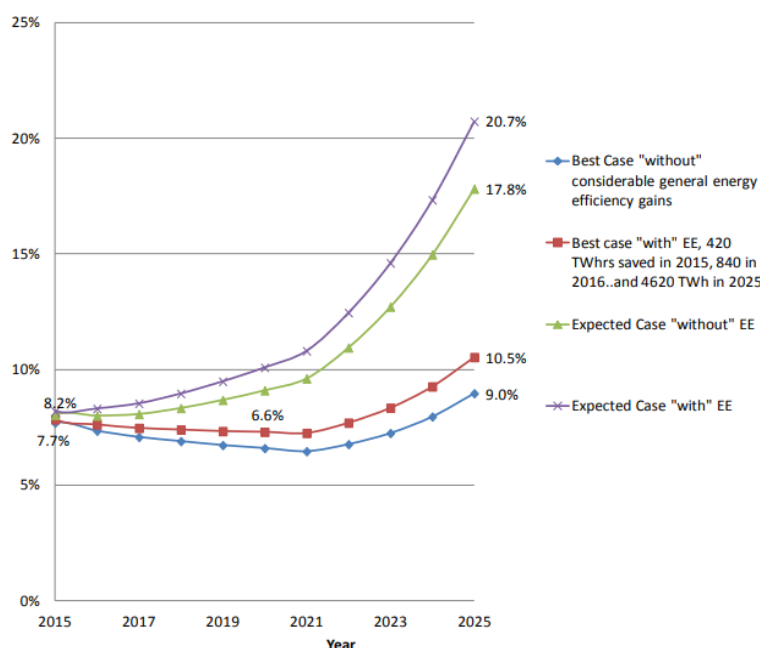


Figura 1: La proporció de les TIC en l'ús global de l'electricitat entre el 2015 i el 2025, amb i sense EE [2]

Els centres de dades utilitzen diferents tecnologies per proporcionar els seus serveis. Els servidors s'encarreguen de la lògica i els càlculs. Les unitats d'emmagatzematge guarden les dades necessàries pel funcionament dels servidors. Els dispositius de xarxa connecten el CPD amb Internet per permetre el flux de dades bidireccional.

Gran part de l'electricitat consumida per tots aquests dispositius es transforma en calor, la qual ha de ser eliminada dels data centers per garantir el correcte funcionament de les diferents parts que el componen.

És aquest últim sistema, juntament amb els servidors els que, en mitja, consumeixen la major part de l'electricitat, seguida de les unitats d'emmagatzematge i la xarxa (Figura 2).

En els següents apartats parlarem de tècniques i bones pràctiques que ja s'estan aplicant a molts centres de dades i que són imprescindibles per millorar l'eficiència dels data centers.

Algunes d'elles ja s'han descrit a classe i, per tant, només ens preocuparem de veure alguns exemples, tot i que en algun cas hem considerat que el tema era prou extens i interessant com per dedicar-hi més temps i entrar una mica més en detall.

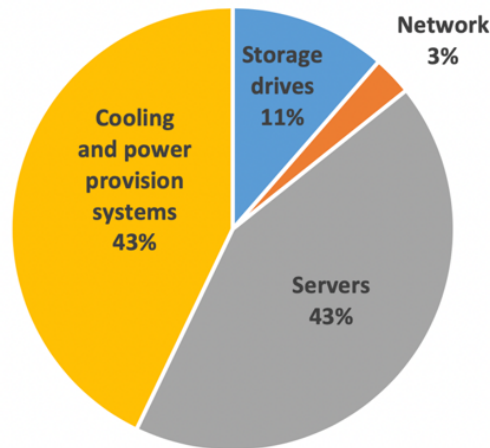


Figura 2: Fracció de l'ús d'electricitat d'un centre de dades dels Estats Units al 2014 [3]

Abans, però, descriurem (a mode de recordatori) dues de les mètriques més freqüents que s'utilitzen per avaluar l'eficiència energètica d'un centre de processament de dades.

Mètriques

Existeixen diverses mètriques per mesurar l'eficiència energètica als centres de dades. Dos de les més habituals són el PUE i el CUE, creades per *The Green Grid*, una organització internacional no-lucrativa on els membres col·laboren per millorar l'eficiència dels CPDs.

El PUE descriu, per cada Watt de potència subministrada, la quantitat d'energia addicional que requereix un CPD per mantenir en funcionament el seu equip. És a dir, és un ratio entre l'energia total que es gasta al CPD i l'energia que *realment* s'utilitza als servidors:

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

Quan el PUE va començar a fer-se servir com a mètrica (l'any 2007), els estudis realitzats van trobar que el PUE promig dels CPDs a nivell global estava entre 2.5 y 3. Però l'adopció de tècniques i noves tecnologies que han anat millorant de forma progressiva el rendiment dels centres de dades han permès que aquesta xifra es trobi actualment al voltant de 1.7.

El CUE i el WUE (anàlogament al PUE) es calculen dividint les emissions totals de CO_2 causades pel consum total d'energia i el consum d'aigua de la instal·lació, respectivament, entre l'energia total consumida pels equips TI del centre.

$$CUE = \frac{\text{Total } CO_2 \text{ Emissions Caused}}{\text{IT Equipment Power}} [kgCO_2 eq/kWh] \quad WUE = \frac{\text{Total } H_2O \text{ Consumed}}{\text{IT Equipment Power}} [l/kWh]$$

Tècniques

Virtualització

La virtualització és una tecnologia que ens ajuda a fer servir els recursos *hardware* que tenim disponibles d'una forma eficient. Com sabem, aquesta tecnologia permet distribuir la capacitat de les nostres màquines físiques entre molts usuaris i/o entorns.

A un nivell molt baix de detall, els hipervisors o monitors de màquines virtuals (VMM) es componen de *peces intel·ligents de software* que possibiliten l'abstracció de recursos *hardware* i, d'aquesta manera, la creació de servidors virtuals integrats per màquines virtuals que accedeixen als recursos físics subjacents del servidor *real* i comparteixen aquests recursos entre si. Un sistema en el qual un hipervisor executa una o més màquines virtuals s'anomena sistema *host*, i cada màquina virtual que s'executa en el hipervisor s'anomena sistema *guest*. El hipervisor proporciona als *guests* una plataforma virtual que gestiona l'execució dels seus sistemes operatius, de manera que diverses instàncies de diferents sistemes operatius (Windows, Linux, Mac...) poden compartir aquests recursos de *hardware* virtualitzats. Hi ha dos tipus diferents de hipervisors: Type1 i Type2.

Type1 Hypervisor

Aquest tipus de hipervisors (*Figura 3, esquerra*) s'executa directament sobre el *hardware* del *host* per controlar el *hardware* i els sistemes operatius dels *guests*. És per això que a vegades se'ls denomina *bare metal hypervisors* (o *native*, o *embedded*). Alguns exemples de hipervisors de tipus 1 són: Xen, Microsoft Hyper-V o VMware ESXi. Segons la IBM [5] els hipervisors de tipus 1 proporcionen major rendiment, disponibilitat i seguretat en comparació als hipervisors de tipus 2. Per això van guanyant popularitat dia a dia als data centers.

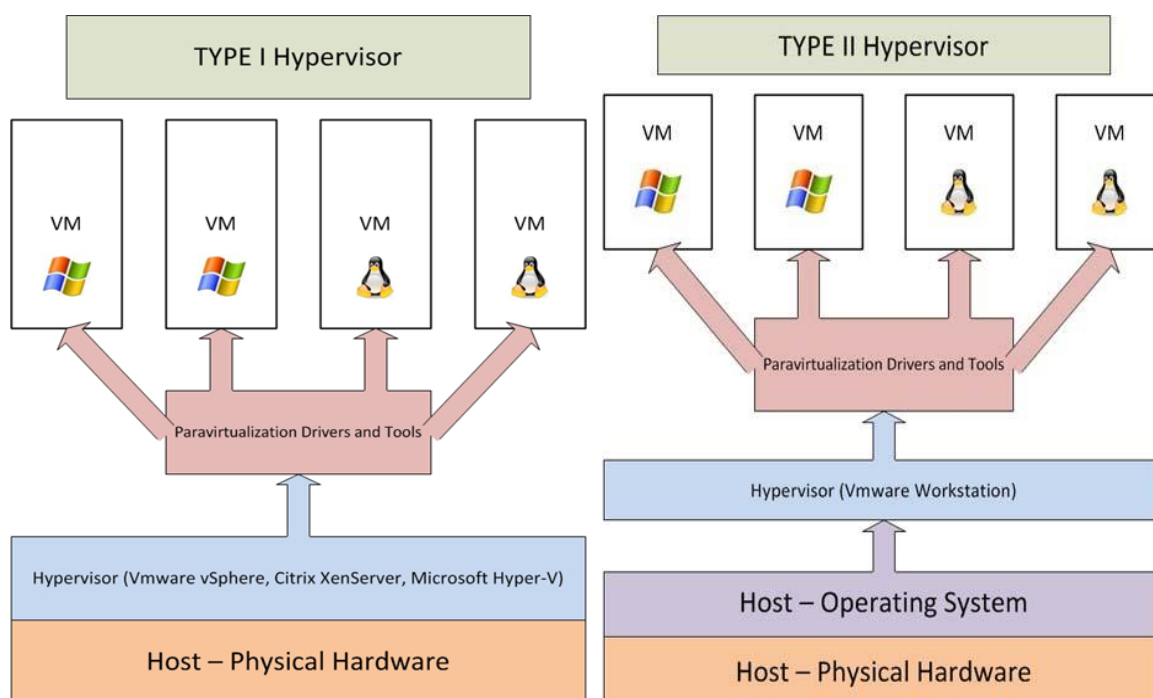


Figura 3: Hipervisor de Tipus I (esquerra) i Hipervisor de Tipus II (dreta) [4]

Type2 Hypervisor

Aquests hipervisors (*Figura 3*, dreta) s'executen en el sistema operatiu *host*, mentre que els sistemes operatius *guest* s'executen sobre el *host* com si fossin un procés del sistema. Alguns exemples són: VMware Workstation, VirtualBox o VMware Player. Són considerablement més ineficients que els de Type1. Per tant, el seu ús és poc recomanable als CPDs.

En aquesta secció veurem com creix el consum energètic d'un servidor físic mitjançant dos *hypervisors Type1*: Xen i KVM, amb diferents quantitats de màquines virtuals, seguint el treball de fi de màster de Praneel Reddy, del *Blekinge Institute of Technology*, de Suècia [6].

La *Figura 4.1* mostra el consum d'energia d'un servidor amb un hipervisor KVM i un nombre total de màquines virtuals que va d'entre 1 a 15 (totes elles, recordem, desplegades sobre un mateix servidor físic). Notem que amb l'augment del nombre de VMs podem observar un creixement lleu en el consum d'energia del servidor¹.

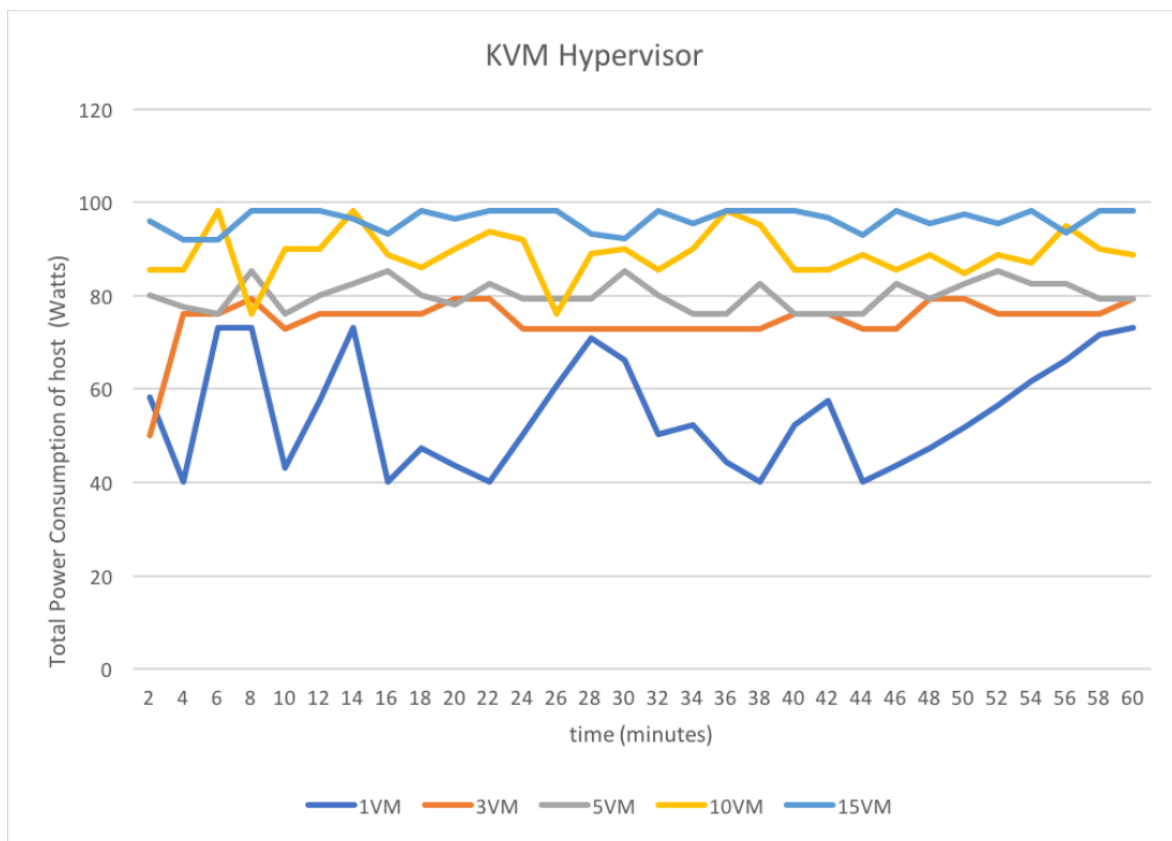


Figura 4.1: Evolució del consum energètic d'un hipervisor KVM amb diferents nombres de màquines virtuals. L'eix X representa el temps, en minuts, i l'eix Y representa la potència elèctrica consumida pel host, en Watts [6]

Anàlogament, la *Figura 4.2* mostra el consum d'energia d'un servidor amb un hipervisor Xen i un nombre total de màquines virtuals que va, novament, d'entre 1 a 15.

El punt important aquí és adonar-se'n que la utilització de màquines virtuals permet estalviar una gran quantitat d'energia. Si féssim servir un servidor per cadascuna de les 15 VMs, el consum de potència elèctrica augmentaria dràsticament. Notem que la quantitat d'energia

¹ La corba que representa una sola VM mostra fortes fluctuacions degudes a canvis en el *cloudlet*. Durant el procés de transferència de *cloudlets*, la utilització de recursos és mínima, el que resulta en un menor consum d'energia en aquella instància. Aquestes simulacions s'han realitzat fent servir el *framework CloudSim*

necessària pel desplegament de 15 màquines virtuals és menor que l'energia que requeriríem per mantenir dos servidors físics diferents.

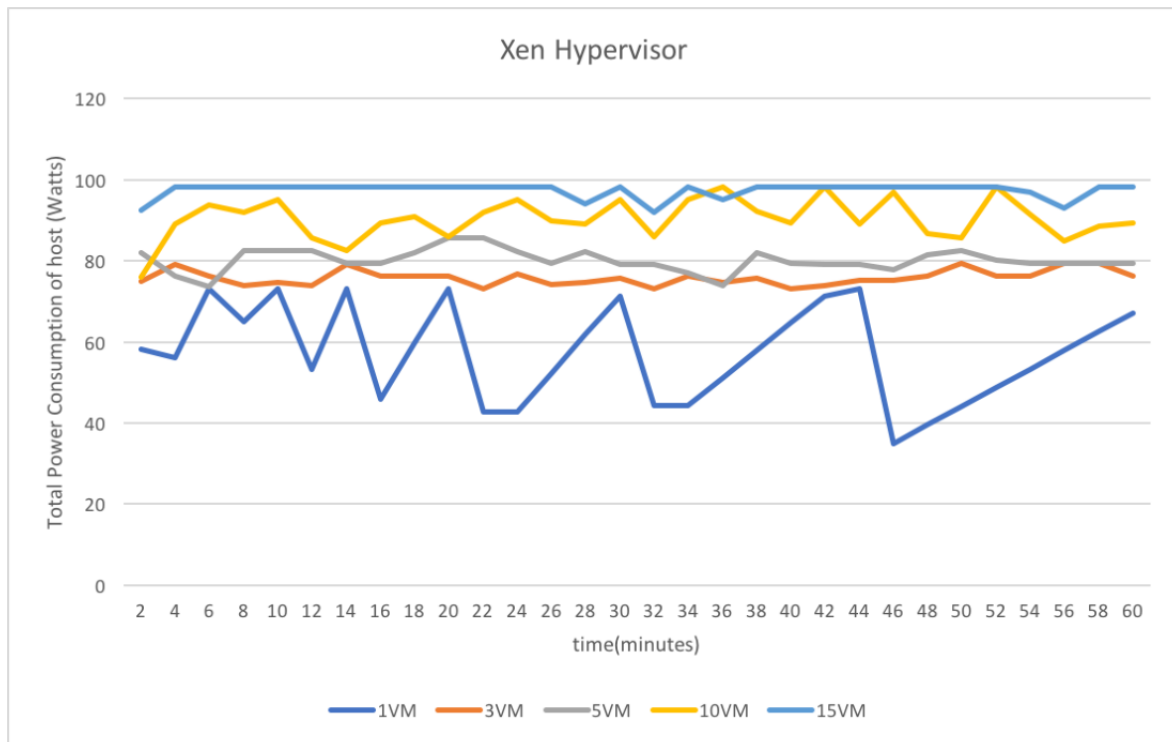


Figura 4-2: Evolució del consum energètic d'un hypervisor Xen amb diferents màquines virtuals [6]

Sobre la comparació entre els dos hipervisors que hem vist, Reddy conclou en el seu treball que KVM mostra un rendiment energètic lleugerament superior (i més estable) que Xen [6].

Reutilització del calor residual

Com apunta Mark Monroe, *Principal Engineer* del *Microsoft's Datacenter Advanced Development group*, al seu article “How to Reuse Waste Heat from Data Centers Intelligently” [7] els centres de dades es comporten, en certa manera, de forma oposada a les centrals hidro-elèctriques o a les turbines eòliques, que transformen l'energia cinètica dels fluids en moviment en electricitat neta, ‘econòmica’ i fàcilment transportable per a ser consumida a desenes (o, fins i tot, centenars) de kilòmetres de distància. Els data centers, en canvi, acaben convertint al voltant del 98% de l'electricitat que se'ls hi subministra en energia tèrmica de “baixa temperatura”, generalment poc útil. Una idea no especialment recent és portar el calor residual d'aquests centres, que en principi s'expulsa a l'exterior, a instal·lacions on es consumeix calor. Hi ha una gran quantitat d'exemples arreu del món — alguns d'ells molt coneguts— de centres de dades que col·laboren amb empreses de la zona per convertir el calor residual del data center en una font de calor útil. Un d'aquests exemples és el del CPD de IBM a Suïssa, que reutilitza el calor residual de les seves instal·lacions per escalfar la piscina municipal de Uitikon. A Finlàndia, els centres de dades de Yandex i Academica comparteixen aquest calor amb unes 500 llars de la localitat de Mäntsälä [8], cobrint el 5% dels costos de calefacció dels seus ciutadans. Hi ha molts altres exemples de centres de dades que re-utilitzen el calor a Canadà, als EE.UU. o a Anglaterra.

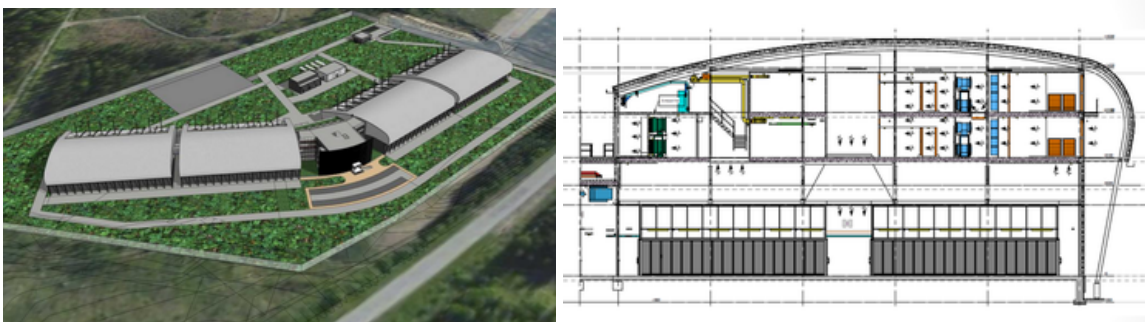


Figura 5: Edifici de Yandex, a Mäntsälä, Finlàndia (esquerra). El data center està dissenyat per aprofitar l'ús de la refrigeració de l'aire exterior. Tot l'edifici té la forma de les ales d'un avió, amb un perfil aerodinàmic que utilitza el vent predominant per a dirigir l'aire a través de les instal·lacions a la pressió correcta per a proporcionar el refredament requerit pels servidors sense necessitat de fer servir energia addicional [8]

Hi ha, però, dos problemes amb la re-utilització del calor residual dels centres de dades: les temperatures relativament baixes d'aquest calor residual i la dificultat de transportar-lo. Notem que els exemples que hem comentat fins ara han utilitzat el calor de *baixa* temperatura (generalment d'entre 28°C i 35°C) a instal·lacions geogràficament adjacents al centre de dades: com un hivernacle o una piscina situada a un edifici al costat del data center. El problema és que el transport d'energia tèrmica requereix de canonades o conductes aïllats excavats entre el centre de dades i l'usuari final del calor. Només la canonada necessària per compartir el calor amb una instal·lació ubicada a una distància de 400 metres del centre incrementaria el cost de construcció del data center en uns 750 mil dòlars estatunidencs [7]. I no hi ha gaire cosa que es pugui fer (almenys actualment) per tal d'abaratat aquest cost.

Si que hi ha solució, però, per al problema de la baixa temperatura del calor residual dels data centers. Molts d'ells han començat a instal·lar bombes de calor altament eficaçes amb un COP—que és la raó entre el calentament/refredament proporcionat i l'energia consumida per la bomba— d'entre 3 i 6, que sumen l'energia utilitzada per les bombes al flux d'energia que es mou cap a l'usuari final del calor (*Figura 6*) per augmentar la temperatura d'aquest

flux tèrmic (fins als 55°C o 70°C, habitualment), el que fa que aquesta energia tèrmica esdevingui més valuosa i comercialitzable. El calor que surt de les bombes pot transferir-se a un medi líquid per facilitar el transport i es pot fer servir en calefacció urbana (com en l'exemple de Yandex), en bugaderia comercial o en aplicacions industrials.

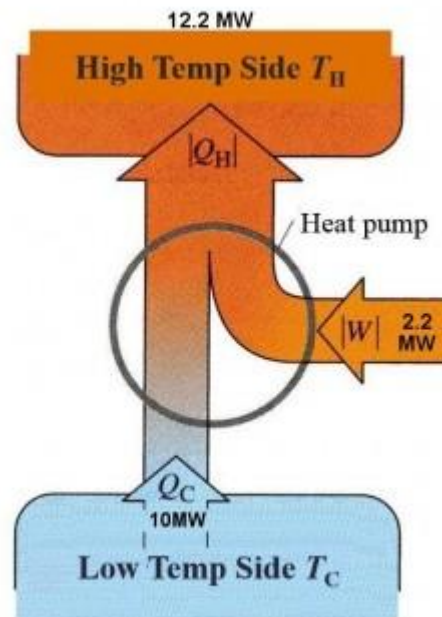


Figura 6: L'energia utilitzada per les bombes es suma al flux de calor de baixa temperatura original [7]

D'altra banda, el calor residual podria ser una font d'ingressos per al centre de dades. Un centre de dades de 1.2 MW que vengués tot el seu calor residual podria aconseguir uns ingressos de 350 mil dòlars estatunidencs anuals, xifra que pot representar fins a un 14% dels ingressos anuals bruts obtinguts pel lloguer (*housing*) d'un centre d'aquesta magnitud.

Un centre de dades *compartint* ubicació amb una planta generadora d'energia podria transferir energia tèrmica impulsada per la bomba de calor des del centre fins a la planta per a què aquests la fessin servir en l'escalfador d'aigua d'alimentació o en les etapes de la turbina de baixa pressió, creant així un circuit tancat.

Per últim, però no menys important, es produeixen també notables millores en el CUE dels centres que apliquen aquesta pràctica. Utilitzant el promig nacional de generació de CO_2 nord-americà de 0.56Kg de CO_2 per kWh, un centre de dades de 1.2 MW estalvia un promig de 6000 tonelades mètriques anualment, simplement aprofitant aquest calor residual.

Humidificació ultrasònica

Aprofitant que no hem pogut incidir gaire en la humidificació dels data centers, farem servir aquest apartat, en part, per parlar de la importància dels humidificadors, així com d'alguns dels diferents tipus que es fan servir i de quins criteris podem valdre'ns a l'hora d'escollir-los.

El control dels nivells d'humitat als centres de dades és molt important, ja que un nivell d'humitat insuficient pot afavorir l'aparició de descàrregues electroestàtiques i un nivell d'humitat excessiu crea un risc de condensació en els dispositius del centre (veure *Figura 7*). És per això que resulta necessari el control de la humitat dels data centers: per mitigar els efectes negatius que té l'acumulació de càrrega estàtica i de potencial de descàrrega electrostàtica sobre els components electrònics, que són sensibles a elles. Una de les principals fonts de descàrregues prové del personal que opera en el CPD, que es mou per les instal·lacions, acumula càrrega i després manipula l'equip, traspasant aquesta càrrega.

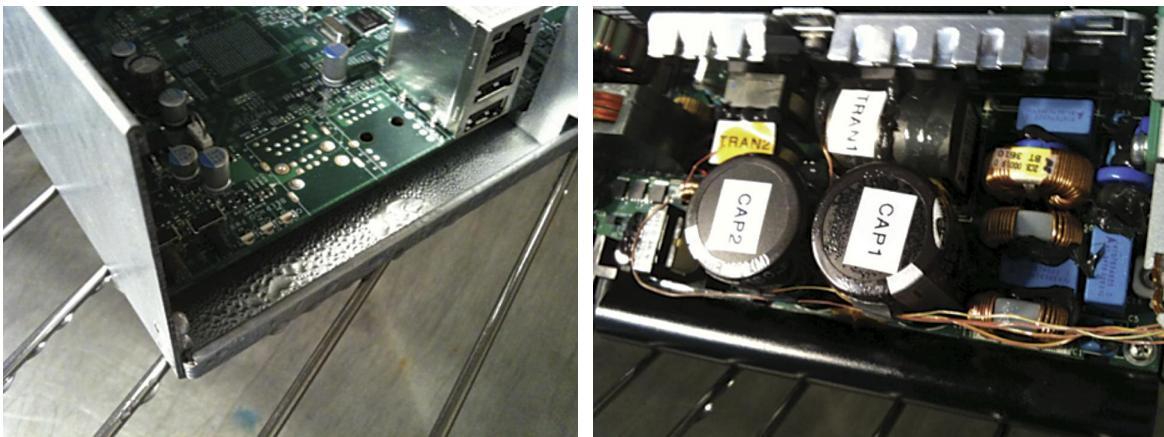


Figura 7: Condensació al xassís d'un servidor (esquerra) i condensació als components de la font d'alimentació (dreta). Podem veure gotes d'aigua formades a la superfície de l'inductor i del condensador [8]

Els nivells d'humitat recomanats dins d'un data center estan, doncs, limitats per un límit inferior i per un límit superior, tal i com es descriu a les Directrius Tèrmiques per a entorns de processament de dades de l'ASHRAE (*American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers*). Si donem un cop d'ull a la gràfica de la *Figura 8*, veurem que la màxima temperatura seca (regió A4) de l'aire permesa és de 45°C, amb un límit mínim d'humitat relativa del 20% i un límit màxim del 90%. Aquests marges permeten als enginyers *jugar* amb les estratègies de refrigeració i humidificació dels data centers per tal d'estalviar en capital i despeses d'explotació, però cal tenir en compte que els límits recomanats són d'entre 17.5°C i 27.5°C per la temperatura, i d'entre el 45% i el 60% d'humitat. Qualsevol altre rang escurçarà, probablement, la vida útil dels dispositius de l'equip del data center.

A continuació discutirem sobre alguns tipus d'humidificació que existeixen en el mercat, responenent a diferents necessitats que troben els enginyers que dissenyen els centres de dades. Totes les tècniques d'humidificació que comentarem s'enmarquen en un dels dos processos següents: isotèrmic o adiabàtic. Degut a les diferències que existeixen entre aquests dos tipus de processos i a la necessitat d'entendre'ls per poder seleccionar un mètode d'humidificació, els començarem descrivint breument. Les explicacions d'aquest apartat estan extretes del *HVAC Systems and Equipment 2012*, de l'ASHRAE [10].

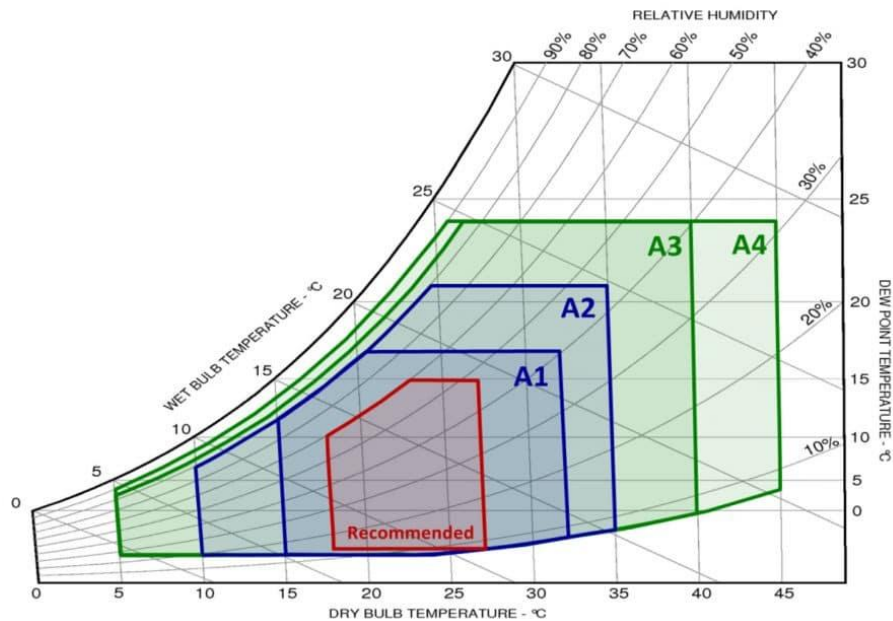


Figura 8: ASHRAE Thermal Guidelines for Datacom Equipment at sea level [9]

Humidificació Isotèrmica

Es denomina procés isotèrmic al canvi reversible en un sistema termodinàmic, essent idealment la temperatura constant al llarg d'aquest canvi en tot el sistema. En un procés d'humidificació isotèrmica la font d'energia utilitzada per a la humidificació és externa al corrent d'aire i pot donar lloc a temperatures de l'aire que surten lleugerament més càlides en algunes aplicacions. A un nivell fonamental, aquests humidificadors generen vapor bullint aigua (mitjançant, per exemple, calderes de combustible, una font elèctrica o llum infraroja). Un cop generat, el vapor s'injecta al flux d'aire circulant per absorbir-lo. A la *Figura 9* podem veure un esquema d'un humidificador de vapor.

Els humidificadors isotèrmics han estat tradicionalment l'opció habitual dels centres de dades. Ha estat així gràcies a que la seva instal·lació és senzilla i ràpida (així com el seu manteniment), a que presenten una gran fiabilitat i a que es poden adaptar fàcilment a un sistema determinat. Una altra avantatge és que el vapor ajuda a sanear el flux d'aire.

Com hem dit abans, malgrat anomenar-se humidificació *isotèrmica*, la injecció de vapor al sistema pot augmentar la temperatura. Aquest fet s'ha de tenir en compte a l'hora de dissenyar aquests sistemes, i és un dels principals motius pels quals s'està reduint la seva utilització en centres de processament de dades: poden suposar un impacte negatiu en el PUE. A continuació parlarem d'una alternativa més eficient: els humidificadors adiabàtics.

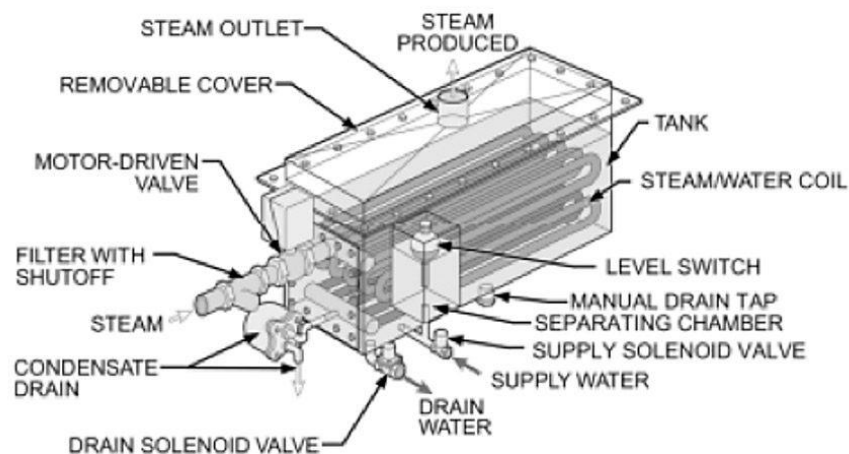


Figura 9: Humidificador de vapor escalfat per aigua calenta [10]

Humidificació Adiabàtica

Un procés adiabàtic és aquell en el qual el sistema termodinàmic no intercanvia calor amb el seu entorn. El procés d'humidificació adiabàtica utilitza l'energia del flux de l'aire circulant per absorbir aigua a una velocitat d'aproximadament 2326 kJ/kg d'aigua. Això, al seu torn, redueix la temperatura del corrent d'aire humidificat.

Com hem dit, l'energia necessària per a la vaporització en el procés d'humidificació adiabàtica prové del corrent d'aire, per tant, la velocitat de l'aire que viatja a través de la secció d'humidificació d'un manipulador d'aire ha d'estar dins del rang de tolerància especificada pel fabricant de l'equip. Altrament, l'eficiència d'absorció pot disminuir significativament. Un altre dels factors que determinen l'eficàcia d'aquests sistemes és la distància d'absorció dins de la secció d'humidificació del conducte o manipulador d'aire. La mida mitjana de les gotes també afecta l'eficàcia d'absorció del sistema; depèn en gran mesura de la tecnologia emprada i del disseny del fabricant.

A continuació parlarem d'un tipus particular d'humidificador adiabàtics (de fet, entra dins una sub-categoria dels humidificadors adiabàtics que es coneix com a atomitzadors): l'humidificador ultrasònic, que és el més interessant en termes d'eficiència.

Humidificador Ultrasònic

Els humidificadors ultrasònics utilitzen una sèrie de transductors piezoelèctrics per crear cavitació (aspiració en el buit: fenomen de creixement de bombolles dins l'aigua o un altre fluid, seguit d'una depressió que les fa implotar) dins d'un recipient d'aigua. Després, aquesta cavitació crea una fina boira de vapor d'aigua amb una mida de gota promig d'una micra. Per assegurar que el procés treballa eficientment i que l'humidificació resultant és lliure de minerals, l'aigua del circuit es sotmet a un procés de filtració per òsmosi inversa i desionització.

Els humidificadors ultrasònics són cada vegada més utilitzats als centres de dades, degut a la seva gran eficiència energètica. Aquests humidificadors requereixen pressions de subministrament d'aigua que oscilen entre 206 kPa i 551 kPa (depenent del fabricant), la qual cosa elimina el requisit d'una bomba d'alta pressió. D'igual manera, els motors piezoelèctrics requereixen de poca potència. Segons Energy Star, els humidificadors ultrasònics poden fer servir fins a un 90% menys d'energia que un humidificador de vapor isotèrmic de mida equivalent [11].

La *Figura 10* mostra part de l'exterior del centre de dades de Facebook a Prineville, Oregon, que és un dels més eficients del món. És un dels centres on sabem, (ja que Facebook ha donat aquesta informació) que es fan servir humidificadors ultrasònics. Sabem també que l'edifici consta de tres pisos. El primer pis acull la sala de dades i l'espai d'oficines, juntament amb el pati de recepció i l'àrea d'emmagatzematge. Al segon pis hi ha una gran cambra d'aire calent de retorn. El tercer pis allotja els equips de tractament d'aire. Aquestes alineacions es divideixen al passadís d'admissió, la sala de filtres, la sala de refredament / humidificació ultrasònica, la sala de ventiladors, el passadís de subministrament i, finalment, el passadís d'extracció. La ruta del flux d'aire es mostra a la *Figura 11*.



Figura 10: Custom-build data center de Facebook a Prineville, Oregon. Autor: [Tom Raftery](#)

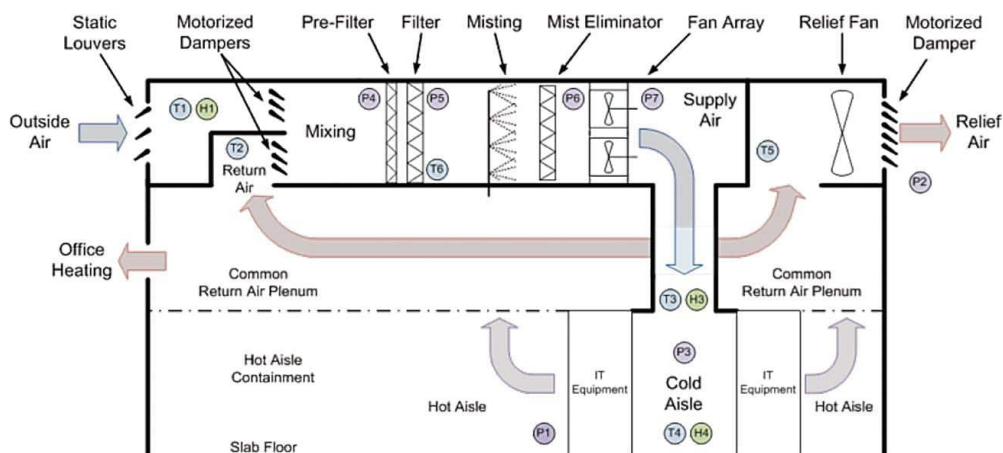


Figura 11: Vista lateral del centre de dades de Facebook a Oregon. El PUE del data center és de 1.07 [8]

Free-air cooling

Ja vam veure a l'apartat de [Reutilització del calor residual](#) un exemple a Finlàndia d'un data center que fa servir l'aire de l'exterior per refrigerar les seves màquines. Aquesta idea, malgrat ser molt convenient, no és sempre possible portar-la a terme. En aquesta secció parlarem de qüestions que cal tenir en consideració per implementar aquest concepte de *free-air cooling* a un data center i veurem algunes tecnologies que ho fan possible.

Com un segurament ja s'imaginava, la refrigeració natural requereix de quelcom més enllà de posar algunes finestres addicionals al data center. Com hem discutit a l'apartat anterior, la humitat també és un paràmetre important a tenir en compte (a vegades més fins i tot que la pròpia temperatura). Per tant, inclús si l'aire de l'exterior del data center es troba a una temperatura adequada per refrigerar els seus servidors, aquest s'ha de tractar per garantir, almenys, que la humitat està en un nivell adequat, i s'ha de filtrar per atrapar les partícules que podrien causar problemes en les màquines.

El sistema de refrigeració lliure (*free-air cooling system*) més simple que existeix aspira aire de l'exterior a través de filtres per eliminar les micro-partícules de l'ambient. El sistema mesura el nivell d'humitat i l'ajusta mitjançant un procés de secat o agregant petites quantitats d'humitat adicional, segons sigui el cas. L'ús principal de la refrigeració per aire lliure tendeix a girar entorn a l'ús d'economitzadors² (*economizers*), que fan servir sistemes líquids o basats en aire per proporcionar un sistema relativament tancat.

Un *water-side economizer* utilitza una [torre d'evaporació](#) per proporcionar el refredament necessari per a un circuit de rebuig de calor, mentre que un *air-side economizer* utilitza conductes, filtres i amortidors per permetre que l'aire tractat i filtrat entri al centre de dades en la quantitat que sigui necessària.

Aquests sistemes poden reduir els requisits energètics entre un 30% i un 60% en comparació amb les unitats CRAC estàndard (*Computer room air conditioner*) [12], però la seva eficàcia general pot dependre molt, lògicament, de la temperatura externa del CPD. És per això que aquesta idea generalment s'aplica a països freds o, en el millor dels casos, zones de clima temperades, ja que si la temperatura exterior és massa alta, aquest aire que es captura també requerirà d'un procés de refredament, desbaratant la idea del *free-air cooling*. Altre enfocament de refrigeració natural són les rodes de Kyoto (*KyotoCells*). L'empresa que les fabrica (KyotoCooling International) utilitza quatre seccions per aconseguir que només petites quantitats d'aire extern entrin al sistema (menys del 4% per revolució de la roda), minimitzant així la necessitat de filtrat i control d'humitat i, per tant, augmentant l'eficiència energètica global del sistema. La roda d'intercanvi de calor, feta de metall corugat enrotllat, gira a través de cada secció. L'aire calent del centre entra en una secció, transfereix el seu calor a la roda i després surt com a aire fred per a ser novament utilitzat al data center a través de la següent secció. L'aire exterior fred entra en la tercera secció, extreu el calor de la roda i torna a sortir a l'exterior a través de la quarta secció (veure la [Figura 12](#) per poder seguir el camí de l'aire).

Novament, les temperatures externes són un problema, però gràcies a que les àrees de les superfícies involucrades en aquest mecanisme d'intercanvi de calor són petites, es requereix de menys refredament en comparació amb l'ús de refredament directe o d'altres sistemes de *free-air-cooling*.

² Dispositiu mecànic bescanviador de calor que pretèn reduir el consum d'energia, o dur a terme una altra funció pràctica, com el preescalfament d'un fluid

Aquesta tecnologia s'ha instal·lat exitosament a una gran quantitat de centres de dades. Per exemple, al data center de HP de Mississauga, Canadà, l'ús de rodes de Kyoto els hi permet estalviar el 96% de les despeses de refredament, un total d'uns 29.4 milions de kWh anuals, i aproximadament 17.8 mil tonelades de CO₂ anuals [13].

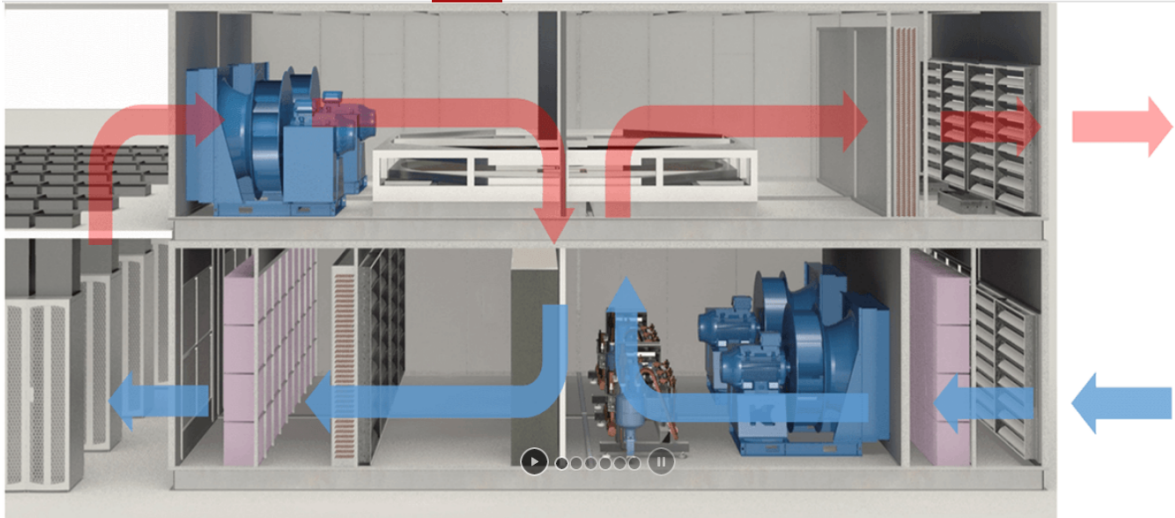


Figura 12: Diagrama del funcionament de la roda de Kyoto. Font: [KyotoCooling](#)



Figura 13: Data center de HP a Streetsville, Canadà. El PUE del centre era de 1.09 al 2015

IA per reduir el consum dels Data Centers

Moltes grans empreses porten anys experimentant amb IA en els seus data centers per millorar l'eficiència de les seves instal·lacions. Com sabem, aquestes instal·lacions són composicions extremadament complexes de gran quantitat de maquinari i programari, que treballen conjuntament i estan subjectes a diferents càrregues de treball dels usuaris al llarg del dia. La idea d'utilitzar IA és aprofitar que les màquines són molt adequades per recollir, analitzar i actuar sobre l'enorme quantitat d'informació generada per les tasques de processament del centre de dades del dia a dia (o, al menys, molt més que les persones).

En aquesta secció comentarem el cas d'aplicació exitosa de tècniques de Machine Learning de la divisió DeepMind als *hypervisors data centers* de Google, tot seguint l'article publicat al respecte al 2016 per part de R. Evans i Jim Gao, dos neurocientífics de DeepMind [14].

L'enfocament del seu treball es basa, sobretot, en l'aplicació d'anàlisis estadístics mitjançant xarxes neuronals per estudiar com subministrar adequadament la quantitat de refrigeració requerida al llarg d'un dia, basant-se, en part, en una predicció de l'activitat dels servidors a cada hora del dia.

Seguint el discurs dels autors, hi ha tres raons essencials pels quals és difícil aconseguir subministrat una refrigeració òptima en un entorn dinàmic, com el d'un centre de dades:

1. L'equipament del data center, la forma en la qual fem servir aquest equipament i l'entorn (ambient) són tres elements que *interactuen* entre si de forma complexa, generalment no lineal, de manera que l'enginyeria tradicional i la perspectiva "humana" (intuitiva) no acostuma a captar adequadament aquestes interaccions.
2. Generalment, els sistemes no poden adaptar-se ràpidament a canvis interns o externs (com el clima), ja que no podem establir regles i heurístiques per a tots els escenaris operatius possibles dels nostres centres de dades.
3. Cada data center té una arquitectura i un entorn particular. Per tant, un model dissenyat per a un sistema no té perquè ser adequat per a un altre, de forma que es fa visible la necessitat d'un marc "d'intel·ligència general" per tal d'entendre les interaccions del centre de dades.

Per tal d'esquivar aquests problemes, els enginyers de Google i DeepMind van començar a aplicar, des de 2014, tècniques d'aprenentatge automàtic a un dels seus grans data centers per construir un sistema de xarxes neuronals entrenat en diversos escenaris i amb diferents paràmetres operatius recollits a través de les dades històriques que ja havien estat recopilades per milers de sensors del CPD (dades com ara temperatura, potència, velocitat de la bomba d'aigua, etc). D'aquesta manera, han aconseguit crear un marc més eficient i adaptatiu per entendre la dinàmica del centre de dades i optimitzar l'eficiència. Dues de les prediccions més destacables que obtenen amb aquestes tècniques són la temperatura i la pressió futures del centre de dades durant la propera hora. Amb tota aquesta informació són capaços d'automatitzar la presa de decisions sobre la quantitat òptima de recursos que cal destinar a qüestions com, per exemple, la refrigeració de les màquines del centre.

Els resultats obtinguts per Google han estat tot un èxit. La següent figura mostra el PUE del data center en un dia típic de proves, que inclou el moment en el que activen les reco-

manacions d'aprenentatge automàtic i el moment en el qual les desactiven. Podem veure clarament que l'eficiència energètica augmenta notablement quan s'utilitza el ML.

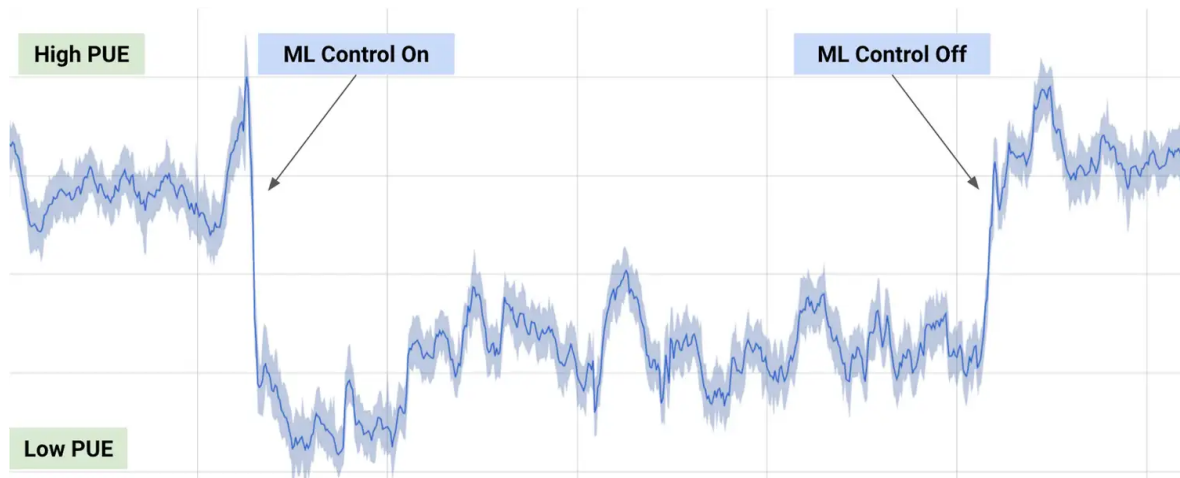


Figura 14: Mesura del PUE en un dia típic de proves en el centre de dades de l'estudi de Google [14]

Els sistema d'aprenentatge automàtic de Google va aconseguir una reducció constant del 40% de l'energia total que s'utilitza per al *cooling*, el que va suposar una disminució del 15% del PUE del data center, assolint la xifra més baixa de PUE que s'havia aconseguit mai fins aquell moment: 1.06!

Gràcies a la versatilitat de l'algoritme desenvolupat en aquell treball, Google ha aconseguit aplicar-ho a tots els seus centres de dades, el que ha contribuït, en gran mesura, a una progressiva reducció del PUE de tots els seus data centers (veure Figura 15), aconseguint un valor actual de 1.1 a gran escala. A més a més, el marc general per entendre dinàmiques complexes que han aconseguit crear obre la possibilitat d'aplicar aquesta tecnologia a altres sectors més enllà dels centres de dades com, per exemple, en la millora de l'eficiència de conversió de les centrals elèctriques, la reducció d'energia i aigua en la fabricació de semiconductors o l'augment del rendiment de les instal·lacions industrials.

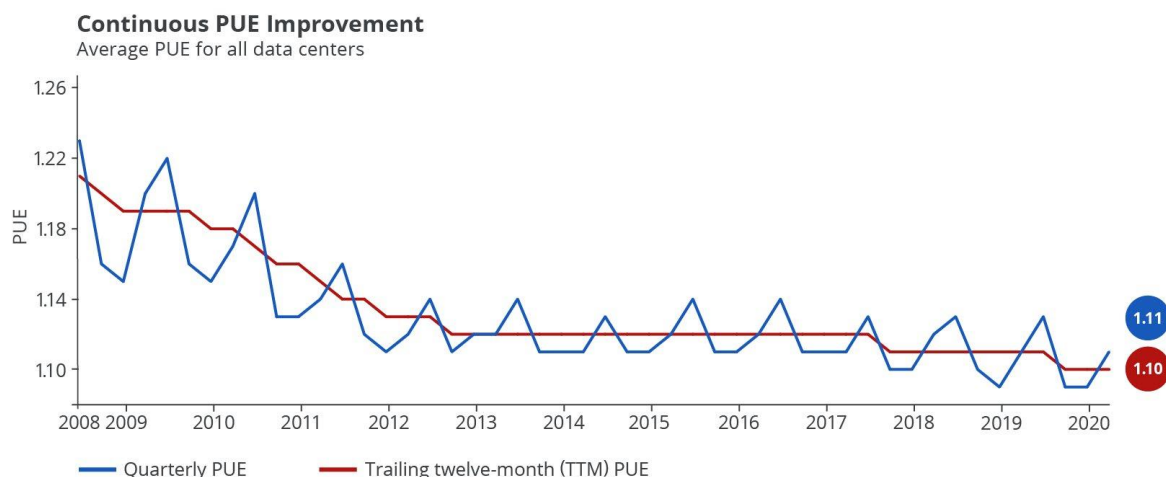


Figura 15: Evolució del PUE de tots els centres de dades de Google a gran escala [15]

Bibliografia

- [1] Caroline Donnelly: *"Focus Green datacenter"*, ComputerWeekly, 2017
- [2] Anders S.G. Andrae: *"Total Consumer Power Consumption Forecast"*, Nordic Digital Business Summit, 2017
- [3] Shehabi, Arman, Et Al. *"United States Data Center Energy Usage Report"*, Lawrence Berkeley National Lab, 2017
- [4] Bill Kleyman: *"Hypervisor 101: Understanding Server Virtualization"*, 2018
- [5] IBM Cloud Education: *"Hypervisors"*, 2019
- [6] P. Reddy Padala: *"Virtualization of Data Centers: study on Server Energy Consumption Performance"*, Master thesis for the degree of Science in Telecommunication System, Blekinge Institute of Technology, 2018
- [7] Mark Monroe: *"How to Reuse Waste Heat from Data Centers Intelligently"*, 2016
- [8] Data Centre Dynamics Ltd: *"Yandex data center heats Finnish city"*, 2016
- [8] Electronics Cooling: *"Humidity Excursions in Facebook Prineville Data Center"*, 2012
- [9] ASHRAE: *"Thermal guidelines for Data Processing Environments"*, 4^a edició, 2011.
- [10] ASHRAE: *"ASHRAE Handbook—HVAC Systems and Equipment"*, 2012, pp.351-357
- [11] ENERGY STAR: *"Ebay Data Center Retrofits: The Costs and Benefits of Ultrasonic Humidification and Variable Speed Drives"*, 2012
- [12] Clive Longbottom: *"Free-air cooling – using natural cooling in the data center"*, 2011
- [13] KyotoCooling: *"Data Center Cooling: Hewlett-Packard"*, 2015
- [14] R.Evans, J.Gao: *"DeepMind AI Reduces Google Data Centre Cooling Bill by 40%"*, 2016
- [15] *Rendimiento del PUE de los centros de datos de Google*, 2021