

# Optimización del Coste Eléctrico en Computación Sostenible

## Optimization of the Electricity Cost in Sustainable Computing

Esteban Niño 2142608

Karina Sequeda 2152476

Mario Vallejo 2150403

Alfredo Puertas 2150376

Universidad Industrial de

Universidad Industrial de

Santander

Santander

### ABSTRACT

Nowadays one of the problems present in computing, is the electricity cost and the environmental impact that causes the materials with which the technology is created, this is added great concern with which the billing increases every day due to the tax that is applied to these farms of servants because of their overwhelming expulsion of carbon, since these need a high energetic consumption for their constant cooling. One of the strategies being implemented in China is energy saving based on the artificial bee colony (ABC) for Fat Tree.

### RESUMEN

Hoy en día uno de los problemas presentes en la computación, es el costo eléctrico y el impacto ambiental que causa los materiales con los cuales se crea la tecnología, a esto se le suma la gran preocupación con la cual la facturación aumenta cada día más debido al impuesto que se les aplica a estas granjas de servidores a causa de su expulsión abrumadora de carbono, ya que estos necesitan de un alto consumo energético para su enfriamiento constante. Una las estrategias que se está implementando en China es el ahorro de energía basado en la colonia de abejas artificiales (ABC) para Fat Tree.

***Palabras claves:*** *Computación Sostenible, Costo eléctrico, Centro de datos, Energía renovable.*

## I. INTRODUCCIÓN

No es de extrañar que comúnmente se diga que estamos en la era de la información, esto ligado a que el desarrollo casi exponencial de las tecnologías de la información y comunicación (TIC), están directamente relacionadas con la llamada revolución digital (también llamada tercera revolución industrial) que produjo el cambio de las tecnologías mecánica, eléctrica y análoga por la tecnología digital (desde alrededor de 1980) que prevalece hasta el presente.

La expansión de Internet y su accesibilidad, de la mano con la disminución en el coste de los dispositivos de almacenamiento y la mayor capacidad de estos propiciaron el crecimiento de las TIC, y con estas la cantidad y el volumen de datos que se podía capturar de las personas y las actividades que desarrollan, esto a su vez ha requerido la implementación de algoritmos y equipos más especializados en el área, pero con el crecimiento casi exponencial, esta se ha hecho una tarea demasiado compleja para las empresas, que con el tiempo han optado por relegar estas labores a otras empresas especializadas, lo que con el tiempo dio origen a los centros de datos (CPD).

El inminente desarrollo de la economía digital ha hecho necesarios los centros de datos, así como el aumento de su número para almacenar y procesar cosas en la nube y el internet de las cosas [14]. El desarrollo de sistemas eficientes y sostenibles para suplir dichas exigencias se ha vuelto unas de las principales preocupaciones de la ingeniería de la mano con el compromiso de infraestructuras IT responsables con el medio ambiente. La expansión de los centros de datos (CPD) ha llegado de la mano con un aumento en la cantidad de energía que estos requieren, esto a nivel global. Por dar un ejemplo, solo el centro de datos de Google en Hamina tiene un consumo de 100 MW [15], lo que equivale a aproximadamente una octava parte del consumo eléctrico de la Ciudad del Vaticano.

## II. ESTADO DEL ARTE

Debido a esta creciente preocupación diferentes compañías han desarrollado técnicas para combatir esta problemática. Un proyecto de investigación europeo, denominado “Repara” y coordinado por la Universidad Carlos III de Madrid (UC3M), estudia cómo mejorar las aplicaciones informáticas de computación en paralelo para aumentar su rendimiento, eficiencia energética y facilitar la programación y mantenimiento del código fuente, el objetivo del proyecto es poner a disposición de los usuarios los beneficios energéticos y de rendimiento de estos sistemas informáticos sin el enorme esfuerzo de desarrollo que conllevan este tipo de arquitecturas complejas. En el caso de “Repara”, cuya denominación puede interpretarse como *Refactoring for Parallelism* en alusión a la utilización de técnicas de refactorización en la computación en paralelo, los científicos tratan de mejorar tres propiedades fundamentales: el rendimiento de las aplicaciones (ayudando a incrementar su velocidad de ejecución), la eficiencia energética (reduciendo su consumo energético) y la facilidad de mantenimiento y modificación del código fuente. Por otro lado, IBM afirma haber reducido sus emisiones de CO<sub>2</sub> en 45 % y compra anualmente más de 450 millones de kilovatios en certificados de energía renovable además de promover un enfoque de reducción del consumo de energía mediante software para el control de centros de datos.

Hay tendencias en auge que podrían tener un impacto serio en el consumo de energía en el planeta en los próximos años; la virtualización es uno de ellos, y consiste en instalar varios sistemas operativos en un servidor de tal manera que se emulan por software varias máquinas sobre el hardware de una sola. Este

enfoque ha ganado gran popularidad porque optimiza el uso de los recursos de hardware y reduce notablemente el consumo de energía

Los algoritmos también se pueden usar para direccionar datos a centros de datos donde la electricidad es menos costosa. Investigadores del MIT, la Universidad Carnegie Mellon y Akamai han probado un algoritmo de asignación de energía que enruta con éxito el tráfico a la ubicación con los costos de energía más baratos. Los investigadores proyectan hasta un 40 por ciento de ahorro en costos de energía si se implementara su algoritmo propuesto. Sin embargo, este enfoque en realidad no reduce la cantidad de energía utilizada; reduce solo el costo para la compañía que lo usa. No obstante, se podría utilizar una estrategia similar para dirigir el tráfico para depender de la energía que se produce de una manera más ecológica o eficiente, también, se ha utilizado un enfoque similar para reducir el uso de energía al desviar el tráfico de los centros de datos que experimentan un clima cálido.

### III. MARCO TEÓRICO

**Costo eléctrico:** Es la cantidad de energía demandada por un determinado punto de suministro durante un plazo de tiempo determinado [12]. El consumo o energía consumida en los aparatos eléctricos se calcula así: Consumo (energía consumida) = Potencia \* tiempo [11].

**Centro de datos sostenibles:** se pueden definir como tres infraestructuras paralelas: Las propias tecnologías de la información (TI), sistema eléctrico de alimentación y sistema de refrigeración. Los tres sistemas deben ser totalmente compatibles, armonizados y optimizados. Algunos son de apenas 200 m<sup>2</sup>, pero otros pueden ser superiores a los 14,0000 m<sup>2</sup>, equivalente a la superficie de 15 campos de fútbol. Éstos se componen de dos tipos de infraestructura [16]:

- **TI:** Servidores, discos duros de almacenamiento y conmutadores de red para interconectar los equipos informáticos. En estas infraestructuras es donde se realiza la función principal del CPD y donde se entregan los servicios. Aquí es donde se ejecuta una gran variedad de software, virtualización, bases de datos, hospedaje de webs, sistemas operativos y las famosas nubes [16].
- **Energía:** Los sistemas eléctricos y refrigeración están al servicio de lo anterior, para asegurar el correcto funcionamiento de la principal función de los CPDs, que es mantener los datos disponibles de forma inmediata [16].

**Computación sostenible:** Conjunto de principios que abarca una variedad de políticas, procedimientos, programas y actitudes que se extienden a lo largo y ancho de cualquier uso de las tecnologías de la información. Es un enfoque de administración del ciclo de vida para la implementación de TI en nuestra organización. El concepto de computación sostenible considera el costo total de propiedad, el impacto ambiental total y el beneficio total de los sistemas de tecnología [13].

**Estrategias interesantes e implementadas:** Con el desarrollo del centro de datos en todo el mundo, su consumo de energía se convierte en un problema cada vez más urgente, y emerge el centro de datos verde (GDC). La mayoría de los centros de datos modernos se operan en términos de carga máxima, con escalas

grandes. Sin embargo, muchos servidores y dispositivos de red están inactivos o cargados durante un tiempo prolongado, lo que provoca un desperdicio de energía. Por lo tanto, es necesario llevar a cabo el ahorro de energía en GDC. El trabajo estudió la optimización del consumo de energía de los interruptores, proponiendo una estrategia de ahorro de energía basada en la colonia de abejas artificiales (ABC) para Fat Tree. Los resultados de la simulación mostraron que el algoritmo propuesto tiene buenos efectos sobre el ahorro de energía y el tiempo de finalización en el tráfico grande y pequeño, lo que encarna la superioridad y la eficacia del algoritmo, con estas técnicas y muchas más es que desde la informática se está aportando al desarrollo sostenible de la computación.

#### IV. MODELO DE TASA DE EMISIÓN DE CARBONO Y COSTO DE ELECTRICIDAD

El centro de datos sostenible extrae energía simultáneamente de la red eléctrica de servicios públicos y su planta de energía eólica en el sitio. Para calcular la emisión total de carbono del centro de datos, necesitamos obtener la tasa de emisión de carbono de cada tipo de electricidad. Para estimar la tasa de emisión de carbono variable en el tiempo de la electricidad de la empresa de servicios públicos, utilizamos los datos de generación de electricidad del sitio web de CAISO [1], donde podemos obtener el desglose por hora de la electricidad de la empresa de servicios por tipo de recurso. Además, la tasa de emisión de carbono del tipo de recurso se da en la Tabla 1 de acuerdo con la literatura previa [2], [3]. Por lo tanto, al sumar la contribución ponderada de cada tipo de combustible, podemos calcular la tasa de emisión de carbono de la electricidad de la empresa de servicios públicos en el intervalo de tiempo  $t$  de la siguiente manera:

$$C_b(t) = \frac{\sum e_k(t) \cdot c_k}{\sum e_k(t)}$$

donde  $e_k(t)$  representa la cantidad de electricidad generada del tipo de recurso  $k$  en el intervalo de tiempo  $t$ . Además, usamos  $c_w$  para denotar la tasa de emisión de carbono de la energía eólica en el sitio y el valor también se puede encontrar en la tabla 1.

Resource type	Nuclear	Thermal	Hydro	Imports	Wind
$CO_2$ (g/kWh)	15	797	13.5	562	22.5

Tabla 1 (Tasa de emisión de Carbono en diferentes tipos de fuentes)

Modelo de costo de electricidad:

En el intervalo de tiempo  $t$ , para garantizar las limitaciones de rendimiento, Los servidores  $m_u(t)$  se encienden para procesar el retraso cargas de trabajo confidenciales mientras los servidores  $m_p(t)$  están activos para retrasar las cargas de trabajo tolerantes. Por simplicidad, el poder de ejecución consumo de cada servidor activo para retrasar las cargas de trabajo sensibles y las cargas de trabajo tolerantes al retraso se denotan respectivamente como  $PO_U$  y  $PO_d$ . Por lo tanto, el poder extraído de la utilidad red eléctrica  $PB(t)$  y la energía extraída del sitio la planta de energía eólica  $PW(t)$  debería satisfacer eso:

$$PB(t) + PW(t) = [m_u(t) \cdot PO_u + m_d(t) \cdot PO_d] \cdot PUE,$$

$$0 \leq PB(t) \leq PB_{max},$$

$$0 \leq PW(t) \leq PW_{avail}(t),$$

donde  $PUE$  es la eficacia del uso de energía del centro de datos,  $PB_{max}$  es la potencia máxima que se puede extraer de la utilidad cuadrícula en cualquier intervalo de tiempo, y  $PW_{avail}(t)$  es el viento máximo la energía se puede extraer de la planta de energía eólica en el sitio en intervalo de tiempo  $t$ . Para calcular las facturas de electricidad del centro de datos Utilizamos  $P_r B(t)$  para indicar el precio de electricidad al por mayor en intervalo de tiempo  $t$ , y suponga que el precio de la electricidad en el sitio la energía eólica es gratuita después de trabajos anteriores como [4] y [3]. Por lo tanto, la electricidad factura a  $COST_e(t)$  de los datos centro en el intervalo de tiempo  $t$  se puede calcular como:

$$COST_e(t) = PB(t) * P_r B(t)$$

Además, para calcular el impuesto al carbono de los datos centro, usamos CT para denotar el impuesto sobre el carbono emisión del centro de datos. Como la tasa de emisión de carbono de la electricidad de la red pública en el intervalo de tiempo  $t$  es  $C_b(t)$  y el carbono. La tasa de emisión de la energía eólica en el sitio es  $C_w$ , y el total de la emisión de carbono del centro de datos se puede calcular a través de multiplicando la cantidad de cada tipo de electricidad consumida en el centro de datos por la tasa de emisión de carbono de cada tipo de electricidad, el impuesto al carbono  $COST_c(t)$  del centro de datos en el intervalo de tiempo  $t$  se puede calcular como:

$$COST_c(t) = CT * [PB(t) * C_b(t) + PW(t) * C_w]$$

Finalmente, podemos obtener el costo de electricidad  $COST(t)$  el centro de datos en el intervalo de tiempo  $t$ .

$$COST(t) = COST_e(t) + COST_c(t)$$

### **Formulación del problema de minimización de costos de electricidad:**

Formulando el problema de minimización de costos de electricidad en esta sección. Específicamente, la función objetivo es el tiempo costo promedio de electricidad del centro de datos. En cada horario  $t$ , las variables de control son el número de servidor activo para retrasar las cargas de trabajo tolerantes  $m_d(t)$ , la potencia extraída de la red eléctrica de servicios públicos  $PB(t)$  y la energía extraída del sitio planta de energía eólica  $PW(t)$ . Se describen las restricciones. En conclusión, el problema de minimización del costo de la electricidad. Finalmente se formulan de la siguiente manera: donde el número de servidor activo  $m_u(t)$  para el retraso sensible y el  $Q_d(t)$ , de la cartera de pedidos de cola para las cargas de trabajo tolerantes al retraso el intervalo de tiempo  $t$ . Como las cargas de trabajo del usuario, precio de la electricidad, producción de energía eólica in situ y carbono la tasa de emisión varía en el tiempo y es difícil de precisar predecir, es extremadamente difícil diseñar un sitio en línea algoritmo de programación de carga de trabajo para minimizar el tiempo promedio costo de electricidad sujeto a todas las restricciones (9b), (9c), (9d), (9e), (9f) y (9g).

$$\min \limsup_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \sum_{t=0}^{T-1} E\{COST(t)\} \quad (9a)$$

$$\text{s.t.} \quad 0 \leq PB(t) \leq PB_{max}, \forall t \quad (9b)$$

$$0 \leq PW(t) \leq PW_{avail}(t), \forall t \quad (9c)$$

$$PB(t) + PW(t) = [m_u(t)PO_u + m_d(t)PO_d] \cdot PUE, \forall t \quad (9d)$$

$$0 \leq m_d(t) \leq M_d, \forall t \quad (9e)$$

$$m_d(t) \in \mathbb{N}, \forall t \quad (9f)$$

$$\limsup_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \sum_{t=0}^{T-1} E\{Q_d(t)\} < \infty. \quad (9g)$$

## V. ALGORITMO Y ANÁLISIS DE DESEMPEÑO

Para resolver el problema desafiante, utilizamos Marco de optimización de Lyapunov [5] para diseñar un en línea Algoritmo de programación de la carga de trabajo Electricidad consciente del carbono minimización de costos. Específicamente, CECM es capaz de hacer decisiones en línea en cada intervalo de tiempo para minimizar la electricidad costo sin ninguna información futura sobre los estados del sistema, mientras se mantiene la restricción de rendimiento especificada de cargas de trabajo tolerantes al retraso.

Para minimizar el costo de electricidad del centro de datos sostenible bajo la restricción de rendimiento especificada de retrasamos las cargas de trabajo tolerantes, diseñamos un algoritmo de programación de cargas de trabajo en línea CECM basado en la optimización de Lyapunov marco [5]. Como se describe en el Algoritmo 1, al comienzo de cada intervalo de tiempo  $t$ , CECM primero observa la acumulación de cola actual  $Q_d(t)$ , y los valores actuales de otros estados del sistema, incluidas las cargas de trabajo del usuario, el precio de la electricidad, la tasa de emisión de carbono y la energía eólica disponible en el sitio. Con estas observaciones, CECM resuelve el problema de programación lineal de enteros mixtos para determinar las decisiones de control  $Q_d(t)$ . Este proceso se repite en cada intervalo de tiempo y, finalmente, CECM puede minimizar el costo de electricidad del centro de datos sostenible sujeto a la restricción de rendimiento deseada de las cargas de trabajo tolerantes al retraso, sin ninguna predicción sobre los futuros estados del sistema.

---

**Algorithm 1.** Carbon-Aware Electricity Cost Minimization (CECM)

---

```
1: Initialize the queue backlog  $Q_d(0) = 0$ .
2: for each time slot  $t = 0, 1, 2, \dots, T - 1$  do
3:   Observe the current queue backlog  $Q_d(t)$  and other
     system states such as the wholesale electricity price
      $PrB(t)$ , available on-site wind power  $PW(t)$  and so on.
4:   Solve the linear programming problem (14) to determine
     the control decisions  $m_d(t)$ ,  $PB(t)$  and  $PW(t)$ .
5:   Update the queue backlog  $Q_d(t)$  according to Eq. (2) and
     the newly determined decision variables.
6: end
```

---

*Figura 1. Pseudocódigo del programa CECM.*

## VI. CONCLUSIONES

El creciente avance y demanda de las TIC, ha llevado al ser humano a la denominada era de la información, era en la cual la humanidad ha prosperado en muchos campos debido al fácil acceso a la información y a la comunicación entre personas de lejanas localidades, esto ha desencadenado un constante progreso en las ciencias y en la tecnología, esta última ha propulsado aún más dicho progreso al brindar mayores capacidades que han ido creciendo con el paso del tiempo hasta convertirse una de las mayores preocupaciones actuales. La digitalización del mundo ha provocado de manera irremediable un incremento exponencial en el consumo de energía destinada a la infraestructura que la soporta a nivel global, enormes centros de tratamiento de datos funcionando las 24 horas del día los 7 días de la semana son comunes en la actualidad lo que ha dado soporte a una expansión casi exponencial de las TIC, como contraparte la cantidad de energía destinada para el funcionamiento de los mismos se ha convertido en una gran parte del consumo energético mundial donde lo más preocupante no es consumo como tal si no el uso que se le da a la energía eléctrica, se podría decir que la investigación e inversión en fuentes alternativas de energía como maneras de optimizar al máximo el consumo de los centros de datos (esto con 2 posibles fines: reducción de las emisiones de gases a la atmosfera y el hecho de producir su propia energía eléctrica) podría ser la solución a esta problemática, sin embargo, la situación es mucho más compleja, se habla de los límites mismos de los materiales y de las tecnologías [17], que si bien pueden suplir las necesidades actuales a la hora de hablar del consumo eléctrico (fuera de estar limitado por presupuesto) de las mismas se tiene una ineficiencia en el uso de la energía, todo esto sin contar los graves impactos sobre el medio ambiente.

## VII. REFERENCIAS

- [1] California ISO, "Daily renewables watch," 2016. [Online]. Available: <http://www.caiso.com/>
- [2] P. X. Gao, A. R. Curtis, B. Wong, and S. Keshav, "It's not easy being green," ACM SIGCOMM Comput. Commun. Rev., vol. 42, no. 4, pp. 211–222, 2012.
- [3] M. A. Islam, S. Ren, and X. Wang, "GreenColo: A novel incentive mechanism for minimizing carbon footprint in colocation data center," in Proc. Int. Green Comput. Conf., 2014, pp. 1–8.
- [4] \_I. Goiri, W. Katsak, K. Le, T. D. Nguyen, and R. Bianchini, "Parasol and GreenSwitch: Managing datacenters powered by renewable energy," ACM SIGARCH Comput. Archit. News, vol. 41, no. 1, pp. 51–64, 2013.
- [5] M. J. Neely, Stochastic Network Optimization with Application to Communication and Queuing Systems, vol. 3, no. 1. San Rafael, CA, USA: Morgan and Claypool, 2010, pp. 1–211.
- [6] <https://www.inacatalog.com/desarrollo-sostenible-y-nuevas-tecnologias/>
- [7] <https://www.agenciasinc.es/Noticias/Avances-hacia-una-computacion-paralela-mas-rapida-eficiente-y-sostenible>
- [8] <https://www.semana.com/vida-moderna/articulo/la-computacion-verde/102381-3>
- [9] [https://en.wikipedia.org/wiki/Green\\_computing](https://en.wikipedia.org/wiki/Green_computing)
- [10] <http://trabajoinformaticafinal.blogspot.com/>
- [11] [http://newton.cnice.mec.es/materiales\\_didacticos/electricidad3E/kwh.htm](http://newton.cnice.mec.es/materiales_didacticos/electricidad3E/kwh.htm)
- [12] <https://tarifaluzhora.es/info/calcular-consumo-electrico-casa>
- [13] <https://computing.fs.cornell.edu/Sustainable/sustainableguide.pdf>
- [14] <https://www.interxion.com/es/blogs/2018/09/osda-un-nuevo-estandar-para-medir-la-sostenibilidad-del-centro-de-datos/>
- [15] <https://tecnonucleous.com/2018/11/22/centros-de-datos-consumo-2-por-ciento-energia-mundial/>
- [16] <https://puentesdigitales.com/2018/02/02/el-reto-de-la-eficiencia-energetica-y-la-sostenibilidad-en-los-centros-de-datos/>
- [17] <https://amazeta.com/dc-9,mas-alla-limites-silicio.html>