



**Instituto Politécnico Nacional**  
"La Técnica al Servicio de la Patria"



**Cinvestav**  
Departamento de Computación

**CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y DE ESTUDIOS  
AVANZADOS  
DEL INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL**

**DEPARTAMENTO DE COMPUTACIÓN**

**Tópicos selectos en Computación Sustentable**

**Cálculo de Power Efficiency (PE) y Energy Poportionality  
(EP) de Spect Power 2008-2022**

**Profesor:**

Dr. Amilcar Meneses Viveros

**Alumno(s):**

León Pineda Moises Omar

Salas Gonzáles Raimer

**FECHA DE ENTREGA: MAYO 2022**

# Índice

<b>1. Introducción</b>	<b>4</b>
<b>2. Objetivos</b>	<b>4</b>
<b>3. Metodología de la práctica</b>	<b>4</b>
3.1. Proporcionalidad energética (Energy proportionality,EP) y Eficiencia energética (Power efficient, PE) . . . . .	4
3.2. Obtención de la base de datos de Spect . . . . .	6
3.3. Método de Romber . . . . .	7
<b>4. Experimentos</b>	<b>8</b>
<b>5. Trabajos Futuros</b>	<b>9</b>
<b>6. Conclusiones</b>	<b>9</b>

# Cálculo de Power Efficiency (PE) y Energy Poportionality (EP) de Spect Power 2008-2022.

Leon Pineda Moises Omar.

Salas Gonzáles Raimer.

Mayo, 2022

## Resumen

Este trabajo de investigación se hace como entrega final de la clase de Tópicos selectos en Computo Sustentable de la maestría en ciencias de la computacion del departamento de Computación del CINVESTAV

El trabajo consiste en calcular la Proporcionalidad energética (EP, por sus siglas en inglés) y de la Eficiencia Energética (PE, por sus siglas en ingles) de una pila de servidores , extrayendo la información proporcionada por el comité SPECpower, el cuál incluye representantes de AMD, Dell, HPE, IBM, Intel, Microsoft y la Universidad de Würzburg desde el año 2008 hasta su último reporte registrado en 2022.

El trabajo abarca un total de más de 800 benchmark de distintos servidores, lo que permite hacer un análisis muy completo de cómo se han ido comportando con el paso del tiempo la computación en este ámbito en particular ya que las bases de datos pueden ser tan detalladas como se deseen.

Se crea un repositorio en Github y se comparte con la sociedad para que diferentes personas con los mismos intereses puedan acceder a este tipo de información y hacer análisis más profundos con los resultados obtenidos

**Palabras clave:** Computo sustentable, Power Efficiency (PE), Energy Poportionality (EP), SPEC-power, CSV, python.

## 1. Introducción

La Standard Performance Evaluation Corporation (SPEC) es una corporación sin fines de lucro formada para establecer, mantener y respaldar puntos de referencia y herramientas estandarizados para evaluar el rendimiento y la eficiencia energética para la última generación de sistemas informáticos. SPEC desarrolla suites de referencia y también revisa y publica los resultados presentados por sus organizaciones miembros, tales como Grupo de rendimiento de estaciones de trabajo y gráficos (GWPG), Grupo de Alto Rendimiento (HPG), Grupo de Normas Internacionales (ISG), Grupo de Sistemas Abiertos (OSG), Grupo de Investigación (RG) y otros licenciarios de referencia. [5]

Aplicando las librerías necesarias para el manejo de bases de datos en formato CSV, se le hace un tratado a los datos que se extrajeron directamente de la página oficial de SPEC mediante el lenguaje de programación "Python", después se obtienen los parámetros requeridos mediante el cálculo de los indicadores aplicando las fórmulas matemáticas revisadas durante el curso.

Por último se hacen propuestas para trabajos futuros y se entregan las conclusiones de este trabajo.

## 2. Objetivos

- Obtener el banco de datos de benchmark de los servidores reportados desde el año 2008 hasta el último reportado en 2022 en SPEC power
- Hacer el cálculo para obtener la Eficiencia energética (PE) de los servidores obtenidos
- Hacer el cálculo para obtener la Proporcionalidad energética (EP) de los servidores obtenidos

## 3. Metodología de la práctica

### 3.1. Proporcionalidad energética (Energy proportionality, EP) y Eficiencia energética (Power efficiency, PE)

Cualquier análisis de tendencia de la proporcionalidad energética requiere una medida de la proporcionalidad energética. Desafortunadamente, no hay consenso sobre qué métrica se debe usar. Como resultado, los estudios anteriores difieren principalmente en la métrica que cada uno usa para cuantificar la proporcionalidad energética. [4] Históricamente, la proporcionalidad de la energía del servidor se ha medido seguro por la diferencia de potencia entre el 0 % del nivel de carga y el nivel de carga al 100 %. En [4] y otras literaturas, además de las clases tomadas en el curso, se le denomina a esta métrica DR (rango dinámico)

$$DR = \frac{P(1) - P(0)}{P(1)}$$

donde  $P(\ell)$  representa el consumo de energía (en vatios) de un servidor en el nivel de carga  $\ell$ ,  $0 \leq \ell \leq 1$ . DR está entre 0 y 1, siendo 1 totalmente proporcional a la energía.

Otra métrica de uso común se llama EP. Como DR, EP está entre 0 y 1, con 1 siendo totalmente proporcional a la energía. A diferencia de DR, EP tiene en cuenta el uso de energía en niveles de carga intermedios:

$$EP = 2 - \frac{\int_0^1 P(\ell) d\ell}{\int_0^1 P_E(\ell) d\ell}$$

donde

$$P_E(\ell) = P(1) \cdot \ell$$

Representa el comportamiento de consumo de energía proporcional del servidor, es decir, el EP de  $PE(\ell)$  es 1. En cambio, algunas métricas miden la desproporcionalidad de la energía. Por ejemplo, la métrica IPR (relación de potencia inactiva a pico, Idle-to-peak Power Ratio por sus siglas en inglés)

$$IPR = \frac{P(0)}{P(1)},$$

también está entre 0 y 1, pero el IPR de  $PE(\ell)$  es 0. De hecho, IPR y DR son duales, es decir,  $IPR + DR = 1$ .

Algunas métricas miden la no linealidad porque la interpretación geométrica de  $PE(\ell)$  es una línea. Por ejemplo, la métrica LD (Linear Deviation) cuantifica la desviación de una función lineal  $PL(\ell)$

$$LD = \frac{\int_0^1 P(\ell) d\ell}{\int_0^1 P_L(\ell) d\ell} - 1$$

donde

$$P_L(\ell) = P(0) + [P(1) - P(0)]\ell$$

representa un comportamiento particular de consumo de energía.

Un servidor se llama energía proporcional superlineal si  $LD > 0$  y energía proporcional sublineal si  $LD < 0$ . Geométricamente, la sublinealidad ocurre cuando la curva  $P(\ell)$  se encuentra debajo de la línea  $PL(\ell)$ . Si el LD de  $PE(\ell)$  es 0, también lo es el de  $PL(\ell)$ . [4]

En clase las ecuaciones que se obtuvieron fueron :

$$\text{Power Efficiency} = \frac{\sum_{k=1}^n \text{performance}_k}{\sum_{k=1}^n \overline{\text{power}_k}}$$

Donde K es el nivel de utilización

$$ER = 2 - \frac{\int_0^1 P(l)dl}{\int_0^1 P_E(l)dl}$$

$$P_E(l) = P(1) \cdot l$$

### 3.2. Obtención de la base de datos de Spect

Esta parte aunque relativamente fue sencilla de realizar, se considera que es una de las más importantes del proyecto, ya que aquí es donde se obtienen las bases de datos que se van a analizar para poder obtener la proporcionalidad y eficiencia energética

- Lo primero que se tiene que hacer es entrar a la pagina oficial de SPEC <https://www.spec.org/>
- Localizar donde se encuentran los benchmark <https://www.spec.org/benchmarks.html>. Si sólo se desea obtener el de un año en específico, simplemente se selecciona y se descarga en el formato que se desee.

#### ¿Qué mide el benchmark?

El punto de referencia presenta una carga de trabajo general que logra el máximo rendimiento de la plataforma cuando se ejecuta un conjunto de cargas de trabajo de aplicaciones en uno o más conjuntos de máquinas virtuales llamadas mosaicos. Escalar la carga de trabajo en el SUT (System Under Test) consiste en ejecutar un número creciente de teselas. El rendimiento máximo es el punto en el que la adición de otro mosaico falla en los criterios de calidad de servicio o no logra mejorar la métrica general.

El objetivo principal de la evaluación comparativa es un método estándar para medir la capacidad de una plataforma de virtualización para modelar un entorno de centro de datos dinámico. Modela el uso moderno típico de la infraestructura virtualizada, como el aprovisionamiento de recursos de máquinas virtuales (VM), el equilibrio de carga entre nodos, incluidas las operaciones de administración, como las migraciones de VM y el encendido/apagado de VM. Su entorno de host múltiple ejerce las operaciones del centro de datos bajo carga. Aprovisiona dinámicamente nuevos mosaicos de carga de trabajo mediante el uso de una plantilla de máquina virtual o el encendido de máquinas virtuales existentes. A medida que la carga alcanza la capacidad máxima del clúster, se agregan hosts y carga adicional al clúster para medir la eficiencia del programador.

### 3.3. Método de Romber

El método de Romberg permite calcular la integral definida utilizando trapecios reduciendo el paso a la mitad por cada iteración y utilizando el resultado anterior.

Llamando  $h_i$  al paso con:

$$h_i = \frac{b-a}{2^{i-1}}, \text{ con } 2^{i-1} \text{ subintervalos}$$

Se calculan aproximaciones a la integral  $R_{i,1}$  de la siguiente manera:

$$R_{1,1} = \frac{b-a}{2} [f(a) + f(b)], \text{ 1 subintervalo, trapecio simple}$$

$$R_{i,1} = \frac{1}{2} \left[ R_{i-1,1} + h_{i-1} \sum_{k=1}^{2^{i-2}} f \left( a + \frac{2k-1}{2} h_{i-1} \right) \right]$$

Donde  $h_{i-1}$  corresponde al paso de la iteración anterior y el argumento de  $f(\cdot)$  corresponde a los puntos nuevos que surgen al dividir el intervalo anterior a la mitad.

Para poder aplicar este método se necesita una cantidad de puntos  $n=3k-2$ , pudiéndose calcular hasta  $R_{k,1}$

Luego, una vez calculadas una serie de iteraciones de Romberg, se puede mejorar la aproximación utilizando la extrapolación de Richardson. Esta consiste en utilizar dos resultados previos en los que el tamaño del subintervalo es la mitad de uno respecto al otro. Generalizando para los resultados de Romberg se obtiene la siguiente expresión:

$$R_{i,j} = \frac{4^{j-1} R_{i,j-1} - R_{i-1,j-1}}{4^{j-1} - 1}$$

Donde  $j = 1$  corresponde a trapecios, es decir, Romberg. [2]

## 4. Experimentos

Se puede acceder al repositorio del proyecto con el siguiente enlace: <https://github.com/MLeon8/Computo-Sustentable.git>

Sin embargo, aunque el código completo se puede observar en: <https://github.com/MLeon8/Computo-Sustentable/blob/main/SpecPowerEP.py>, creemos que es necesario mostrar en el trabajo escrito algunas partes que son fundamentales para la elaboración del código y se muestran a continuación

El código se descarga en un fichero `SpecPowerEP.py`:

Aplicación del método de Romberg a partir de una muestra

```
1 def rombergMethod(values, dx=1):
2     """
3     :param values: valores a evaluar
4     :param dx: espaciado
5     :return: Float
6     """
7     return integrate.romb(y=values, dx=dx)
```

Función para el cálculo de la integral de cualquier función

```
1 def calculateIntegral(x, fx, lower_limit, upper_limit):
2     """
3     :param x: valor en el cual evaluar la función
4     :param fx: función a evaluar
5     :param lower_limit: límite inferior
6     :param upper_limit: límite superior
7     :return: Float
8     """
9     # Se define la integral
10    dx = Integral(fx, (x, lower_limit, upper_limit)).doit()
11    return dx
```

Cálculo de la métrica EP

```
1 def getEnergyProportionality(data):
2     """
3     :param data: consumo de watts del servidor de 0% al 100% de carga de
4     trabajo
5     :return: Integer
6     """
7     peak=data[-1]
8     return 2 - areaUnderCurve(values=data, dx=0.1) /
9     integralProportionalServer(peak=peak)
```

Cálculo de la métrica PE

```
1 def getPowerEfficiency(ssjobs, wattConsume):
```



```
2 sumaPerf=0
3 sumaPower=0
4 powerEficciency=0;
5 for x in ssjobs:
6     sumaPerf+=x
7 for y in wattConsume:
8     sumaPower+=y
9
10 powerEficciency=sumaPerf/sumaPower
11 return powerEficciency
```

Se compila usando python:

```
$ python SpecPowerEP.py
```

Los resultados se pueden apreciar en:

- Formato csv: <https://github.com/MLeon8/Computo-Sustentable/blob/main/Results.csv>
- Formato xls: <https://github.com/MLeon8/Computo-Sustentable/blob/main/Results.xlsx>

## 5. Trabajos Futuros

Una propuesta para tabajos fututos podria ser que con base en los resultados obtenidos se haga un análisis grafico comparando por ejemplo, el mismo servidor pero con los resultados obtenidos en diferentes años ó hacer un comparativo y sacar una relación entre la proporcionalidad energética y la eficiencia energética con respecto al número de nucleos, velocidad de el procesador, temperaturas que manejan, frecuencias, etc. con el fin de hacer un análisis más exhaustivo.

## 6. Conclusiones

- Al concluir este trabajo de investigación se pudieron concretar los objetivos y de este modo se pudo analizar como es que se comportan energéticamente algunos de los servidores más importantes de empresas reconocidas internacionalmente, de este modo se puede hacer una retroalimentación con lo visto en las clases de este curso y quizá además de los trabajos a futuro que ya fueron propuestos, se podria anexar el cálculo de la huella de carbono, ver que tan amigables se está siendo con el medio ambiente y dar propuestas para que quizá la eficiencia energética se mejore.

## Referencias

- [1] Amilcar, M. V. (2022.). Apuntes de la clase de topicos selectos en computo sustentable. *Departamento de Computación- CINVESTAV*.
- [2] de Ingenieria U.N.M.d.P, F. (2007). Método de Romberg y Richardson. Recuperado de: [http://www3.fi.mdp.edu.ar/metodos/apuntes/romberg\\_richardson.pdf](http://www3.fi.mdp.edu.ar/metodos/apuntes/romberg_richardson.pdf). Fecha de consulta: 15/07/2022.
- [3] G. Varsamopoulos, Z. A. and Gupta., S. (Dec 2010). Trends and effects of energy proportionality on server provisioning in data centers. In International Conference on High Performance Computing, /.
- [4] Hsu, C.-H. and Poole, S. W. (<https://doi.org/10.1145/2668930.2688049>). *Measuring Server Energy Proportionality, Chung-Hsing Hsu and Stephen W. Poole, Computer Science and Mathematics Division, Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, Pages 235–240.*
- [5] webmaster@spec.org (2019). Standard performance evaluation corporation. <https://www.spec.org/consortium/>.
- [6] Wong, D. and Annavaram., M. (May/June 2013.). Scaling the energy proportionality wall with knightshift. a. *IEEE Micro*, 33(3):28–37.