

# ***UNIVERSIDAD DE PANAMÁ***

## ***VI JORNADA DE INFORMÁTICA***

***CONFERENCIA: PROCESADORES MULTI-NÚCLEO VS.  
PROCESADORES MONO-NÚCLEO.***

***EXPOSITOR: RAÚL ENRIQUE DUTARI DUTARI.***

***FECHA: 28 DE MAYO DE 2010.***

***HORA: 09:00 A. M.***

***LUGAR: AUDITÓRIUM DEL CENTRO REGIONAL UNIVERSITARIO  
DE VERAGUAS.***

***DIRIGIDA A: PROFESORES UNIVERSITARIOS, PROFESIONALES Y  
ESTUDIANTES QUE PARTICIPARON EN EL EVENTO.***

***DURACIÓN: 60 MINUTOS.***

### ***OBJETIVO GENERAL***

1. Contrastar las prestaciones de los sistemas basados en procesadores multi-núcleo, frente a las que ofrecen los procesadores mono-núcleo.

### ***OBJETIVOS ESPECÍFICOS***

1. Contraponer la paradoja de los procesadores multi - núcleo, frente a la percepción del público en general.
2. Contraponer los mitos y realidades más difundidas acerca del rendimiento de los procesadores multi - núcleo frente a los procesadores mono - núcleo.
3. Plantear las situaciones concretas en las que los procesadores multi - núcleo ofrecen un rendimiento inferior al de los procesadores mono - núcleo.
4. Debatir las limitaciones del rendimiento en los procesadores mono - núcleo.
5. Esquematizar las limitaciones del rendimiento en los procesadores multi - núcleo.
6. Analizar el papel del sistema operativo en el rendimiento de los procesadores mono - núcleo y multi - núcleo.
7. Identificar el papel de las aplicaciones en el rendimiento de los procesadores mono - núcleo y multi - núcleo.

## ***TABLA DE CONTENIDOS***

1.	LA PARADOJA DE LOS PROCESADORES MULTI - NÚCLEO.....	1
2.	ALGO DE TERMINOLOGÍA.....	2
2.1.	PROCESADORES MONO - NÚCLEO.....	2
2.2.	SISTEMAS MULTI – PROCESADOR.....	3
2.3.	PROCESADORES MULTI - NÚCLEO. ....	4
2.4.	PROCESO. ....	5
2.5.	QUANTUM DE RELOJ / CAMBIO DE CONTEXTO.....	6
2.6.	SEUDO PARALELISMO. ....	7
2.7.	PARALELISMO REAL. ....	8
2.8.	HILO O PROCESO LIGERO. ....	9
2.9.	LA LEY DE MOORE. ....	11
3.	LA PROBLEMÁTICA, EN CONCRETO. ....	13
4.	LIMITACIONES DEL RENDIMIENTO EN LOS PROCESADORES MONO – NÚCLEO.....	13

5.	LIMITACIONES DEL RENDIMIENTO EN LOS PROCESADORES MULTI - NÚCLEO. ....	15
6.	EL PAPEL DEL SISTEMA OPERATIVO EN EL RENDIMIENTO DE LOS PROCESADORES MONO - NÚCLEO Y MULTI – NÚCLEO. ....	17
7.	EL PAPEL DE LAS APLICACIONES EN EL RENDIMIENTO DE LOS PROCESADORES MONO - NÚCLEO Y MULTI - NÚCLEO. ....	18
8.	CONCLUSIONES .....	19
9.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	19

## 1. LA PARADOJA DE LOS PROCESADORES MULTI - NÚCLEO.

Los ambientes tecnológicos modernos están acostumbrados a que cada cierto tiempo se incremente, de manera significativa, el rendimiento de las computadoras y sus periféricos.

En tal sentido, uno de los últimos avances más importante de los últimos años ha sido la introducción de las tecnologías que permiten la implementación de procesadores multi - núcleo; sistemas que literalmente *"ponen a trabajar dos o más computadoras donde antes había una única computadora"*.

Sin embargo: ¿es posible que esta sucesión de avances tecnológicos se interrumpa o en algún momento?

O dicho de una forma más puntual: ¿Los procesadores más potentes del mercado pueden provocar que la ejecución de las aplicaciones, se realice de manera más lenta y menos eficiente que en los sistemas tradicionales?

Dependiendo de ciertas circunstancias en las que se desempeñan las aplicaciones y el sistema operativo, conjuntamente con los procesadores, puede darse esta situación.

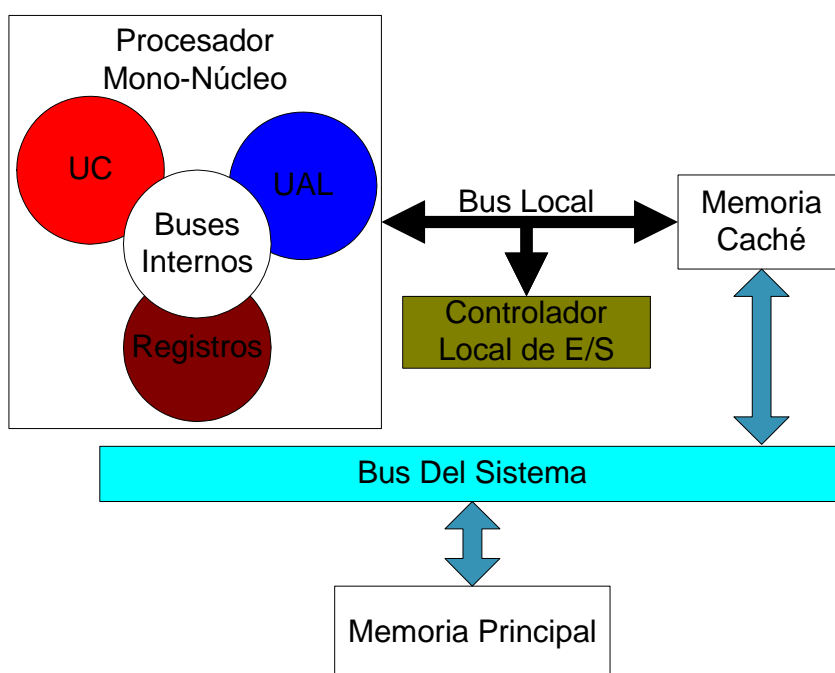
Esta conferencia trata de aclarar algunos de los criterios y parámetros que señalan como y por qué se presenta esta problemática.

## 2. ALGO DE TERMINOLOGÍA.

A continuación, se exponen algunos conceptos sobre teoría de procesamiento, arquitectura de procesadores, administración y planificación de procesos, necesarios para dialogar sobre la problemática antes planteada.

### 2.1. PROCESADORES MONO - NÚCLEO.

Son las unidades centrales de proceso tradicionales, presentes en la mayoría de las computadoras personales. Su arquitectura se expone en la siguiente ilustración [HEPA07].



**Ilustración 1: Arquitectura de un computador con procesador mono - núcleo**

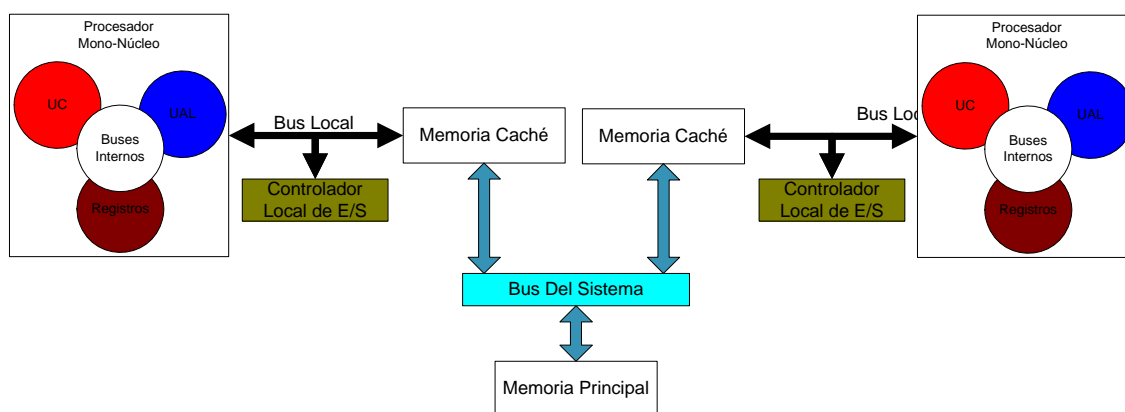
Estos sistemas integran a un procesador convencional con sus respectivas: unidad aritmético lógica – UAL -, unidad de control – UC -, un conjunto de

registros de memoria internos en el procesador y un conjunto de buses internos de alta velocidad.

Adicionalmente, como todo computador tradicional, integra una jerarquía de memoria - caché, de acceso directo, de almacenamiento semipermanente, entre otros casos - así como un sistema de buses que interconectan a todos estos componentes entre sí.

## 2.2. SISTEMAS MULTI – PROCESADOR.

Inicialmente se concibieron como sistemas de alto rendimiento. Sin embargo, su elevado costo y complejidad del diseño impidieron que esta tecnología se difundiera dentro del mercado informático [MUEL10]. La arquitectura básica de este tipo de computador se gráfica en la siguiente ilustración.



**Ilustración 2: Arquitectura de un computador multi - procesador**

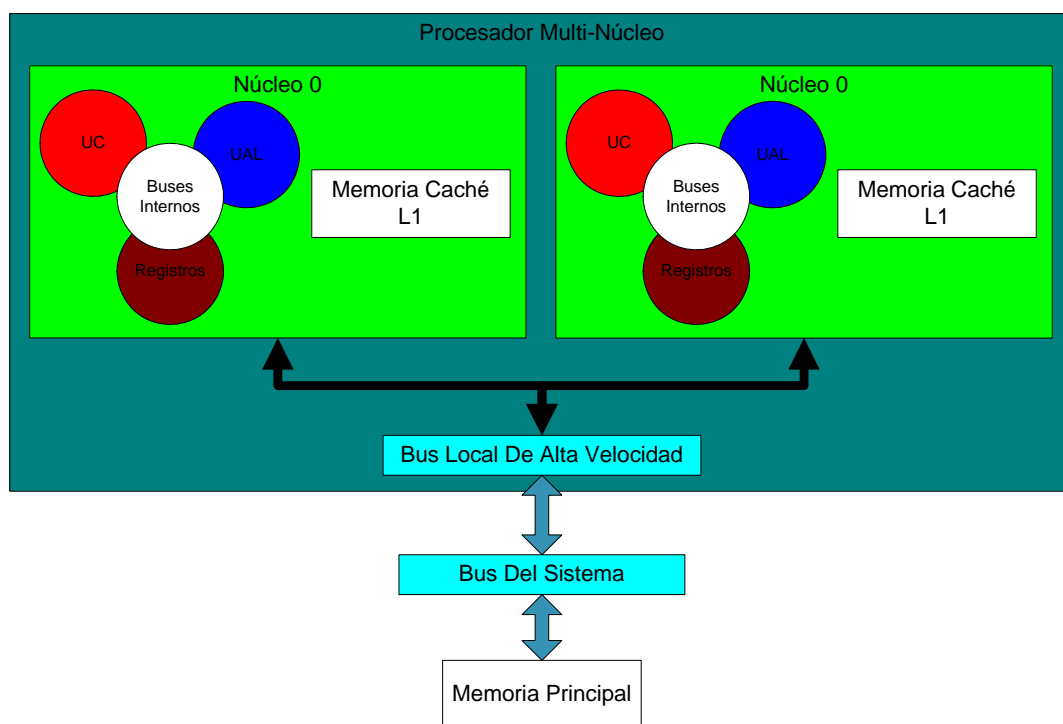
Como se puede observar, en estos sistemas se encuentran dos o más procesadores, cada uno de ellos dotado con su sistema de memoria caché, conectados al bus del sistema principal, compartiendo la memoria principal del sistema y el sistema de entrada salida - que no aparece en el diagrama -.



Su diseño, en su momento, representó todo un desafío para los ingenieros, ya que la planificación y sincronización de procesos se tenía que dar fuera de los procesadores, por lo que la arquitectura del chip set de estos sistemas era sumamente complicada, y en consecuencia costosa.

### 2.3. PROCESADORES MULTI - NÚCLEO.

Este tipo de procesador combina, en un solo encapsulado, dos o más procesadores mono - núcleo completos, cada uno de estos procesadores contendrá hasta su propia memoria de caché nivel 1 - caché L1 –, tal como se puede apreciar en la siguiente ilustración [YUNT09].



**Ilustración 3: Arquitectura de un computador basado en procesadores multi - núcleo**

Generalmente, los procesadores multi - núcleo operan a una frecuencia de funcionamiento menor a la que utilizan los procesadores mono - núcleo, a los que están reemplazando paulatinamente.

La combinación de arquitecturas que presentan estos sistemas fusiona las mejores características de cada uno de los diseños previamente expuestos. De las arquitecturas mono - núcleo, se tomó la simplicidad de diseño, así como la funcionalidad de una arquitectura largamente probada. Por otro lado, las arquitecturas multi - procesador ofrecieron un diseño del sistema de alto rendimiento.

## **2.4. PROCESO.**

En el contexto de los sistemas operativos, se considera a los procesos, programas que se ejecutan dentro del sistema, conjuntamente con sus estados, representados en los llamados Bloques de Control de Programa - PCB -, y que se encuentran en algún estado de ejecución. Difieren de los programas, ya que bajo el mismo contexto, se le considera simplemente como código ejecutable potencialmente, es decir, su código no se encuentra cargado en la memoria del sistema **[STAL98]**.

La ilustración que se muestra continuación, presenta los campos más relevantes que se encuentran en la PCB, así como el diagrama de estados de los procesos.

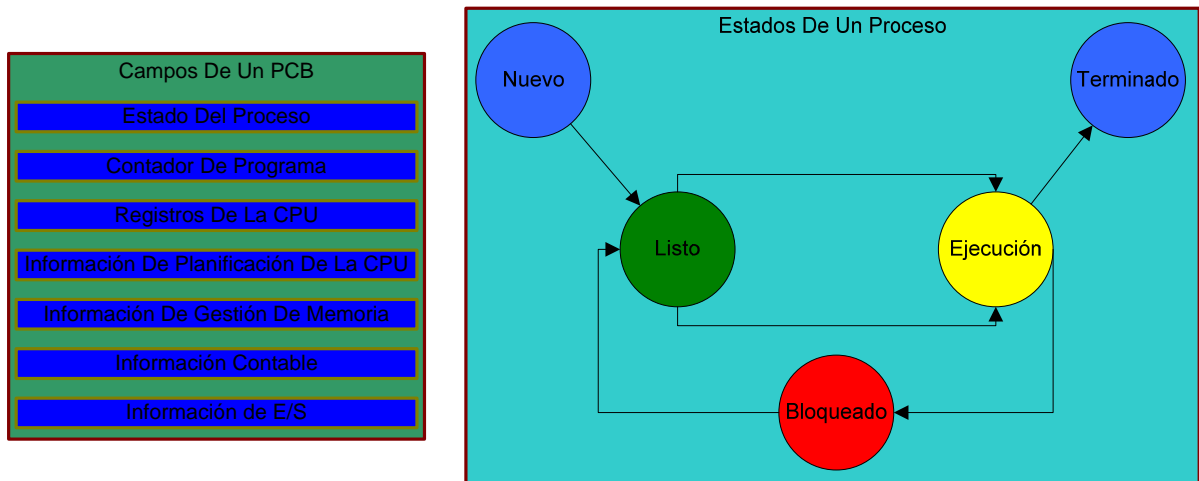


Ilustración 4: Campos de un PCB y diagrama de estados de los procesos

## 2.5. QUANTUM DE RELOJ / CAMBIO DE CONTEXTO.

En el entorno de la sincronización de procesos, se define como el tiempo durante el cual un proceso se mantendrá en el estado "ejecución", es decir es el tiempo asignado a la ejecución de un proceso [SGGA06].

Por otro lado, el cambio de contexto consiste en el tiempo que requiere el sistema operativo a alternar entre procesos. Durante este periodo de tiempo, se realizan una serie de tareas que debe realizar el sistema operativo, y esencialmente son:

1. Se toma la información guardada en los registros de procesador, así como otra información relevante del sistema, y la escribe en la PCB del proceso que será removido del estado "ejecución".
2. Se elimina toda la información correspondiente al proceso saliente del sistema.

3. Se lee toda la información correspondiente al proceso entrante de la memoria caché del sistema y se escribe en los registros del procesador, así como en otras partes relevantes del CPU.
4. El procesador ejecuta las instrucciones recientemente leídas durante el tiempo que tiene asignado a ello por quantum establecido para el proceso entrante.

El cambio de contexto es, definitivamente, una acción muy costosa en términos de rendimiento del sistema, ya que de los cuatro pasos previamente mencionados, los tres primeros corresponden al cambio de contexto entre procesos, en tanto que el cuarto paso corresponde al quantum de reloj establecido.

La ilustración que se muestra continuación, presenta la forma en que se alternan los quantum de reloj para tres procesos, con los cambios de contexto correspondientes.

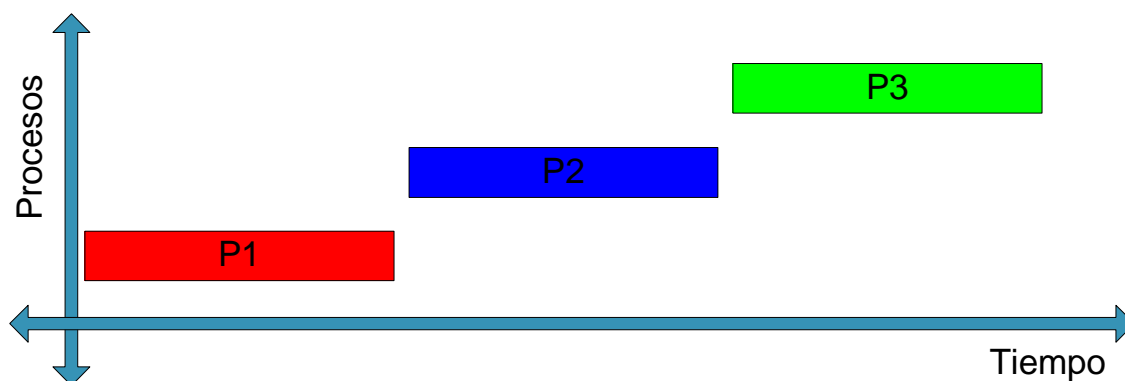


**Ilustración 5: Alternancia de procesos y cambio de contexto**

## **2.6. SEUDO PARALELISMO.**

Consiste en la capacidad de los procesadores, en general, de simular la realización de varias tareas, al mismo tiempo, al permutar entre ellas rápidamente y dedicarle una porción de tiempo de procesador denominada “quantum de reloj” mientras las otras tareas esperan por su turno en ser

atendidos por el procesador, tal como se puede observar en el diagrama mostrado a continuación [STAL98].



**Ilustración 6: Seudo paralelismo de procesos**

El seudo paralelismo es un atributo fundamental a los sistemas operativos modernos, ya que les permite implementar las capacidades multitareas, es decir poder ejecutar varias aplicaciones al mismo tiempo, tal como se puede observar en cualquier computador personal moderno.

Es importante señalar que, independientemente de las capacidades de los procesadores modernos - serán ellos de alto o bajo rendimiento -, todos poseen la capacidad de realizar este tipo de procesamiento.

## **2.7. PARALELISMO REAL.**

Es un atributo exclusivo de los procesadores multi - núcleo, consistente en la capacidad de realizar varias tareas, al mismo tiempo, de manera real, bajo ciertas condiciones [CANC09]. Se considera como sinónimo de concurrencia de tareas. En un mismo quantum de reloj, el procesador completa varias tareas, como se puede observar en la siguiente ilustración.

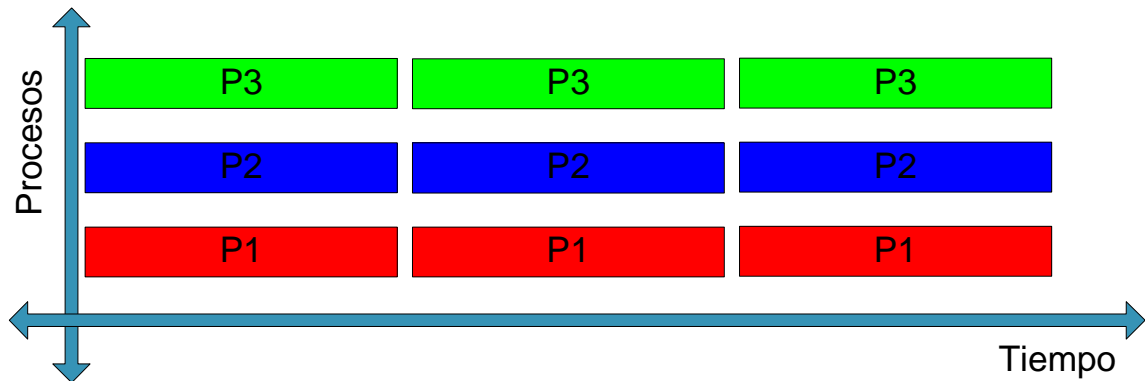


Ilustración 7: Paralelismo real entre procesos

## 2.8. HILO O PROCESO LIGERO.

Se les conoce como procesos ligeros o threads [SGGA06]. Son estructuras de datos creadas, explícitamente, a que compartan casi toda su PCB, entre sí, a diferencia de los procesos, donde cada uno de ellos poseen su propia PCB. La ilustración que se presenta continuación, muestra cómo sería la PC de de un proceso que contiene tres hilos de ejecución.

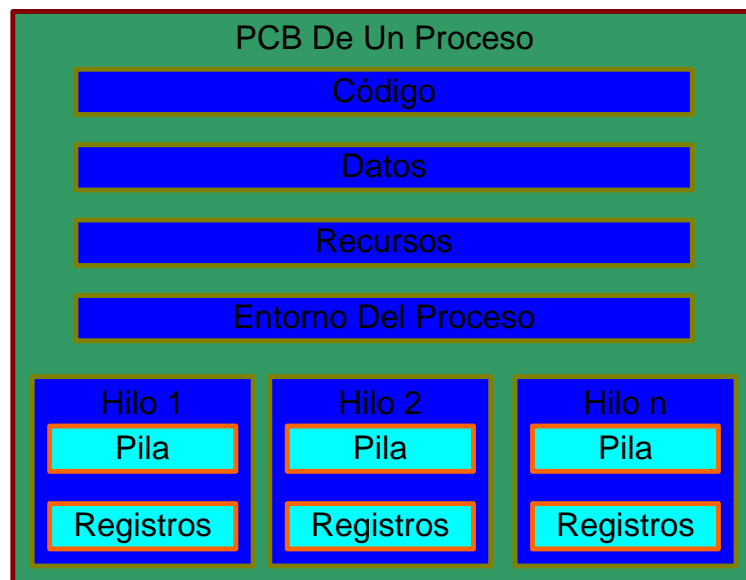
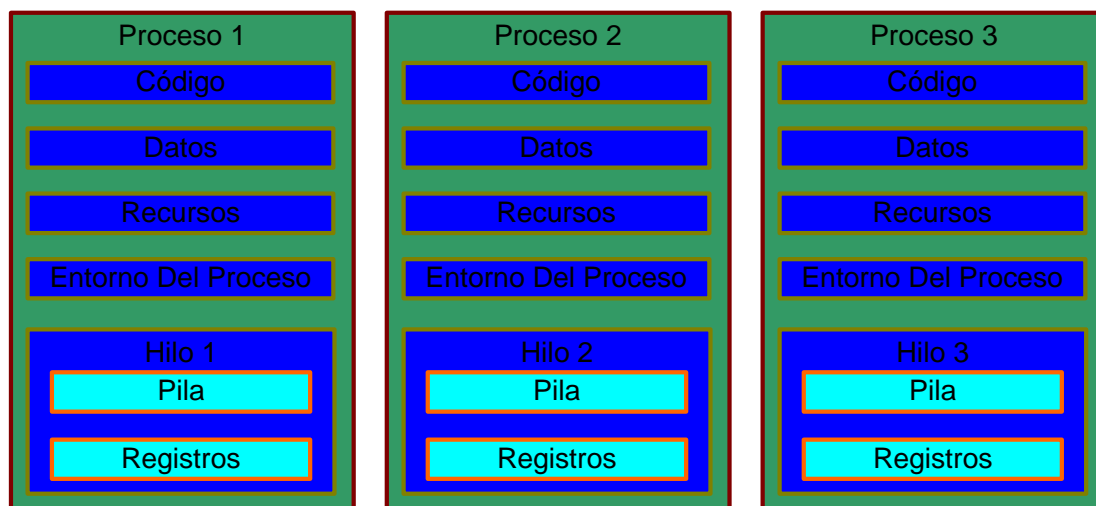


Ilustración 8: PCB de un proceso que posee tres hilos de ejecución

La ejecución de los hilos o procesos ligeros es mucho más eficiente que la de los procesos puros, ya que el alternar entre hilos no requiere de las costosas operaciones de cambio de contexto, que requieren los procesos.

Adicionalmente, los procesos ligeros han sido diseñados a que compartan los recursos del sistema entre sí, en tanto que los procesos compiten por ellos.

La ilustración que se muestra continuación presenta la forma en que se organizan las PCB's de tres procesos independientes. En ella, se puede observar que cada proceso contiene, al menos, a un hilo de ejecución.



**Ilustración 9: PCB's de tres procesos independientes**

Las limitaciones de diseño de los procesadores, tanto mono - núcleo como multi - núcleo, condicionan, dramáticamente, a que el CPU pueda ejecutar los hilos correspondientes a un único proceso en memoria.

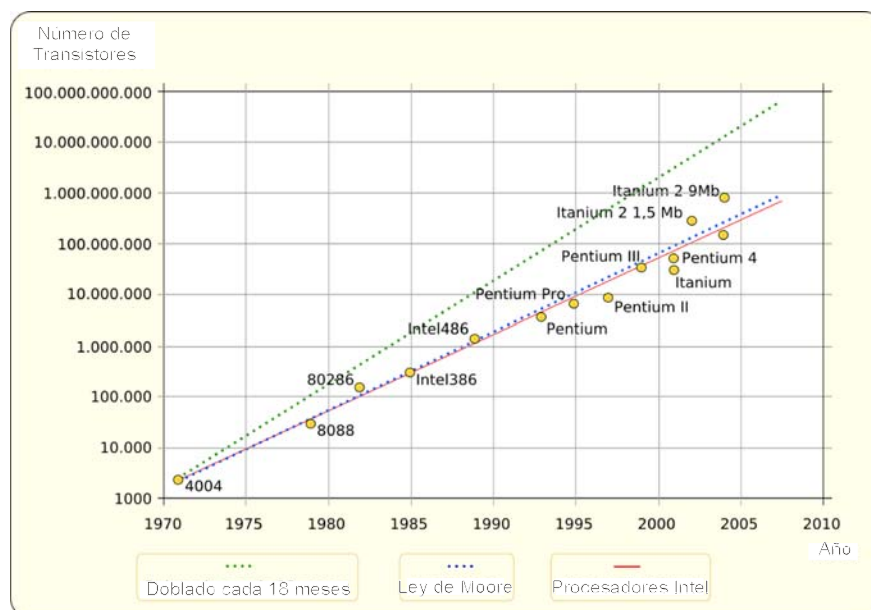
Es decir, cada núcleo de procesamiento de un procesador multi - núcleo debe ejecutar a un hilo perteneciente al proceso que está en ejecución. Entiéndase, cada núcleo de procesamiento de un procesador multi - núcleo no puede

ejecutar a un proceso distinto; puede ejecutar hilos pertenecientes a un único proceso.

## 2.9. LA LEY DE MOORE.

Dentro de la industria de la informática, hay un postulado empírico que se ha estado cumpliendo desde que fue enunciada en 1965 por Gordon Moore. Establece, esencialmente que cada 24 meses se duplica la cantidad de circuitos integrados presentes en un microprocesador **[MOOR65]**. Inicialmente, este enunciado estableció la duplicación de circuitos integrados cada 18 meses, pero fue ajustada posteriormente a los 24 normalmente conocidos.

Aunque no tiene el carácter de una ley científica, en la práctica, la industria de la fabricación de procesadores ha respetado de una forma bastante aproximada a la Ley de Moore – como se le conoce -, tal como se puede apreciar en la siguiente ilustración.



**Ilustración 10: Comportamiento de la Ley de Moore desde 1970 hasta el 2006**



Las consecuencias de la Ley de Moore son sumamente relevantes, porque:

- El costo de un circuito integrado complejo, tal como un procesador, por ejemplo - virtualmente ha permanecido sin cambios significativos durante toda la vigencia de la ley, lo que ha permitido que el costo de la lógica del computador y de sus circuitos de memoria disminuyan dramáticamente, cada cierto tiempo.
- Como los elementos lógicos y de memoria se encuentran a distancias cada vez menores, dentro de chips empaquetados crecientemente densos, la longitud de las rutas eléctricas es recortada, incrementando sus velocidades de operación.
- Adicionalmente, la miniaturización, dentro de ciertos límites, implica una reducción dramática de los requerimientos de enfriamiento y consumo eléctrico de los dispositivos.
- En consecuencia, todos los equipos electrónicos - las computadoras en especial -, se hacen más pequeños, de manera que se amplía la posibilidad de utilizarlos en una amplia gama de ambientes, donde previamente resultaban demasiado voluminosos, calientes o presentaban un consumo eléctrico excesivo, para las posibilidades del ambiente de trabajo.
- Además, la interconexión en los circuitos integrados es mucho más rentable que las conexiones soldadas. Con más circuitería dentro de cada chip, es cada vez menos frecuente la necesidad de interconectar a los chips entre sí, lo que reduce la posibilidad de funcionamiento incorrecto atribuido a conexiones equivocadas.

Sin embargo, actualmente el rendimiento de los últimos procesadores lanzados al mercado, está por debajo de lo que se espera, según la ley de Moore.

### **3. LA PROBLEMÁTICA, EN CONCRETO.**

Hasta hace algún tiempo, la dinámica en el desarrollo de sistemas ha sido la misma: los fabricantes de hardware crean equipos más potentes; en tanto que los fabricantes de software crean sistemas operativos y aplicaciones que demandan más recursos y rendimiento del hardware.

En consecuencia, no hay ganancia real en el rendimiento del sistema, al momento de mejorar simultáneamente el hardware y el software.

Esta ganancia de rendimiento es lo que todos los usuarios buscan al comprar equipo nuevo, lo que desemboca en un círculo vicioso de comprar hardware y software con demasiada frecuencia.

Sin embargo, este círculo vicioso esta llegando al límite de sus posibilidades.

### **4. LIMITACIONES DEL RENDIMIENTO EN LOS PROCESADORES MONO – NÚCLEO.**

Tradicionalmente, los aumentos de las prestaciones en los procesadores se han logrado a costa del incremento de la frecuencia de funcionamiento del reloj del sistema, conjuntamente mejoras en los algoritmos que se integran en la lógica encapsulada, así como el incremento de la densidad de la electrónica, producto de la Ley de Moore [HEPA07].

Sin embargo, el incremento de la velocidad de funcionamiento de los procesadores modernos conlleva problemas importantes de arquitectura, difíciles de resolver, tales como:

- **La disipación del calor generado:** a mayor frecuencia de funcionamiento, mayor será el flujo de energía que se dará a través de los circuitos integrados; este flujo de energía genera calor al desplazarse a través de los elementos conductores y semiconductores que integran de los circuitos integrados y que debe ser disipado, por irradiación, a través de un chip cada vez más pequeño.
- **El consumo energético del sistema:** al igual que en el caso del calor, el incremento de frecuencia de funcionamiento aumentará directamente el consumo energético.
- **Los límites físicos de los componentes micro-electrónicos:** los procesos industriales de miniaturización de componentes electrónicos no pueden ser implementados, indefinidamente, de acuerdo a los patrones que se siguen actualmente.

En pocas palabras, los límites físicos de diseño de los procesadores multi - núcleo se ha visto seriamente limitado en su frecuencia de funcionamiento al punto que no se desarrollaron comercialmente procesadores de más de 3.8GHz, a esta arquitectura.

Por otro lado, las tareas que realiza el procesador, se deben alternar en cada ciclo de procesamiento. Sólo puede hacer una cosa a la vez, por cada núcleo de procesamiento, así que en el sistema mono – núcleo, no hay alternativas: las cosas se realizan de a una a la vez.

Adicionalmente, el cambio de contexto de un proceso a otro puede ser relevante al momento de considerar el rendimiento del sistema, sobre todo en aquellos se encuentran escasos de recursos de procesamiento y de memoria RAM.

## **5. LIMITACIONES DEL RENDIMIENTO EN LOS PROCESADORES MULTI - NÚCLEO.**

Los entornos de programación paralela tiene muchos años de espacio utilizando, en ambientes controlados, a resolver problemas matemáticos de gran complejidad, o para predicciones meteorológicas del clima mundial, con resultados muy satisfactorios.

En consecuencia, se puede pensar, inicialmente, que incrementando la cantidad de núcleos de procesamiento, de manera indiscriminada, se puede resolver el problema del rendimiento de los sistemas.

Sin embargo, existen factores que limitan enormemente la funcionalidad de esta solución **[HEPA07]**:

- **No operan en ambientes controlados:** el ciclo de creación y destrucción de procesos dentro de un computador convencional, ya sea sistema portátil o de mesa, difiere radicalmente del comportamiento de los sistemas donde generalmente ha triunfado la programación paralela pura. Son situaciones distintas: la interacción entre procesos dentro de un computador personal, frente a las solución de sistemas de ecuaciones simultáneas matriciales de gran tamaño utilizando procesamiento paralelo.

- **El consumo eléctrico:** al igual que en el caso de los procesadores mono - núcleo, los procesadores multi - núcleo representan un incremento significativo en el consumo eléctrico del sistema, al aumentar la cantidad de núcleos de procesamiento de manera indiscriminada. Si un sistema mono - núcleo con un procesador consume, por ejemplo, unos 30Vatios, se debe esperar que un sistema basado en dos núcleos de procesamiento consuma arriba de los 60Vatios. Si se extrapola este cálculo, asumiendo un descenso significativo del consumo eléctrico de los núcleo de procesamiento a por ejemplo 15Vatios, elevando la cantidad de núcleos de procesamiento a 16, se llega a la no despreciable cifra de 240Vatios, lo que representa un 80% de la potencia nominal de las fuentes de poder común en los sistemas actuales – 300Vatios -.
- **La sobrecarga por comunicación entre núcleos:** en los sistemas multi - procesador gran parte de su costo se refleja en el rediseño de las tarjetas madre, que debe involucrar sistema de intercomunicación entre los procesadores para que ellos interactúan entre sí eficientemente - generalmente en forma de malla -. Estos sistemas de intercomunicación se han desplazado al interior de los procesadores, en los sistemas multi - núcleo, pero siguen estando presentes. El incremento indiscriminado en los núcleos de procesamiento involucrará un aumento exponencial en la complejidad de la malla de intercomunicación de los procesadores correspondiente. Este factor acabará elevando exageradamente el costo del microprocesador.
- **El espacio físico:** El límite de construcción del silicio ronda los 15-20nm, y los últimos procesadores que se fabrican ya se implementan a 45nm y se están diseñando los procesadores futuros a 32nm, y después: ¿qué? El límite de 3.8GHz de la frecuencia de funcionamiento de los

procesadores mono - núcleo se mantiene vigente también a los demás multi – núcleo.

## **6. EL PAPEL DEL SISTEMA OPERATIVO EN EL RENDIMIENTO DE LOS PROCESADORES MONO - NÚCLEO Y MULTI – NÚCLEO.**

Para explotar adecuadamente el rendimiento de los nuevos procesadores multi - núcleo, el sistema operativo debe ser programado para que aproveche al máximo sus ventajas. En consecuencia **[YUNT09]**:

- Se deben diseñar e implementar de manera concurrente.
- Deben utilizar hilos en lugar de procesos, tanto como sea posible.
- Deben controlar la sobrecarga por eliminación o creación de hilos.
- Tienen que gestionar adecuadamente los desbalances en la asignación de tareas a los núcleos de procesamiento.
- Deben administrar adecuadamente la sobrecarga por comunicación entre los núcleos de procesamiento.
- Deben permitir a los usuarios y administradores la gestión de las prioridades de los procesos que se ejecutan.

La triste realidad es que no todos los sistemas operativos presentan estos atributos, al cómo se ha escrito.

## **7. EL PAPEL DE LAS APLICACIONES EN EL RENDIMIENTO DE LOS PROCESADORES MONO - NÚCLEO Y MULTI - NÚCLEO.**

Aunque los sistemas operativos estén correctamente programados, la ejecución de aplicaciones que no implementan adecuadamente el paradigma de programación concurrente - es decir, que hayan sido programadas estrictamente sin emplear hilos de procesamiento -, puede disminuir significativamente el rendimiento del sistema como un todo **[CANC09]**.

Es decir, los modelos de programación secuencial imperativa - ya sean basados en procedimientos, eventos, u objetos - deben ser superados, a favor de modelos de programación concurrente. Se busca utilizar hilos en lugar de procesos, que son más eficientes.

Por ejemplo, si un proceso se ejecuta en un procesador de cuatro núcleos y consta de un único hilo de ejecución, los cuatro núcleos serán ocupados por dicho proceso; es decir se encontrarán tres núcleos de procesamiento ociosos y un núcleo ocupado con el procesos en sí. Si a esto se le suma la disminución de la frecuencia de funcionamiento de los procesadores multi - núcleo, en la práctica, el sistema funcionará más lentamente que si el proceso se ejecutara en un computador con procesador mono - núcleo.

En cambio, si este mismo proceso fuera reprogramado de manera tal que involucre a cuatro hilos de procesamiento, al ejecutarse en el mismo procesador de cuatro núcleos, mantendrá a los cuatro núcleos de procesamiento ocupados, simultáneamente, lo que representa una ganancia significativa en el rendimiento del sistema.

## 8. CONCLUSIONES

- El crecimiento de la potencia del hardware, no puede correr en paralelo al incremento de los requerimientos de hardware que demandan los Sistemas Operativos y las aplicaciones indefinidamente.
- Bajo ciertas condiciones, no muy difíciles de alcanzar, los procesadores multi - núcleo pueden llegar a ofrecer un rendimiento inferior al esperado, frente a los procesadores mono - núcleo.
- Los procesadores multi - núcleo ofrecen un rendimiento óptimo, superior al de los procesadores mono - núcleo, cuando tanto el sistema operativo como las aplicaciones se diseñan utilizando hilos de procesamiento de manera intensiva, en lugar de procesos.
- Los profesionales de la informática deben dominar correctamente el paradigma de programación concurrente para desarrollar sus aplicaciones y sistema operativos utilizando procesos ligeros o hilos.

## 9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [CANC09]** **CANCINO, Rodolfo Jiménez.** *Análisis Del Impacto De Arquitecturas Multi-Núcleo En Cómputo Paralelo.* Tesina. Instituto Politécnico Nacional, Centro De Investigación Y Desarrollo De Tecnología Digital, México, 2009.
- [HEPA07]** **HENNESSY, John; PATTERSON, David.** *Computer Architecture: A Quantitative Approach.* Cuarta Edición, Morgan Kaufman, EUA, 2007.



- [MOOR65] **MOORE, Gordon E.** *Cramming more components onto integrated circuits.* Electronics Magazine, Volumen 38, Número 8, publicado el 19 de abril de 1965.
- [MUEL10] **MUELLER, Scott.** *Upgrading and Repairing PCs.* Décimo Novena Edición. Pearson Education, EUA, 2010.
- [SGGA06] **SILBERSHATZ, Abraham; GALVIN, Peter Baer; GAGNE, Greg.** *Fundamentos De Sistemas Operativos.* Séptima Edición, McGraw-Hill, España, 2006.
- [STAL06] **STALLINGS, William.** *Organización y Arquitectura de Computadoras. Principios de Estructura y de Funcionamiento.* Séptima Edición, Pearson Prentice-Hall, España, 2006.
- [STAL98] **STALLINGS, William.** *Sistemas Operativos.* Segunda Edición, Pearson Prentice-Hall, España, 1998.
- [YUNT09] **YUNTA, Javier Boba.** *Análisis De Prestaciones De Procesadores Multi-Core y Multi-Thread.* Tesis. Universidad Autónoma De Barcelona, España, 2009.