Arquitectura de Sistemas

Hebras

Gustavo Romero López

Updated: 14 de febrero de 2019

Arquitectura y Tecnología de Computadores

Índice

Lecturas recomendadas

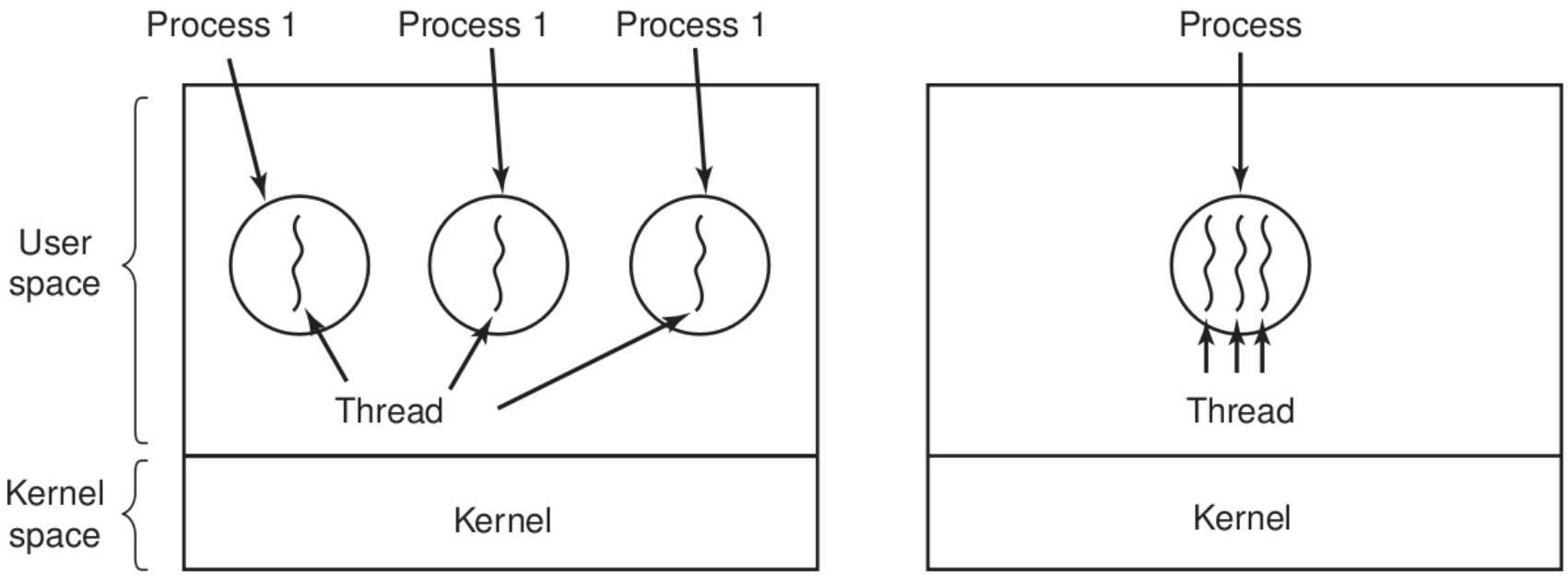
Tanuenbaum	Sistemas Operativos Modernos (2.2)
Silberschatz	Fundamentos de Sistemas Operativos (4)
Stallings	Sistemas Operativos (4)

Definición

- Proceso en un SO *"tradicional"* = espacio de direcciones + hebra de control.
- Proceso = contenedor de recursos + hebra de ejecución.
- Una hebra se ejecuta **dentro** de un proceso.
- Proceso y hebra son conceptos diferentes y suelen ser tratados por separado.
  - La función de un proceso es **agrupar recursos**.
  - Las hebras son **entidades planificables** para su ejecución sobre un procesador.
- Las hebras añaden a los procesos la capacidad de ejecutar varios conjuntos de instrucciones de forma concurrente dentro de un mismo entorno de procesamiento.
- Ejecutar varias hebras en paralelo es parecido a ejecutar varios procesos salvo por que comparten su recursos.
- También se denominan **procesos ligeros** o **subprocesos**.

Comparación proceso/hebra

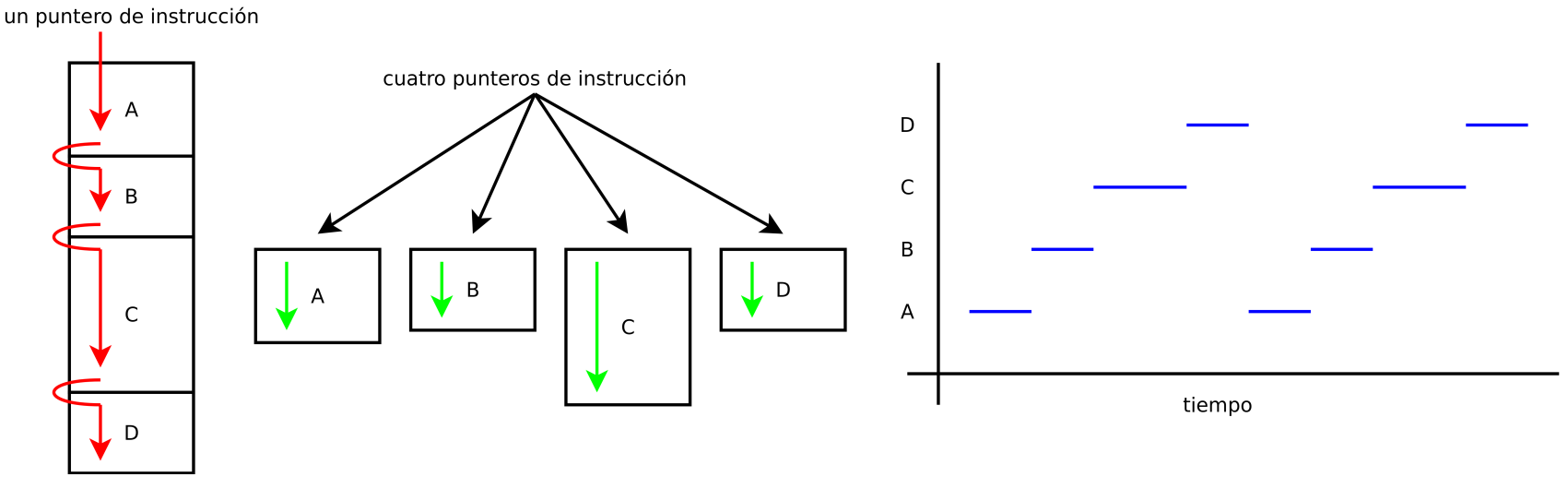
- izquierda: 3 procesos, cada uno de ellos con una hebra.
- derecha: 1 proceso con 3 hebras.



- En ambos casos tenemos 3 hebras.
- En un caso necesitamos 3 PCB y en el otro 1
- En un caso necesitamos 1 TCB y en el otro 3.

Ejecución multihebra

- Multihebra = ejecución **concurrente** de hebras en el interior de un proceso.
  - En un sistema con un único procesador las hebras se **alternan** en el uso del procesador.
  - En un sistema multiprocesador tantas hebras como procesadores podrán ejecutarse en **paralelo**.



Ventajas de la multihebra

- Mejora de rendimiento:
  - Una hebra se crea 10 veces más rápido que un proceso.
  - Las hebras se finalizan antes que los procesos.
  - El cambio de hebra es más rápido que el de procesos.
  - Comunicaciones entre hebras eficientes al margen del núcleo.
- Ejemplos de uso:
  - Trabajo simultáneo en primer y segundo plano, ej: procesador de texto, servidor de ficheros,...
  - Procesamiento asíncrono, ej: copia de seguridad.
  - Velocidad de ejecución: descomposición de problemas y procesamiento paralelo, ej: solapamiento de obtención de datos y cálculo.
  - Modularidad de programas: fácil subdivisión de tareas complejas en otras más simples.

Independencia/Cooperación

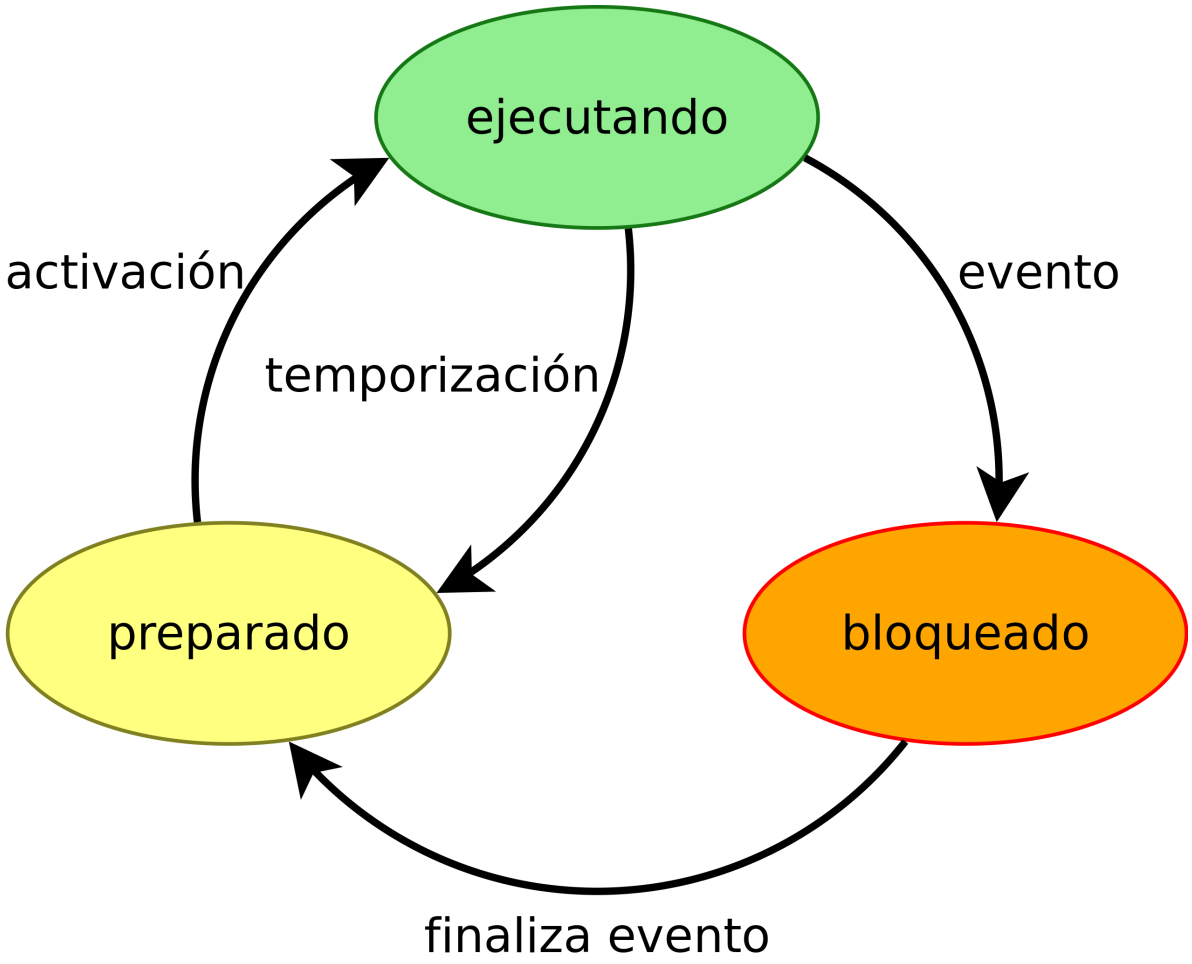
- Las diferentes hebras de un proceso **no** son **independientes** como las que se encuentran en diferentes procesos.
- Todas las hebras **comparten** los mismos **recursos**: espacio de direcciones, variables globales, ficheros abiertos,...
- Una hebra puede **alterar** cualquier parte de otra con la que comparta proceso.
- **No** hay **protección** entre hebras porque...
  - **es imposible**: comparten recursos.
  - **no es necesario**: diferentes procesos pueden pertenecer a diferentes usuarios, en cambio, todas las hebras de un proceso pertenecen al mismo.
- Existe la posibilidad de contar con variables privadas en la zona de datos mediante `Thread Local Storage`.

Recursos necesarios

por proceso	**por hebra**
espacio de direcciones	identificador
variables globales	registros
ficheros abiertos	pila
procesos hijos	estado
alarmas pendientes	datos privados
señales y manejadores de señales	
información contable	
...	

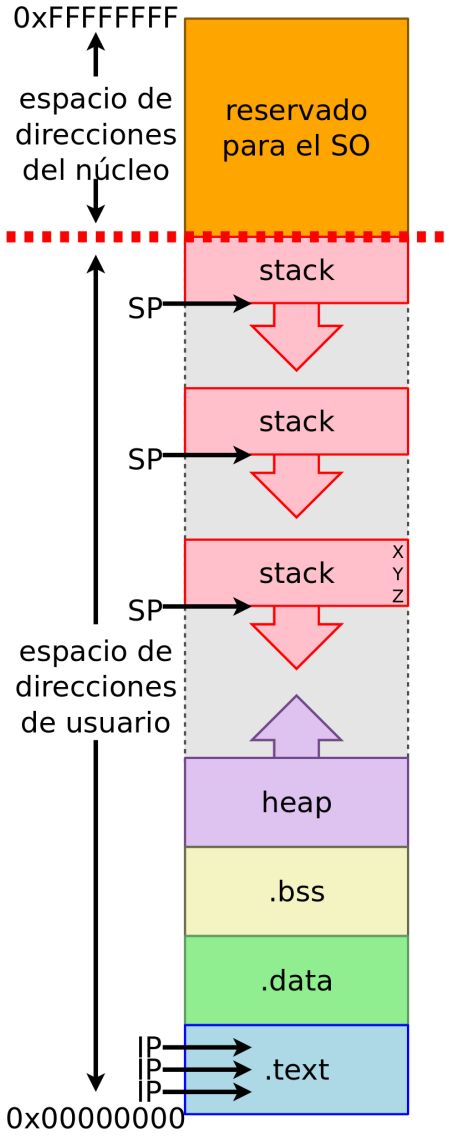
Estado de un hebra

- Al igual que los procesos, una hebra puede pasar por diferentes estados a lo largo de su ejecución.



Espacio de direcciones

- Cada hebra necesita su **propia pila**.
- Una pila contiene un **marco** de pila **por** cada **procedimento** llamado y del que todavía no se ha retornado.
- Si en un hebra ejecutamos el procedimiento `X`, este llama al `Y`, y este llama `Z`, durante la ejecución de `Z` la pila contendrá los marcos de `X`, `Y` y `Z`.



Gestión de hebras

- Para gestionar las hebras, al igual que sucede con los procesos, necesitamos una serie de **llamadas al sistema**.
- Los procesos multihebra comienzan su ejecución con una **única hebra** y crean más en caso de necesitarlas: `pthread_create()`/`std::thread()`.
- Las hebras pueden mantener una relación jerárquica o ser creadas todas iguales.
- Cada hebra suele tener un identificador único.
- Es necesaria un llamada al sistema para terminar con una hebra: `pthread_exit()`/`std::thread::~thread()`.
- Al igual que los procesos, podemos hacer que las hebra sincronicen su funcionamiento: `pthread_join()`/`std::thread::join()`.

Gestión de hebras

- Otra llamada habitual es `thread_yield()` / `std::this_thread::yield()`, que permite a una hebra ceder voluntariamente el procesador.
  - Muy importante porque puede que la interrupción de reloj no las afecte o no se pueda imponer el tiempo compartido.
  - Las hebras deben cooperar.
- Las hebras introducen nuevos problemas en el sistema:
  - `fork()`: si un padre tiene varias hebras, ¿debería el hijo tenerlas también?
  - Si un proceso tiene una hebra bloqueada en espera de una entrada desde el teclado, ¿debería tenerla también un hijo?
  - Este mismo problema puede darse con otros recuersos: ficheros, conexiones de red, gestión de memoria,...
  - solución $\longrightarrow$ rápida y sin problemas... no duplicar.

Motivos para el uso de hebras

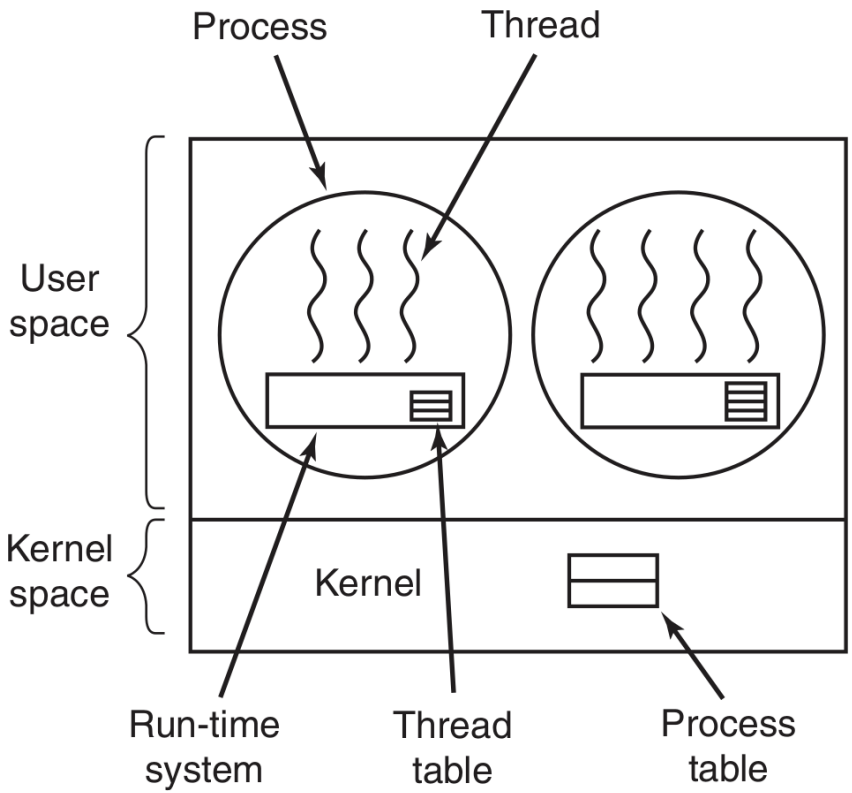
- **Compartición** de recursos, ej: servidor web.
- **Facilidad** (economía) de creación y destrucción.
- Mejora del **rendimiento**:
  - gran mejora en los limitados por E/S.
  - pequeña mejora en los limitados por procesador.
- En sistemas con múltiples procesadores es posible un verdadero **paralelismo**.
- **Simplicidad** de programación, ej: procesador de texto.

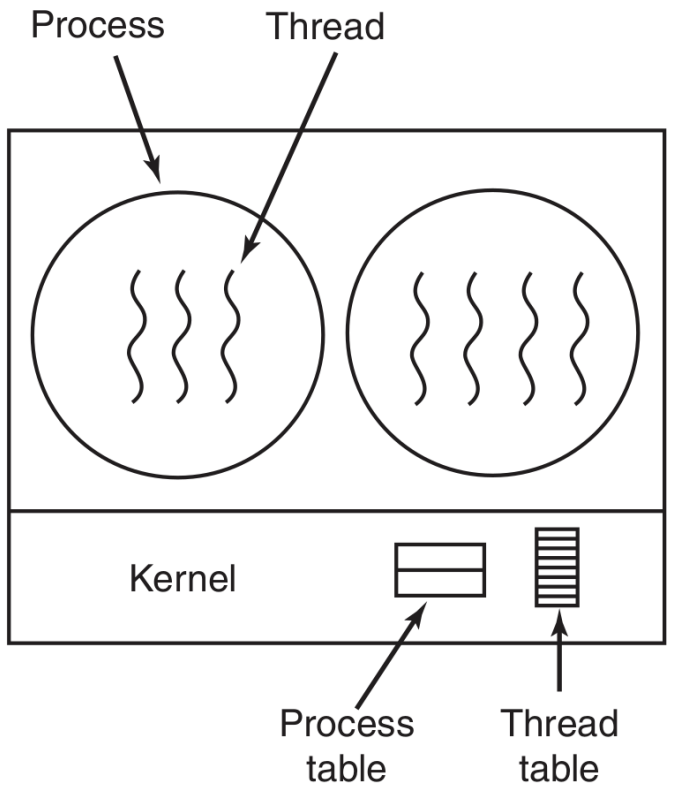
Ejemplos de uso de hebras

- Procesador de textos: utilizará una hebra por cada tarea que realiza.
  - Interacción con el usuario.
  - Corrector ortográfico/gramatical.
  - Guardar automaticamente y/o en segundo plano.
  - Mostrar resultado final en pantalla (`WYSIWYG`).
- Hoja de cálculo:
  - Interacción con el usuario.
  - Actualización en segundo plano.
- Servidor web: dos tipos de hebras.
  - Interacción con los clientes (navegadores).
  - Gestión del caché de páginas.
- Navegador: varios tipos de hebras.
  - Interacción con el usuario.
  - Interacción con los servidores (web, ftp, ...).
  - Dibujo de la página (1 hebra por pestaña).

Tipos de hebras

- Hebras tipo usuario.
- Hebras tipo núcleo.
- Hebras híbridas.





Hebras tipo usuario

- El sistema de hebras se coloca por completo en el espacio de usuario.
- El núcleo no sabe nada de ellas y por lo que a él respecta se dedica a planificar procesos ordinarios.
- Todos los SO comenzaron perteneciendo a este tipo.
  - la mayoría ha evolucionado hacia el uso de hebras tipo núcleo.
- Cada proceso necesita una tabla de hebras.
  - Análoga a las tablas de procesos.
  - Gestionada por el sistema de ejecución de hebras.

Ventajas de las hebras tipo usuario

- Pueden implementarse sobre **cualquier SO**.
- La **conmutación** entre hebras es varios órdenes de magnitud más **rápida** que la de procesos.
- Cuando una hebra termina de ejecutarse (`pthread_exit()` / `pthread_yield()`) puede cambiarse a otra **sin involucrar al núcleo** con lo que ahorraremos uno o dos cambios de proceso y modo.
- Cada proceso puede utilizar un algoritmo de **planificación personalizado**.

operación	hebras usuario	procesos
proceso nulo	34	11300
signal/wait	37	1840

Inconvenientes de las hebras usuario

- **Llamadas al sistema bloqueantes**: detener una hebra implica detener el proceso completo, ej: lectura de teclado, fallo de página. Soluciones:
  - modificar el SO para hacer sus llamadas no bloqueantes $\Rightarrow$ no queremos/podemos hacerlo.
  - comprobar si las llamadas bloqueantes tendrán éxito antes de efectuarlas, ej: `select/read` $\Rightarrow$ método engorroso.
- Como no existe interrupción de reloj no podremos ejecutar una hebra hasta que otra deje libre el procesador **voluntariamente** (cooperación obligatoria).
  - solución: solicitar interrupción periódica $\Rightarrow$ pérdida de rendimiento.
- En sistemas multiprocesador no podemos asignar más de un procesador a cada proceso.

Hebras tipo núcleo

- El núcleo conoce la existencia de las hebras y se encarga de gestionarlas.
- No se necesita un sistema de gestión de hebras ni tablas de hebras en el interior de cada proceso.
- En el interior del núcleo ya disponemos de las tablas de procesos, las tablas de hebras en realidad son parte de ellas (replicando ciertas partes) $\Rightarrow$ algunos sistemas (Linux) no distinguen entre procesos y hebras.
- La **gestión** de hebras se hace a través de **llamadas al sistema** $\Rightarrow$ mayor coste de operación.

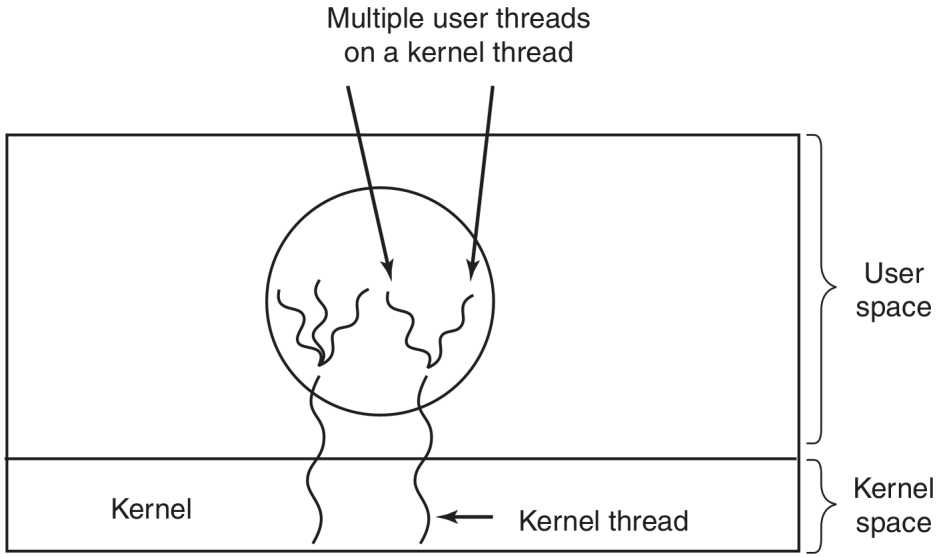
Ventajas e inconvenientes de las hebras del núcleo

- Ventajas:
  - No requieren llamadas al sistema **no bloqueantes**.
  - Si una hebra se bloquea o excede su tiempo de ejecución otra puede ser ejecutada.
  - En sistemas multiprocesador tantas hebras de un mismo proceso como procesadores existan pueden ejecutarse en **paralelo**.
- Inconvenientes:
  - **Coste** de operación mucho mayor que hebras tipo usuario.
  - Importante el **reciclaje** de hebras: finalizado $\Rightarrow$ nuevo.

operación	hebras usuario	hebras núcleo	procesos
proceso nulo	34	948	11300
signal/wait	37	441	1840

Hebras híbridas

- Intentan reunir las ventajas de los tipos anteriores a la vez que evitar sus inconvenientes.
- Metódo:
  - Es necesario implementar hebras tipo núcleo en el SO.
  - Utiliza hebras tipo usuario pero multiplexadas sobre hebras tipo núcleo.
  - Cada hebra del núcleo ejecuta un conjunto de hebras de usuario que se turnan en su utilización.



Activaciones del planificador

- Método propuesto por Thomas E. Anderson (1992).
- El núcleo asigna cierto número de **procesadores virtuales** o **procesos ligeros** a cada proceso.
  - Inicialmente suele asignarse un procesador virtual.
  - Cada proceso puede solicitar y devolver procesadores virtuales.
  - El núcleo puede conceder y retirar procesadores virtuales.
- Cuando el núcleo detecta que una hebra se bloquea avisa al sistema de gestión de hebras en espacio de usuario mediante una llamada directa (*"upcall"*).
- Una vez avisado un planificador a nivel usuario puede seleccionar otra hebra para ejecutar.
- Cuando la hebra se desbloquea de nuevo el núcleo avisa al sistema de gestión de hebras en espacio de usuario.

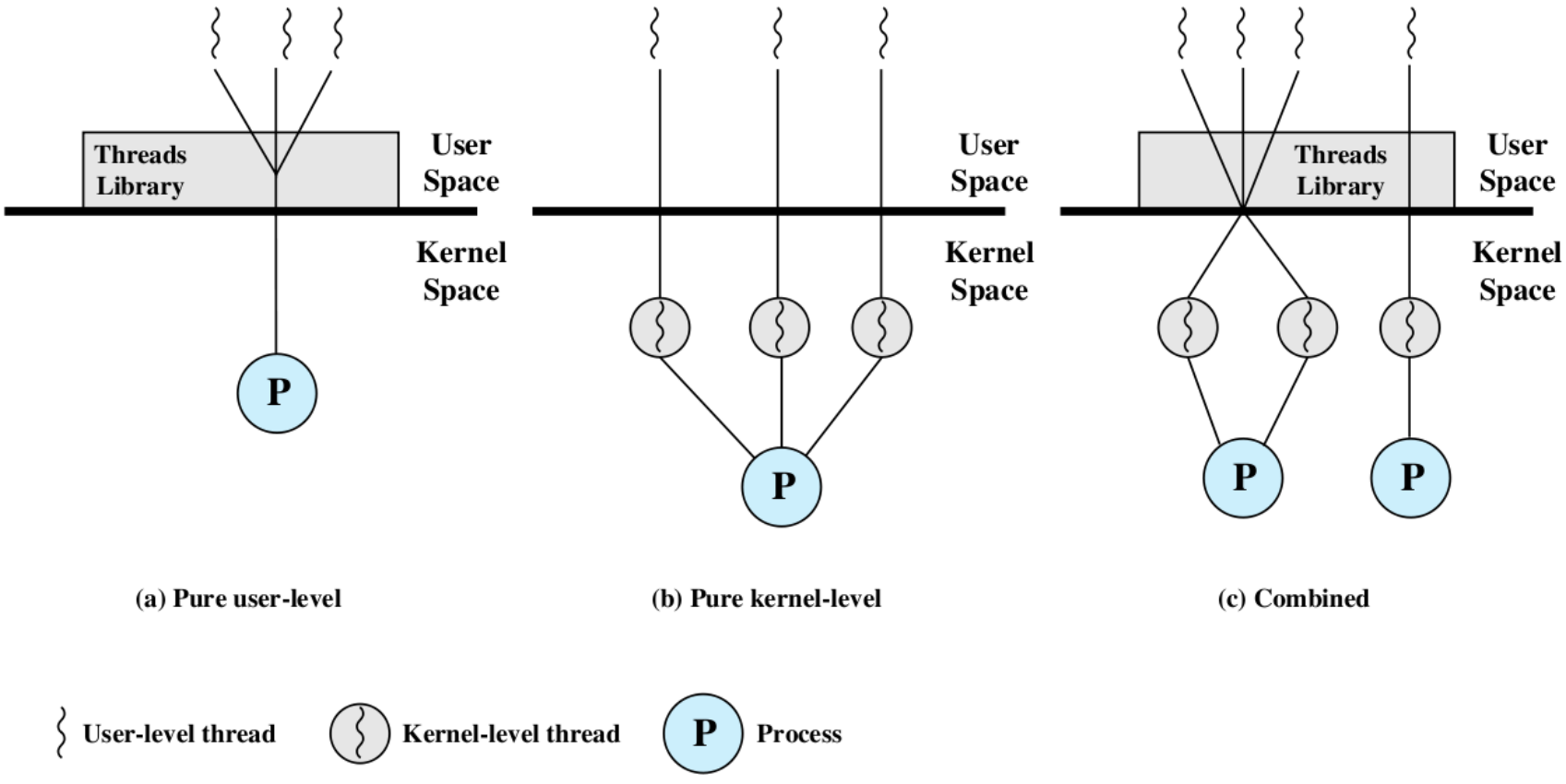
Ventajas e inconvenientes del enfoque híbrido

- Ventajas:
  - Dos formas de manejar las llamadas al sistema bloqueantes:
    - Una llamada bloqueante en una hebra de usuario sólo bloquea su correspondiente hebra del núcleo hasta que finalice la causa del bloqueo mientras que el resto de hebras del proceso continuan ejecutándose.
    - La hebra del núcleo almacena la causa del bloqueo y avisa al planificador a nivel usuario para que cambie a otra hebra de usuario hasta que finalice la causa del bloqueo.
- Inconvenientes:
  - El SO debe disponer de hebras tipo núcleo.
  - Hay dos niveles de planificación:
    - El núcleo planifica las hebras del núcleo.
    - Las hebras de usuario son planificadas por una biblioteca.
    - Ambos planificadores deben cooperar.
  - Problema: las llamadas directas violan los principios de los sistemas por capas.

En resumen...

- Hebras tipo usuario:
  - Rápidas y fáciles de implementar.
  - No planificables por el núcleo.
  - Se bloquean con E/S.
  - Sólo pueden usar un procesador.
  - Requieren cooperación entre hebras.
- Hebras tipo núcleo:
  - Involucran al SO, fraccionamiento del tiempo.
  - Operaciones de cambio y sincronización más costosas.
  - No se bloquean con E/S.
  - Pueden utilizar varios procesadores.
- Hebras híbridas:
  - Lo mejor de cada tipo.
  - Requieren balanceo de carga: reparto de hebras de usuario sobre hebras del núcleo para repartir el trabajo entre los procesadores.

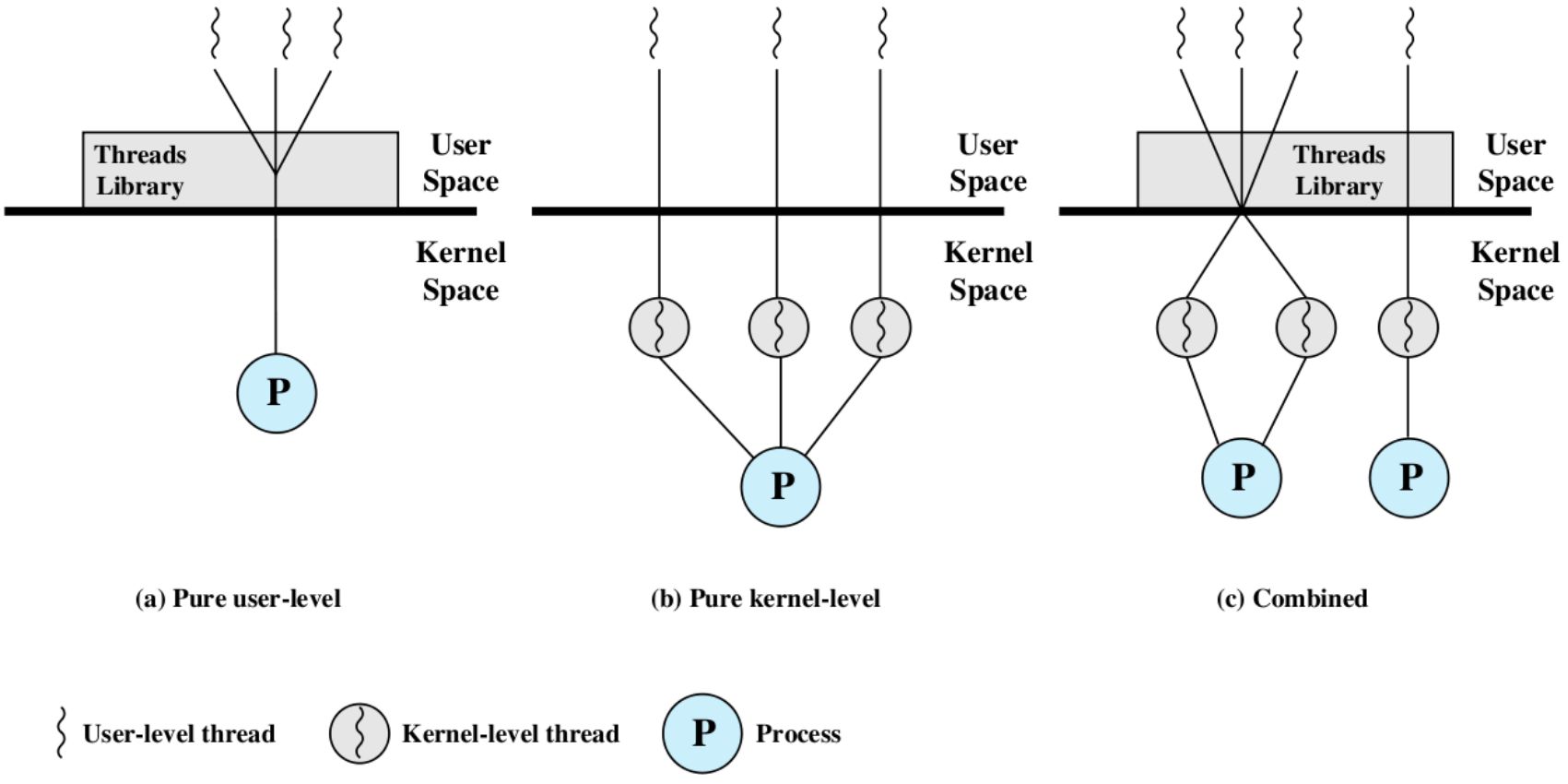
Comparativa entre hebras y procesos



operación\tipo	hebras usuario	hebras híbridas	hebras núcleo	procesos
proceso nulo	34	37	948	11300
signal/wait	37	42	441	1840

Thomas E. Anderson, Brian N. Bershad, Edward D. Lazowska, Henry M. Levy. Scheduler Activations: Effective Kernel Support for the User-Level Management of Parallelism. ACM Transactions on Computer Systems, Vol. 10, No. 1, February 1992. (Tiempos en μs)

Relación entre tipos de hebras



modelo	nº hebras (u/n)	ejemplos
muchos a uno	N:1	GNU Portable Threads, Green Threads (Solaris)
uno a uno	1:1	Linux, MacOS X, Solaris (>8), Windows (>NT)
muchos a muchos	N:M	Solaris(<9), Fiber (Windows)
dos niveles	N:M + 1:1	HP-UX, IRIX, Solaris (<9), Tru64 UNIX

Representación de hebras

- Para poder gestionar hebras necesitamos estrucuras de datos que las representen $\Longrightarrow$ **bloque de control de hebra** (**TCB**).

TCB mínimo
identificador de hebra (TID)
puntero de instrucción (IP)
puntero de pila (SP)
estado (flags)

Atributos de una hebra

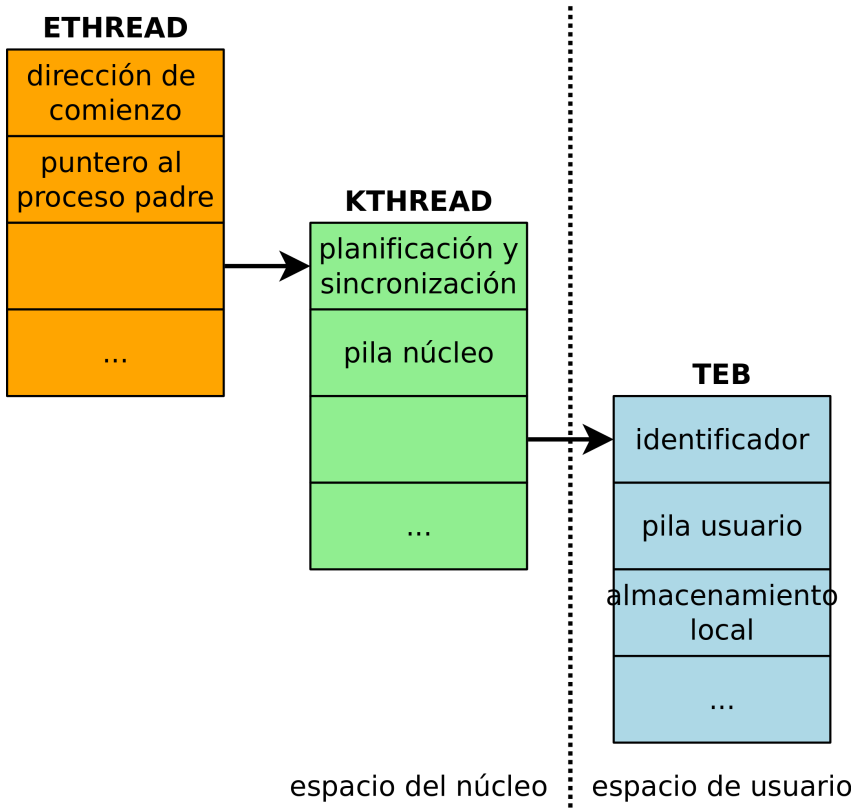
- Identificador de hebra (TID).
- Contexto:
  - Registros de usuario.
- Planificación.
- Pila.
- Recursos privados (opcional):
  - Datos privados.
- Otros:
  - Eventos relacionados: esperando E/S.
  - Prioridades.
  - Comunicación entre procesos.
  - Información de mapeado.
  - Propiedad y utilización de recursos.

Implementación de los bloques de control de hebra

- ¿Dónde colocar los TCBs?
  - No colocarlos aleatoriamente.
  - Tenga en cuenta la TLB y la caché.
  - Diseñarlos con sumo cuidado (tanto o más que los PCBs).
- Posibles estructuras de datos:
  - Contiguas:
    - vector
    - vector de punteros.
  - No contiguas:
    - lista.
- Posibles localizaciones de los TCBs.
  - Espacio de usuario.
  - Espacio del núcleo.
  - Repartido entre ambos: TCB = UTCB + KTCB.

Windows (95/98/NT/2000/XP)

- Implementación de la API Win32.
- Cada proceso contiene una o más hebras.
- Emplea hebras tipo usuario y núcleo con relación 1:1.
  - La biblioteca Fiber añade relaciones N:M entre hebras (opcional).
- Componentes de una hebra: identificador, conjunto de registros, pilas de usuario y núcleo, área de almacenamiento
- Localización de las estructuras de datos de las hebras:



Linux

- No distingue entre procesos y hebras: **tarea** (*task*).
- Utiliza la llamada al sistema `clone()` para conseguir un efecto parecido a `fork()` pero permite limitar los recursos compartidos.
- Estructura de datos para representar tareas: `task_struct`.
  - Formada por punteros en lugar de datos para optimizar la compartición.

parámetro	significado
CLONE_FS	compartir sistema de ficheros
CLONE_VM	compartir memoria virtual
CLONE_SIGHAND	compartir manejadores de señales
CLONE_FILES	compartir los ficheros abiertos

Bibliotecas de hebras

- Pthreads (POSIX threads/estándar IEEE 1003.1c).
  - API para la creación y sincronización de hebras.
  - Especificación ≠ implementación.
  - Disponible en la mayoría de los SOs.
- Hebras Win32.
- Hebras Java.

pthread

cabecera	`#include <pthread.h>`

`pthread_create(id, attr, func, val)`	crea una hebra que ejecuta el código de la función `func()`
`pthread_exit(val)`	finaliza un hebra devolviendo un valor
`pthread_join(id, val)`	espera la finalización de una hebra y recupera el valor que esta devuelve
`pthread_self()`	devuelve el identificador de una hebra
`pthread_yield()`	cede el procesador voluntariamente

pthread: ejemplo en C

```c
#include <pthread.h>
#include <stdio.h>

void* hebra(void*)xxx
{
  printf("cognito, ergo sum!\n");
  return NULL;
}

int main()
{
  pthread_t id;

  pthread_create(&id, NULL, hebra, NULL);
  pthread_join(id, NULL);
}
```

std::thread: ejemplo en C++

```
#include <iostream>
#include <thread>

void hello()
{
  std::cout << "hello world!" << std::endl;
}

int main()
{
  std::thread t(hello);
  t.join();
}
```

std::thread: segundo ejemplo en C++

```
#include <iostream>
#include <thread>

void hello() { std::cout << "hello, "; }

int main()
{
  std::thread h(hello);
  std::thread w([]
  {
    std::cout << "world!" << std::endl;
  });

  h.join();
  w.join();
}
```