Sistemas Operativos

Memoria

INGENIERÍA DE SISTEMAS

UNIVERSIDAD NACIONAL

J.I. Martínez – C Pedraza

Índice

- Generalidades
- Objetivos del sistema de gestión de memoria
- Requerimientos para manejo de memoria
- Particionamiento de memoria
- Paginación y segmentación
- Memoria virtual
- Archivos proyectados en memoria

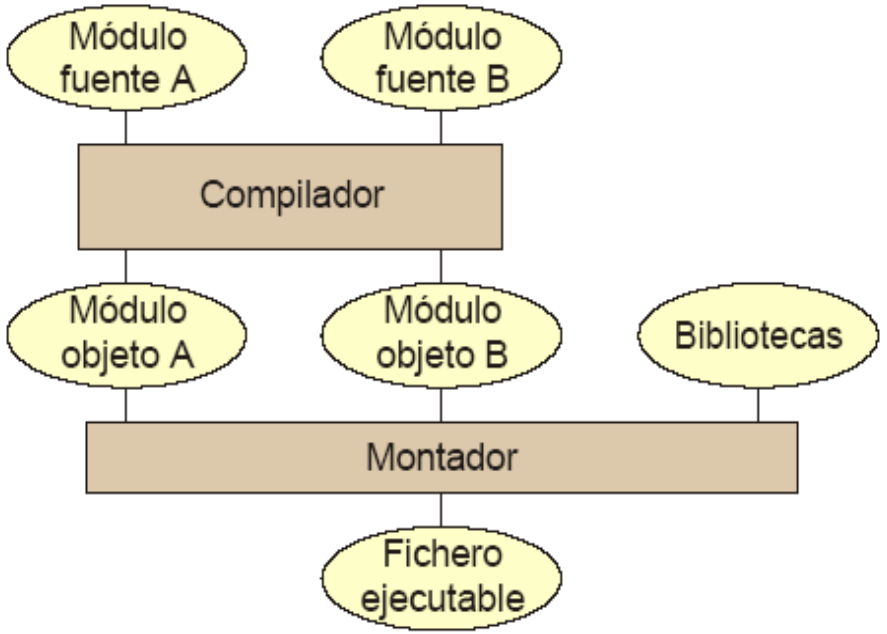
Índice

- Generalidades
- Objetivos del sistema de gestión de memoria
- Requerimientos para manejo de memoria
- Particionamiento de memoria
- Paginación y segmentación
- Memoria virtual
- Archivos proyectados en memoria

Generalidades

Fases en Generación de Ejecutable

- Compilación:
  - Resuelve referencias dentro cada módulo fuente
  - Genera módulo objeto
- Montaje (o enlace):
  - Resuelve referencias entre módulos objeto
  - Resuelve referencias a símbolos de bibliotecas
- Genera ejecutable incluyendo bibliotecas



Generalidades

Bibliotecas de Objetos

- Biblioteca: colección de módulos objeto relacionados
- Bibliotecas del sistema o creadas por el usuario
- Bibliotecas Estáticas:
  - Montaje: enlaza los módulos objeto del programa y de las bibliotecas
  - Ejecutable autocontenido
- Desventajas del montaje estático:
  - Ejecutables grandes
  - Código de función de biblioteca repetido en muchos ejecutables
  - Múltiples copias en memoria del código de función de biblioteca
  - Actualización de biblioteca implica volver a montar

Generalidades

Bibliotecas Dinámicas

- Carga y montaje de biblioteca en tiempo de ejecución
- Ejecutable contiene:
  - Nombre de la biblioteca
  - Rutina de carga y montaje en tiempo de ejecución
- En 1ª referencia a símbolo de biblioteca en tiempo de ejecución:
  - Rutina carga y monta biblioteca correspondiente
  - Ajusta instrucción que realiza referencia para que próximas referencias accedan a símbolo de biblioteca
  - Problema: Se modificaría el código del programa
    - Solución típica: Referencia indirecta mediante una tabla

Generalidades

Ventajas de Bibliotecas Dinámicas

- Ventajas:
  - Menor tamaño ejecutables
  - Código de rutinas de biblioteca sólo en archivo de biblioteca
  - Procesos pueden compartir código de biblioteca
  - Actualización automática de bibliotecas: Uso de versiones
- Desventajas:
  - Mayor tiempo de ejecución debido a carga y montaje
    - Tolerable: Compensa el resto de las ventajas
  - Ejecutable no autocontenido
- Uso de bibliotecas dinámicas es transparente
  - Mandatos de compilación y montaje igual que con estáticas

Generalidades

Uso explícito de Bibliotecas Dinámicas

- Forma de uso habitual:
  - Se especifica en tiempo de montaje qué biblioteca usar pero se pospone su carga y montaje a tiempo de ejecución
- Uso explícito:
  - Requerido por aplicaciones que determinan en tiempo de ejecución qué bibliotecas deben usar
  - No se especifica biblioteca en mandato de montaje
  - Programa solicita carga de bib. mediante servicio del sistema
    - *dlopen* en UNIX y *LoadLibrary* en Win32
  - Acceso “no” transparente a símbolos de la biblioteca
  - Programa necesita usar servicios del sistema para ello
    - *dlsym* en UNIX y *GetProcAddress* en Win32

Generalidades

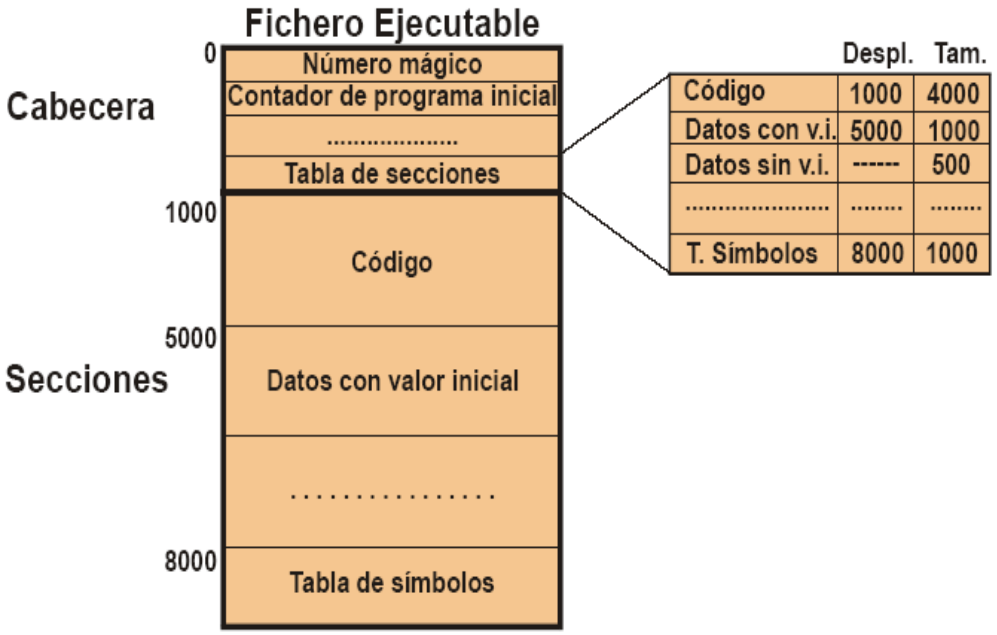
Compartir Bibliotecas Dinámicas

- Biblioteca dinámica contiene referencias internas
  - Problema de zona compartida con autoreferencias
- Tres posibles soluciones:
  - 1. A cada bib. dinámica se le asigna rango de direcciones fijo
    - Inconveniente: Poco flexible
  - 2. En montaje en t. de ejecución se reajustan autoreferencias
    - Inconveniente: Impide compartir código de biblioteca
  - 3. Crear biblioteca con código independiente de posición(PIC)
    - Se genera código con direccionamiento relativo a registro
    - Inconveniente (tolerable): dir. relativo menos eficiente

Generalidades

Formato del Ejecutable

- Distintos fabricantes usan diferentes formatos
  - Ejemplo: En Linux *Executable and Linkable Format* (ELF)
- Estructura: Cabecera y conjunto de secciones
- Cabecera:
  - Número mágico que identifica a ejecutable
  - Punto de entrada del programa
  - Tabla de secciones



Generalidades

Secciones del Ejecutable

- Variedad de tipos de secciones. Ejemplo:
  - Tabla de símbolos para depuración
  - Lista de bibliotecas dinámicas usadas
- Más relevantes en mapa de memoria del proceso:
  - Código, Datos con valor inicial y Datos sin valor inicial
- Código (texto)
  - Contiene código del programa
- Datos con valor inicial
  - Variables globales inicializadas
- Datos sin valor inicial
  - Variables globales no inicializadas
  - Aparece en tabla de secciones pero no se almacena en ejecutable
- ¿Por qué no hay sección vinculada a variables locales?

Generalidades

Variable Globales y Locales

- Variables globales
  - Estáticas
  - Se crean al iniciarse programa
  - Existen durante ejecución del mismo
  - Dirección fija en memoria y en ejecutable
- Variables locales y parámetros
  - Dinámicas
  - Se crean al invocar función
  - Se destruyen al retornar
  - La dirección se calcula en tiempo de ejecución
  - Recursividad: varias instancias de una variable

Generalidades

Mapa de Memoria de un Proceso

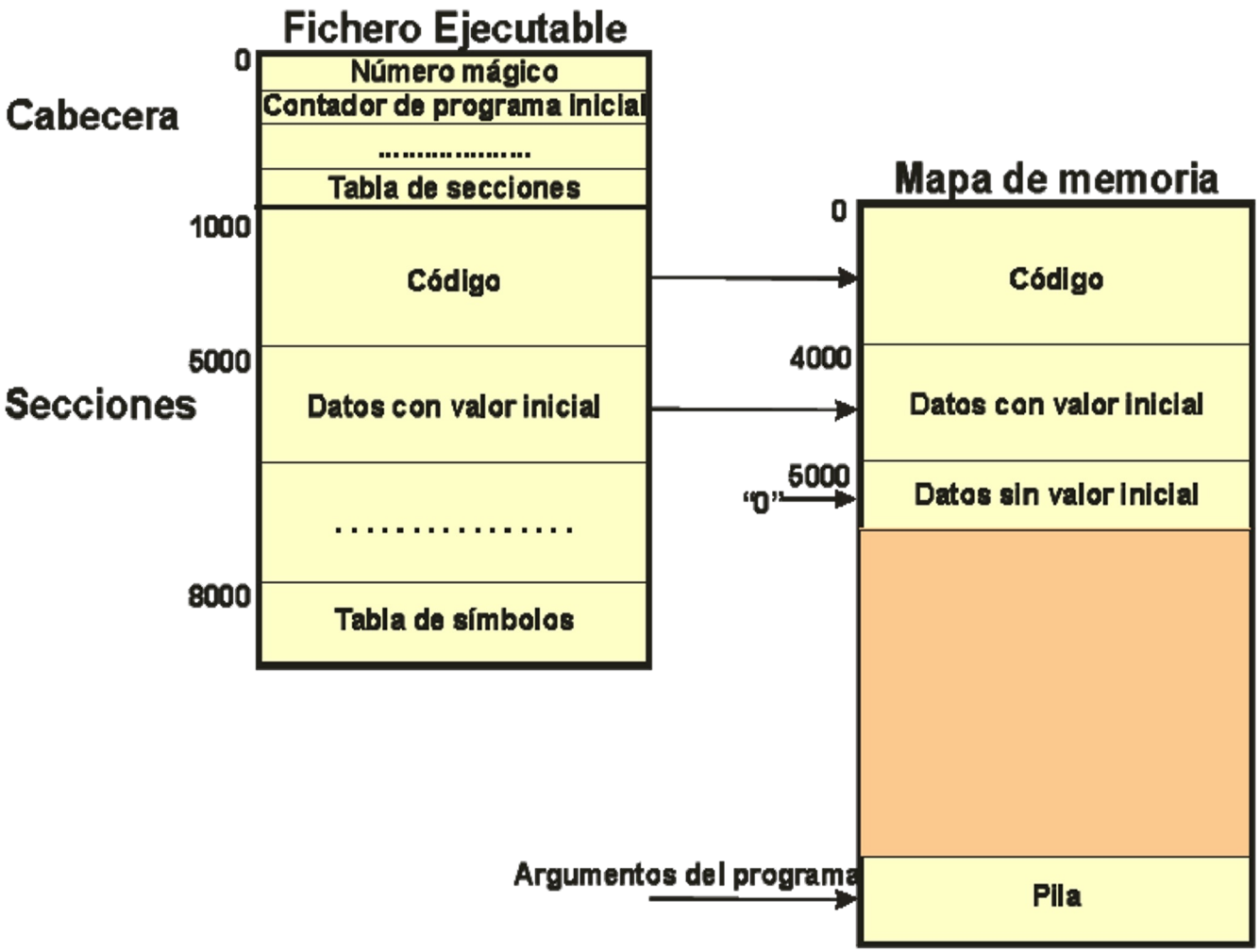
- Mapa de memoria o imagen del proceso: conjunto de regiones
- Región:
  - Tiene asociada una información (un “objeto de memoria”)
  - Zona contigua tratada como unidad al proteger o compartir
- Cada región se caracteriza por:
  - dirección de comienzo y tamaño inicial
  - soporte: donde se almacena su contenido inicial
  - protección: RWX
  - uso compartido o privado
  - tamaño fijo o variable

Generalidades

Creación de un mapa de memoria a partir del ejecutable

- Ejecución de un programa: Crea mapa a partir de ejecutable
  - Regiones de mapa inicial -> Secciones de ejecutable
- Código
  - Compartida, RX, T. Fijo, Soporte en Ejecutable
- Datos con valor inicial
  - Privada, RW, T. Fijo, Soporte en Ejecutable
- Datos sin valor inicial
  - Privada, RW, T. Fijo, Sin Soporte (rellenar 0)
- Pila
  - Privada, RW, T. Variable, Sin Soporte (rellenar 0)
  - Crece hacia direcciones más bajas
  - Pila inicial: argumentos del programa

Generalidades



Generalidades

Otras Regiones del Mapa de Memoria

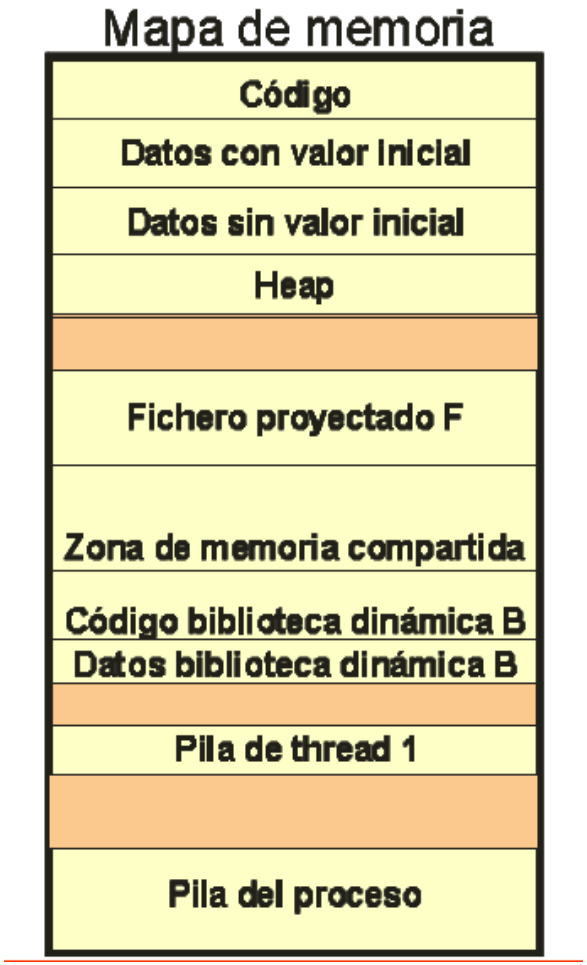
- Durante ejecución de proceso se crean nuevas regiones
  - Mapa de memoria tiene un carácter dinámico
- Región de Heap
  - Soporte de memoria dinámica (malloc en C)
  - Privada, RW, T. Variable, Sin Soporte (rellenar 0)
  - Crece hacia direcciones más altas
- Archivo proyectado
  - Región asociada al archivo proyectado
  - T. Variable, Soporte en Archivo
  - Protección y carácter compartido o privado especificado en proyección

Generalidades

Otras Regiones del Mapa de Memoria

- Memoria compartida
  - Región asociada a la zona de memoria compartida
  - Compartida, T. Variable, Sin Soporte (rellenar 0)
  - Protección especificada en proyección
- Pilas de threads
  - Cada pila de thread corresponde con una región
  - Mismas características que pila del proceso
- Carga de biblioteca dinámica
  - Se crean regiones asociadas al código y datos de la biblioteca

Generalidades



Generalidades

Operaciones sobre Regiones

- Para estudiar evolución del mapa de memoria se pueden distinguir las siguientes operaciones:
- Crear región
  - Implícitamente al crear mapa inicial o por solicitud del programa en t. de ejecución (p.ej. proyectar un archivo)
- Eliminar región
  - Implícitamente al terminar el proceso o por solicitud del programa en t. de ejecución (p.ej. desproyectar un archivo)
- Cambiar tamaño de la región
  - Implícitamente para la pila o por solicitud del programa para el heap
- Duplicar región
  - Operación requerida por el servicio FORK de POSIX

Índice

- Generalidades
- Objetivos del sistema de gestión de memoria
- Requerimientos para manejo de memoria
- Particionamiento de memoria
- Paginación y segmentación
- Memoria virtual
- Archivos proyectados en memoria

Objetivos del Gestor de Memoria

S.O. multiplexa recursos entre procesos

- Cada proceso cree que tiene una máquina para él solo
- Gestión de procesos: Reparto de procesador
- Gestión de memoria: Reparto de memoria

Objetivos:

- Ofrecer a cada proceso un espacio lógico propio
- Proporcionar protección entre procesos
- Permitir que procesos compartan memoria
- Dar soporte a las regiones del proceso
- Maximizar el grado de multiprogramación
- Proporcionar a los procesos mapas de memoria muy grandes

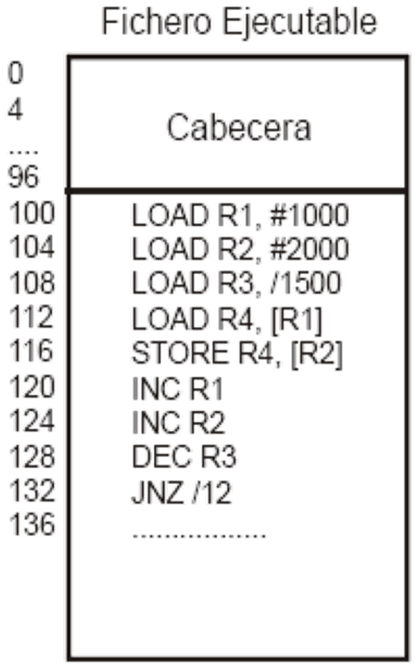
Índice

- Objetivos del sistema de gestión de memoria
- Requerimientos para manejo de memoria
- Particionamiento de memoria
- Paginación y segmentación
- Memoria virtual
- Archivos proyectados en memoria

Requerimientos para manejo de memoria

Espacios Lógicos Independientes

- No se conoce posición de memoria donde un programa ejecutará
- Código en ejecutable genera referencias entre 0 y N
- Ejemplo: Programa que copia un vector



Vector destino a partir de dirección 2000
Tamaño del vector en dirección 1500
Vector origen a partir de dirección 1000

Requerimientos para manejo de memoria

Organización lógica

- Abstraer la memoria como una sola, continua y lineal
- Los programas son compilados de manera independiente y con referencias a sí mismos de manera relativa.

Requerimientos para manejo de memoria

Reubicación

- Necesaria en S.O. con multiprogramación:
  - Reubicar: Traducir direcciones lógicas a físicas
- Dir. lógicas: direcciones de memoria generadas por el programa
- Dir. físicas: direcciones de mem. principal asignadas al proceso
- Función de traducción:
  - *Traducción(IdProc, dir_lógica) -> dir_física*
- Reubicación crea espacio lógico independiente para proceso
- S.O. debe poder acceder a espacios lógicos de los procesos
- Ejemplo: Programa tiene asignada memoria a partir de 10000
  - Sumar 10000 a direcciones generadas
- Dos alternativas:
  - Reubicación hardware o software

Requerimientos para manejo de memoria

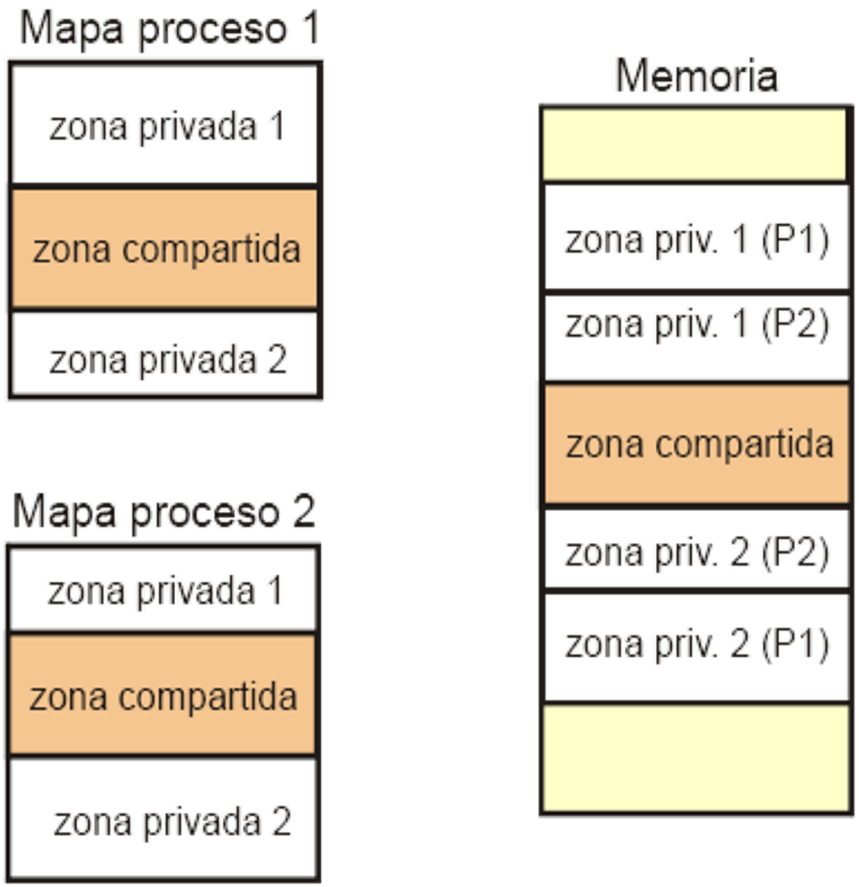
Protección

- Monoprogramación: Protección del SO
- Multiprogramación: Además procesos entre sí
- Traducción debe crear espacios disjuntos
- Necesario validar todas las direcciones que genera el programa
  - La detección debe realizarla el hardware del procesador
  - El tratamiento lo hace el SO
- En sistemas con mapa de E/S y memoria común:
  - Traducción permite impedir que procesos accedan directamente a dispositivos de E/S

Requerimientos para manejo de memoria

Compartimiento de Memoria

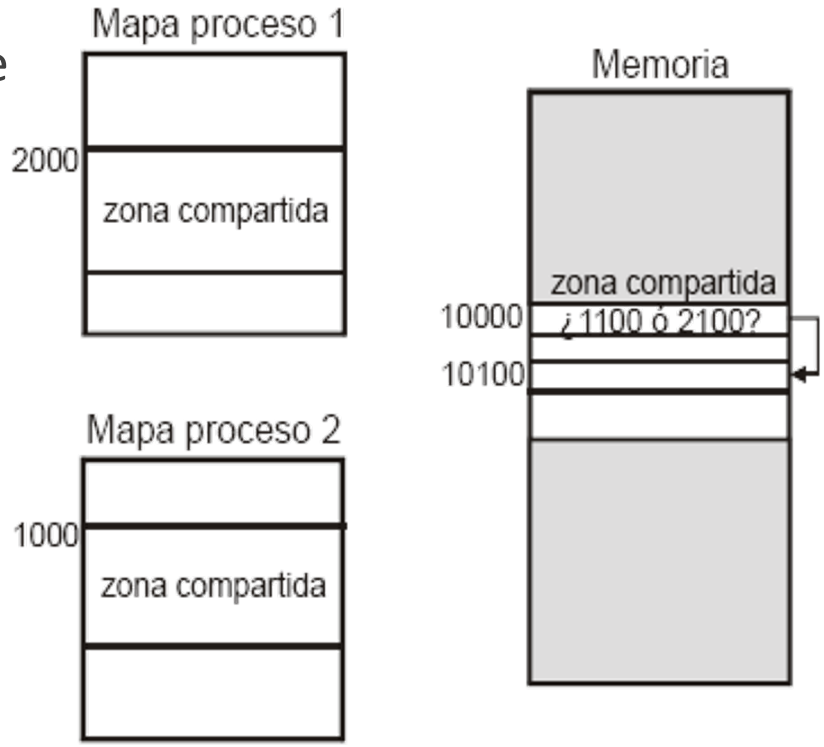
- Direcciones lógicas de 2 o más procesos se corresponden con misma dirección física
- Bajo control del S.O.
- Beneficios:
  - Procesos ejecutando mismo programa comparten su código
  - Mecanismo de comunicación entre procesos muy rápido
- Requiere asignación no contigua



Requerimientos para manejo de memoria

Problemas al Compartir Memoria

- Si posición de zona compartida contiene referencia a otra posición de la zona
- Ejemplo con zonas de código:
  - Zona compartida contiene instrucción de bifurcación a instrucción dentro de la zona
- Ejemplo con zonas de datos:
  - Zona contiene una lista con punteros



Requerimientos para manejo de memoria

Soporte de Regiones

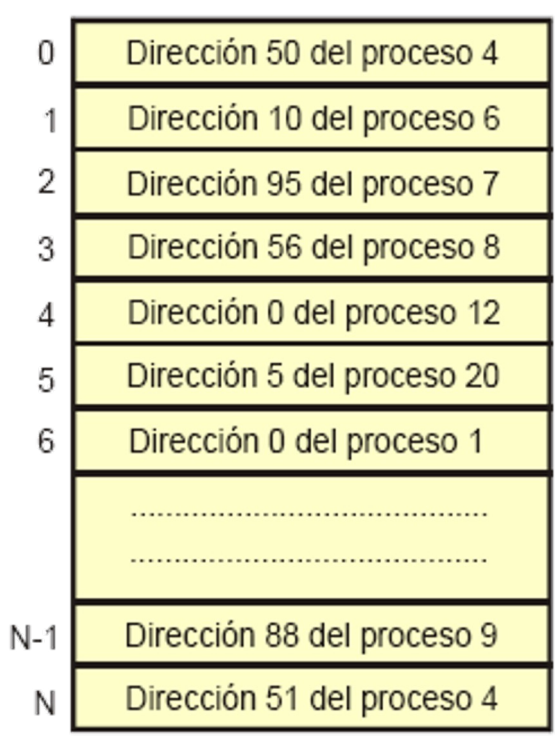
- Mapa de proceso no homogéneo
  - Conjunto de regiones con distintas características
  - Ejemplo: Región de código no modificable
- Mapa de proceso dinámico
  - Regiones cambian de tamaño (p.ej. pila)
  - Se crean y destruyen regiones
  - Existen zonas sin asignar (huecos)
- Gestor de memoria debe dar soporte a estas características:
  - Detectar accesos no permitidos a una región
  - Detectar accesos a huecos
  - Evitar reservar espacio para huecos
- S.O. debe guardar una tabla de regiones para cada proceso

Requerimientos para manejo de memoria

Maximizar Rendimiento

- Reparto de memoria maximizando grado de multiprogramación
- Se “desperdicia” memoria debido a:
  - “Restos” inutilizables (fragmentación)
  - Tablas requeridas por gestor de memoria
- Menor fragmentación -> Tablas más grandes
- Compromiso: Paginación
- Uso de memoria virtual para aumentar grado de multiprogramación

Aprovechamiento de memoria óptimo e irrealizable



Requerimientos para manejo de memoria

Mapas de Memoria muy Grandes para Procesos

- Procesos necesitan cada vez mapas más grandes
  - Aplicaciones más avanzadas o novedosas
- Resuelto gracias al uso de memoria virtual
- Antes se usaban *overlays*:
  - Programa dividido en fases que se ejecutan sucesivamente
  - En cada momento sólo hay una fase residente en memoria
  - Cada fase realiza su labor y carga la siguiente
  - No es transparente: Toda la labor realizada por programador

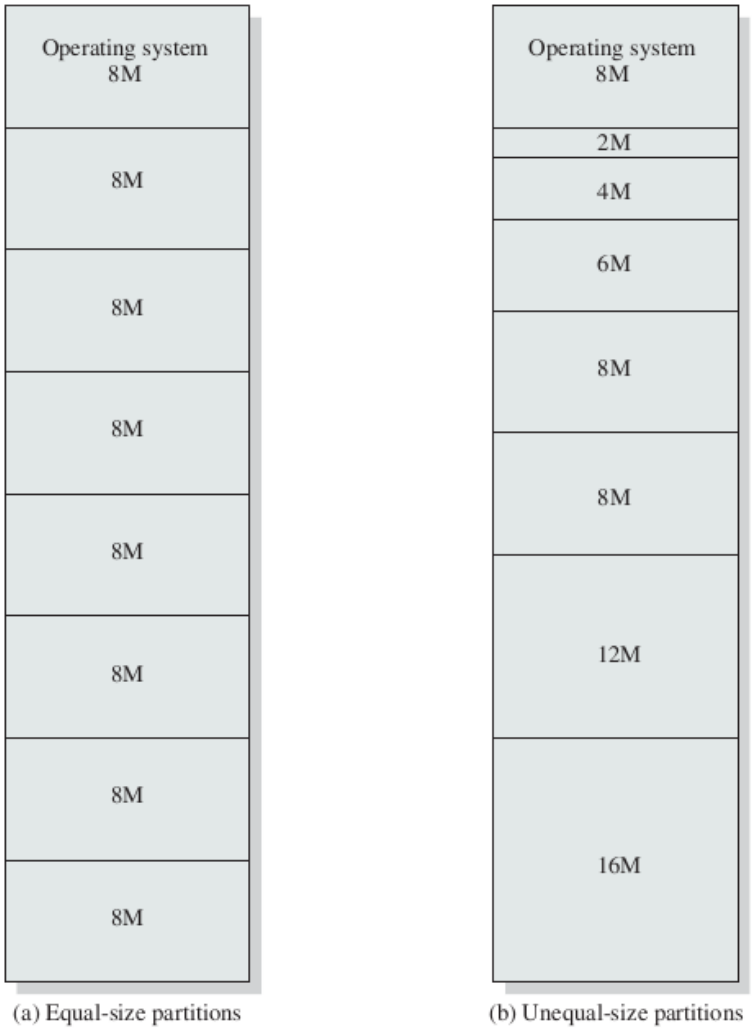
Índice

- Objetivos del sistema de gestión de memoria
- Requerimientos para manejo de memoria
- Particionamiento de memoria
- Paginación y segmentación
- Memoria virtual
- Archivos proyectados en memoria

Particionamiento de memoria

Particionamiento fijo.

- Se asignan tamaños fijos a bloques en memoria.
- Un programa puede ser muy grande para un bloque.
- Se desperdicia espacio si un proceso es más pequeño que un bloque.



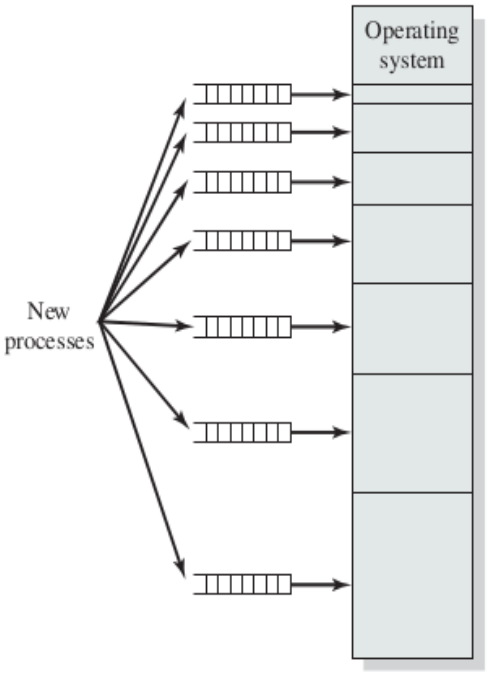
(a) Equal-size partitions (b) Unequal-size partitions

Stallings, Operating systems

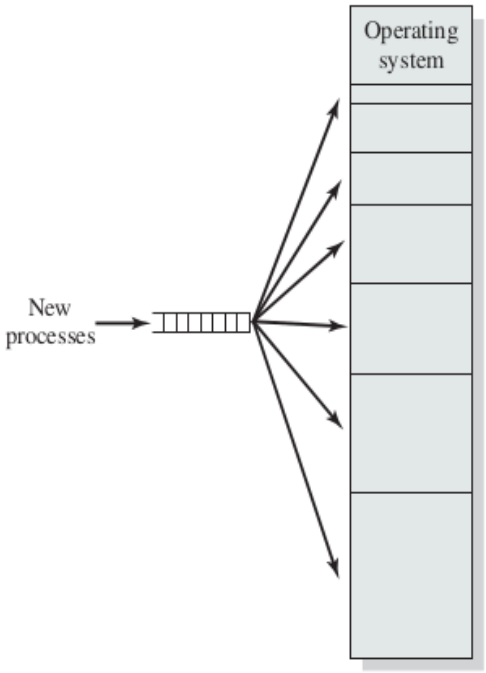
Particionamiento de memoria

Particionamiento fijo.

- Algoritmo de asignación.
  - Tamaños fijo. Algoritmo simple.
  - Tamaños variables.
    - Se asigna un proceso al bloque más pequeño en el que encaje. Cada bloque tiene su cola.
    - Se asignan mediante una cola. Bloques grandes pueden ser poco usados.



Cada bloque tiene su propia cola



Todos los bloques tienen una sola cola

Particionamiento de memoria

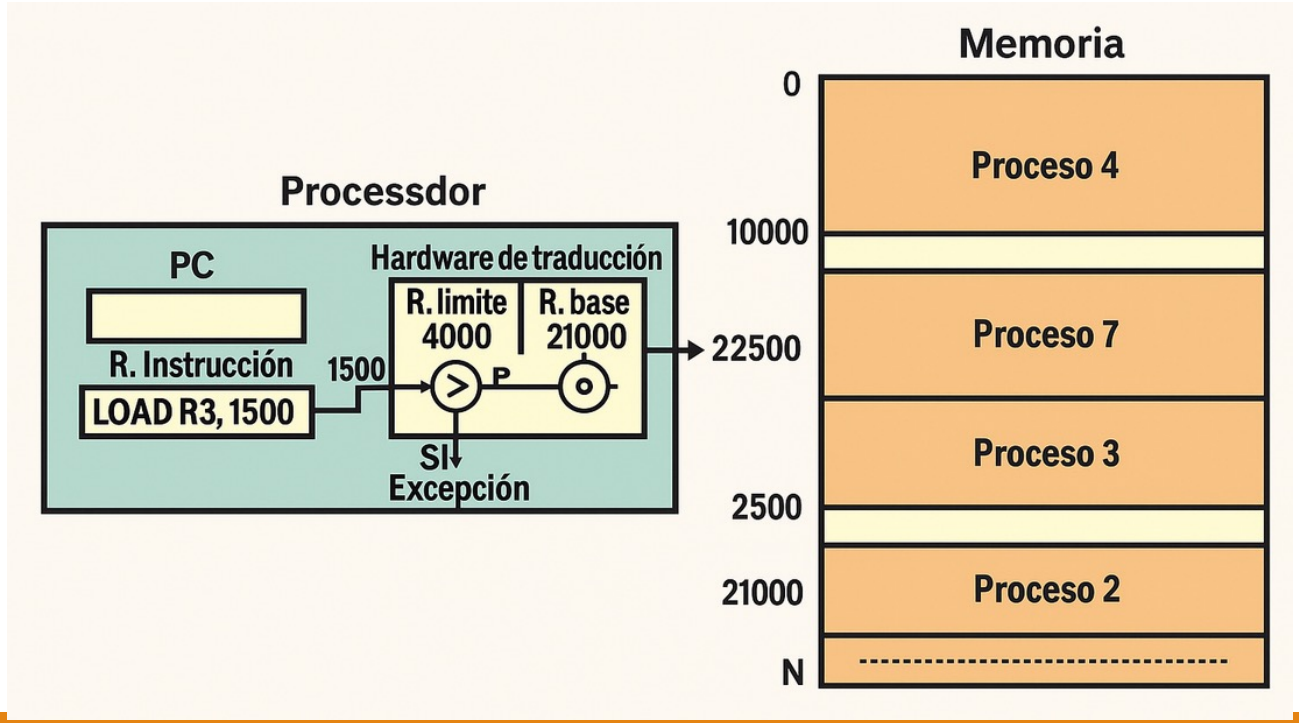
Particionamiento dinámico.

- Número de bloques variable con tamaños variables.
- Se le asigna a un proceso la cantidad de memoria que necesita.
- Presenta fragmentación externa.

Particionamiento de memoria

Asignación Contigua

- Mapa de proceso en zona contigua de memoria principal
- Hardware requerido: Regs. valla (R. base y R. límite)
  - Sólo accesibles en modo privilegiado.



Particionamiento de memoria

Asignación Contigua

- S.O. mantiene información sobre:
  - Copia del valor de regs. valla de cada proceso en su BCP
  - En el contexto S.O. carga en regs. valor adecuado
  - Estado de ocupación de la memoria
  - Estructuras de datos que identifiquen huecos y zonas asignadas
  - Regiones de cada proceso
- Este esquema presenta fragmentación externa:
  - Se generan pequeños fragmentos libres entre zonas asignadas
- Posible solución: compactación –› proceso costoso

Particionamiento de memoria

Fragmentación Externa

- Espacio de memoria que queda entre bloques asignados a procesos.

Fragmentación Interna.

- Situación en la que la memoria asignada puede ser ligeramente mayor que la requerida, por ejemplo, cuando se redondea la cantidad de memoria asignada a un proceso.

Particionamiento de memoria

Política de Asignación de Espacio

- ¿Qué hueco usar para satisfacer una petición?
- Posibles políticas:
  - Primer ajuste: Asignar el primer hueco con tamaño suficiente
  - Mejor ajuste: Asignar el menor hueco con tamaño suficiente
    - Lista ordenada por tamaño o buscar en toda la lista
  - Peor ajuste : Asignar el mayor hueco con tamaño suficiente
    - Lista ordenada por tamaño o buscar en toda la lista
  - Primer ajuste es más eficiente y proporciona buen aprovechamiento de la memoria
- Estrategia más sofisticada: Sistema *Buddy*
  - Listas de huecos con tamaños potencias de 2

Particionamiento de memoria

Operaciones sobre regiones con asignación contigua

- Al crear proceso se le asigna zona de memoria de tamaño fijo
  - Suficiente para albergar regiones iniciales
  - Con huecos para permitir cambios de tamaño y añadir nuevas regiones (p.ej. bibliotecas dinámicas o pilas de threads)
- Difícil asignación adecuada
  - Si grande se desperdicia espacio, si pequeño se puede agotar
- Crear/liberar/cambiar tamaño usan la tabla de regiones para gestionar la zona asignada al proceso
- Duplicar región requiere crear región nueva y copiar contenido
- Limitaciones del hardware impiden compartir memoria y detectar accesos erróneos o desbordamiento de pila

Particionamiento de memoria

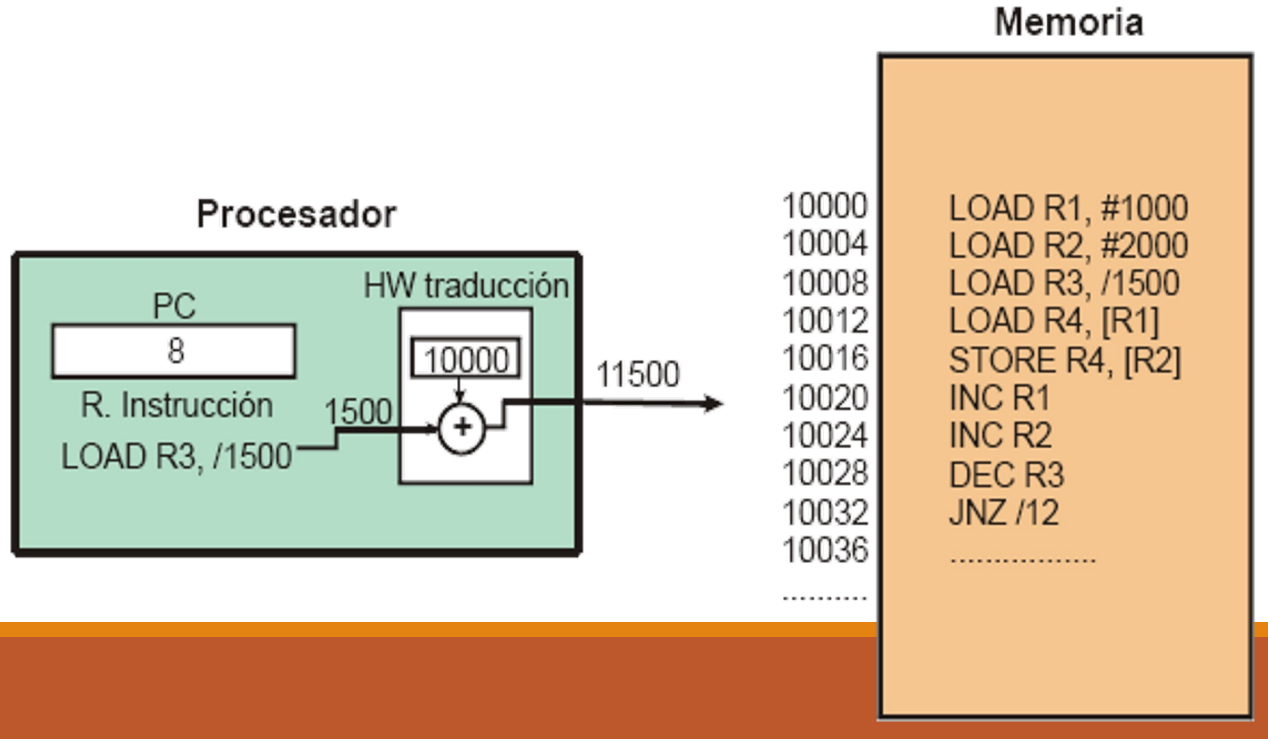
Valoración del Esquema de Asignación Contigua

- ¿Proporciona las funciones deseables en un gestor de memoria?
  - Espacios independientes para procesos:
    - mediante registros valla
  - Protección:
    - mediante registros valla
  - Compartir memoria:
    - no es posible
  - Soporte de regiones:
    - no existe
    - se reserva espacio para huecos
  - Maximizar rendimiento y mapas grandes
    - mal aprovechamiento de memoria por fragmentación externa
    - no permite memoria virtual

Particionamiento de memoria

Reubicación Hardware

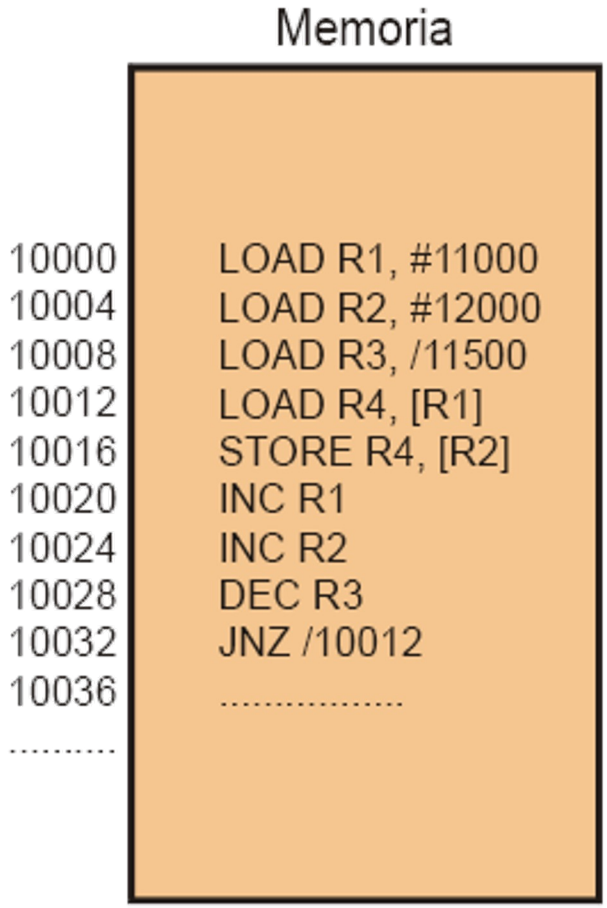
- Hardware (MMU) encargado de traducción
- S.O. se encarga de:
  - Almacena por cada proceso su función de traducción
  - Especifica al hardware qué función aplicar para cada proceso
- Programa se carga en memoria sin modificar



Particionamiento de memoria

Reubicación Software

- Traducción de direcciones durante carga del programa
  - Programa en memoria distinto del ejecutable
- Desventajas:
  - No asegura protección
  - No permite mover programa en tiempo de ejecución



Particionamiento de memoria

Intercambio

- ¿Qué hacer si no caben todos los programas en mem. principal?
- Uso de intercambio (*swapping*)
- *Swap*: partición de disco que almacena imágenes de procesos
- *Swap out*:
  - Cuando no caben en memoria procesos activos, se expulsa proceso de memoria copiando imagen a *swap*
  - Diversos criterios de selección del proceso a expulsar
    - P.ej. Dependiendo de prioridad del proceso
    - Preferiblemente un proceso bloqueado
    - No expulsar si está activo DMA sobre mapa del proceso
  - No es necesario copiar todo el mapa (ni código ni huecos)

Particionamiento de memoria

Intercambio

- *Swap in*:
  - Cuando haya espacio en memoria principal, se lee proceso a memoria copiando imagen desde *swap*
  - También cuando un proceso lleva un cierto tiempo expulsado
    - En este caso antes de *swap in*, hay *swap out* de otro
- Asignación de espacio en el dispositivo de *swap*:
  - Con preasignación: se asigna espacio al crear el proceso
  - Sin preasignación: se asigna espacio al expulsarlo
- Usado en primeras versiones de UNIX
- Solución general –› Uso de esquemas de memoria virtual
  - Aunque se sigue usando integrado con esa técnica

Índice

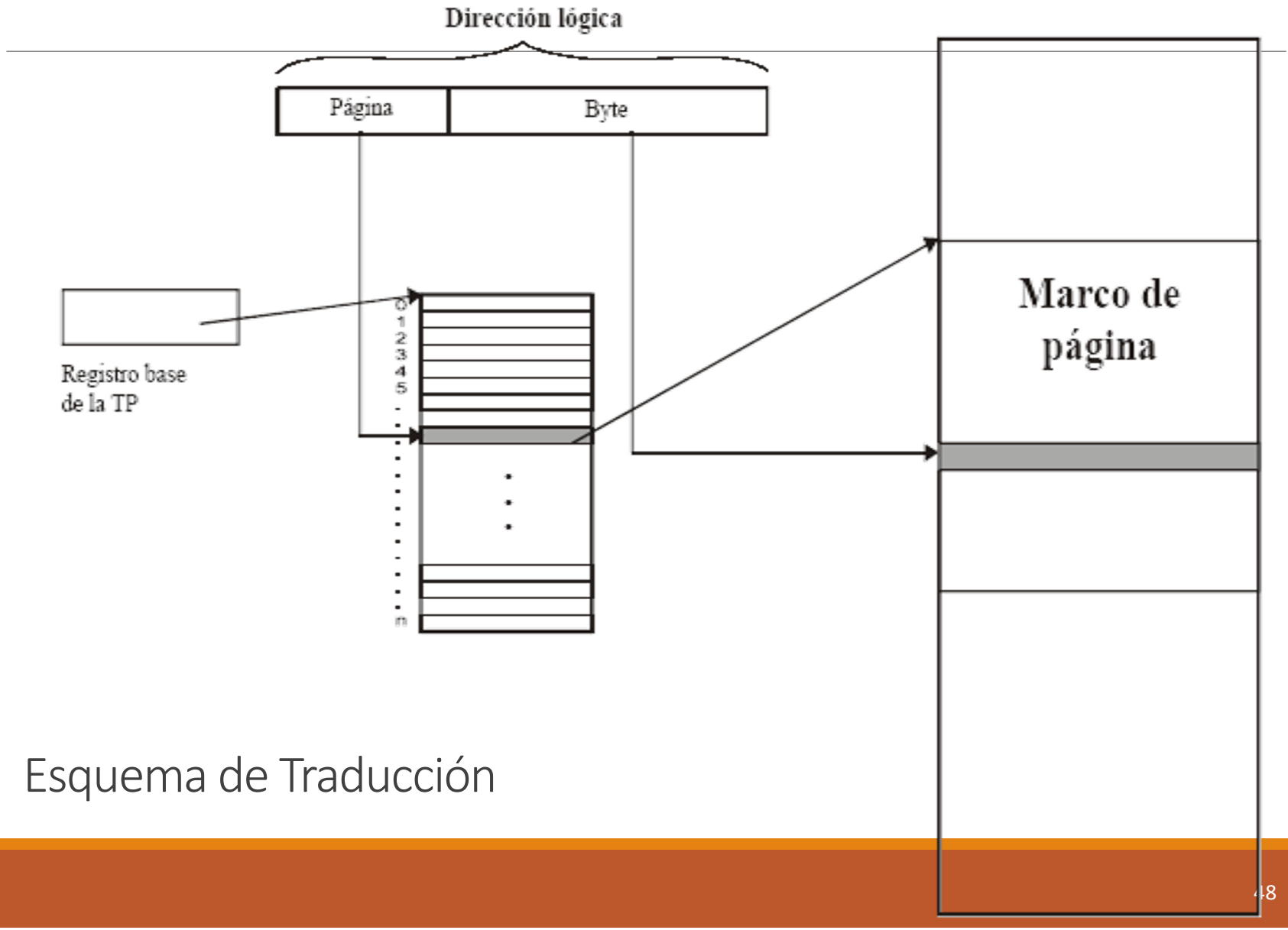
- Generalidades
- Objetivos del sistema de gestión de memoria
- Requerimientos para manejo de memoria
- Particionamiento de memoria
- Paginación y segmentación
- Memoria virtual
- Archivos proyectados en memoria

Paginación y segmentación

Paginación: Aspectos Hardware

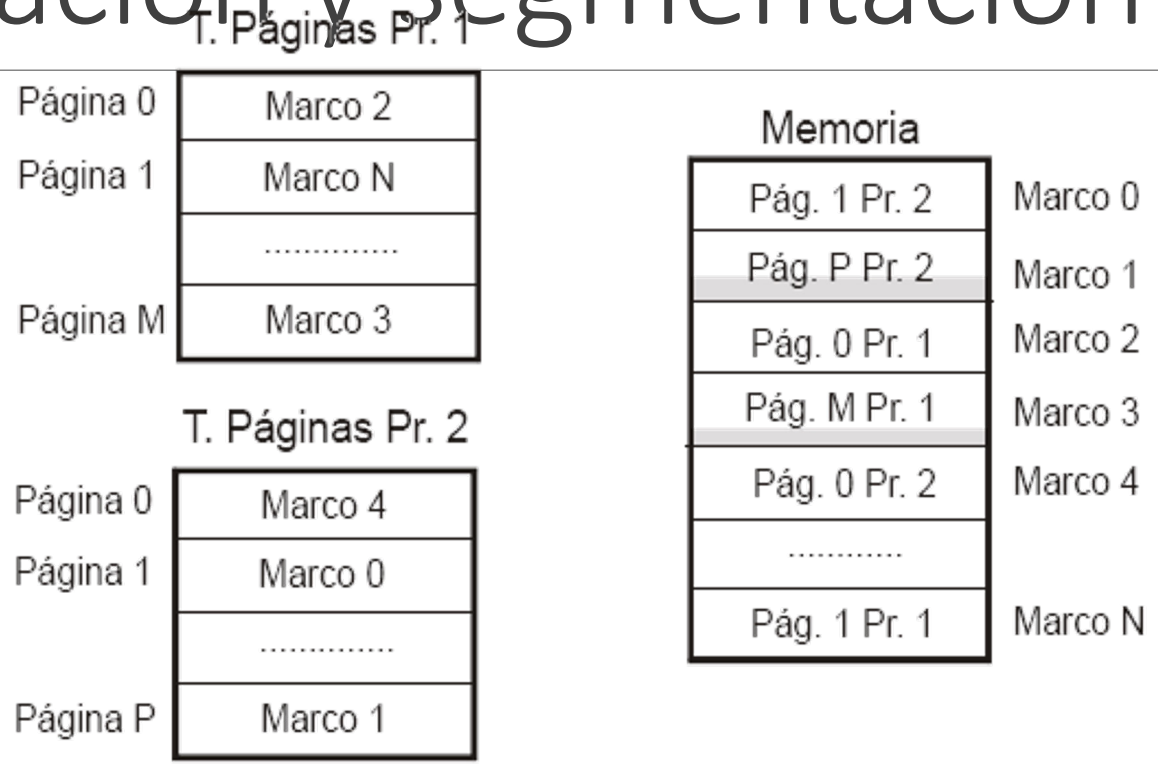
- Asignación no contigua.
- Unidad: página (tamaño potencia de 2)
- Mapa de memoria del proceso dividido en páginas
- Memoria principal dividida en marcos (tam. marco=tam. página)
- dir. lógica: nº página + desplazamiento
- Tabla de páginas (TP):
  - Relaciona cada página con el marco que la contiene
- MMU usa TP para traducir direcciones lógicas a físicas.
- Típicamente usa 2 TPs:
  - TP usuario: p.ej. dir. lógicas que empiezan por 0
  - TP sistema: p.ej. dir. lógicas que empiezan por 1
    - Sólo se permite usar estas direcciones en modo sistema
- Si mapa de E/S y memoria común: dir. lógica –› dir. de E/S

Paginación y segmentación



Esquema de Traducción

Paginación y segmentación



Fragmentación Externa en Paginación

- mem. asignada > mem. requerida
  - – puede desperdiciarse parte de un marco asignado

Paginación y segmentación

Contenido de Entrada de TP

- Número de marco asociado
- Información de protección: RWX
  - Si operación no permitida –› Excepción
- Bit de página válida/inválida
  - Si se accede –› Excepción
  - Usado en mem. virtual para indicar si página presente
- Bit de página accedida (*Ref*)
  - MMU lo activa cuando se accede a esta página
- Bit de página modificada (*Mod*)
  - MMU lo activa cuando se escribe en esta página
- Bit de desactivación de cache:
  - se usa cuando la entrada corresponde con direcciones de E/S

Paginación y segmentación

Tamaño de la Página

- Condicionado por diversos factores contrapuestos:
  - Potencia de 2 y múltiplo del tamaño del bloque de disco
  - Mejor pequeño por:
    - Menor fragmentación
    - Se ajusta mejor al conjunto de trabajo
  - Mejor grande por:
    - Tablas más pequeñas
    - Mejor rendimiento del dispositivo de E/S
- Compromiso (entre 2K y 16K)

Paginación y segmentación

Gestión del S.O.

- S.O. mantiene una TP por cada proceso
  - En c. contexto notifica a MMU cuál debe usar
- S.O. mantiene una única TP para el propio S.O.
  - Proceso en modo sistema accede directamente a su mapa y al del SO
- S.O. mantiene tabla de marcos:
  - estado de cada marco (libre o ocupado, ...)
- S.O. mantiene tabla de regiones por cada proceso
- Mucho mayor gasto en tablas que con asignación contigua
  - Es el precio de mucha mayor funcionalidad

Paginación y segmentación

Valoración de la Paginación

- ¿Proporciona las funciones deseables en un gestor de memoria?
  - Espacios independientes para procesos:
    - mediante TP
  - Protección:
    - mediante TP
  - Compartir memoria:
    - entradas corresponden con mismo marco
  - Soporte de regiones:
    - bits de protección
    - bit de validez: no se reserva espacio para huecos
  - Maximizar rendimiento y mapas grandes
    - permite esquemas de memoria virtual

Paginación y segmentación

Implementación de TP

- TPs se mantiene normalmente en memoria principal
- 2 problemas: eficiencia y gasto de almacenamiento
- Eficiencia:
  - Cada acceso lógico requiere dos accesos a memoria principal
    - a la tabla de páginas + al propio dato o instrucción
  - Solución: *cache* de traducciones –› TLB
- Gasto de almacenamiento:
  - Tablas muy grandes
  - Ejemplo: páginas 4K, dir. lógica 32 bits y 4 bytes por entrada
    - Tamaño TP: 2^20 *4 = 4MB/proceso
  - Solución:
    - Tablas multinivel
    - Tablas invertidas

Paginación y segmentación

Translation Look-aside Buffer (TLB)

- Memoria asociativa con info. sobre últimas páginas accedidas
  - *cache* de entradas de TP correspondientes a estos accesos
- 2 alternativas:
  - Entradas en TLB no incluyen información sobre proceso
    - Invalidar TLB en cambios de contexto
  - Entradas en TLB incluyen información sobre proceso
    - Registro de UCP debe mantener un ident. de proceso actual
- Gestionada por HW:
  - MMU consulta TLB: Si fallo usa la TP en memoria
  - "Casi" trasparente al S.O.
    - Volcar a TP en c.contexto para actualizar *Ref* y *Mod*
    - Invalidar, si entradas no incluyen información del proceso
- Diseño alternativo: TLB gestionada por SW

Paginación y segmentación

TLB gestionada por SW

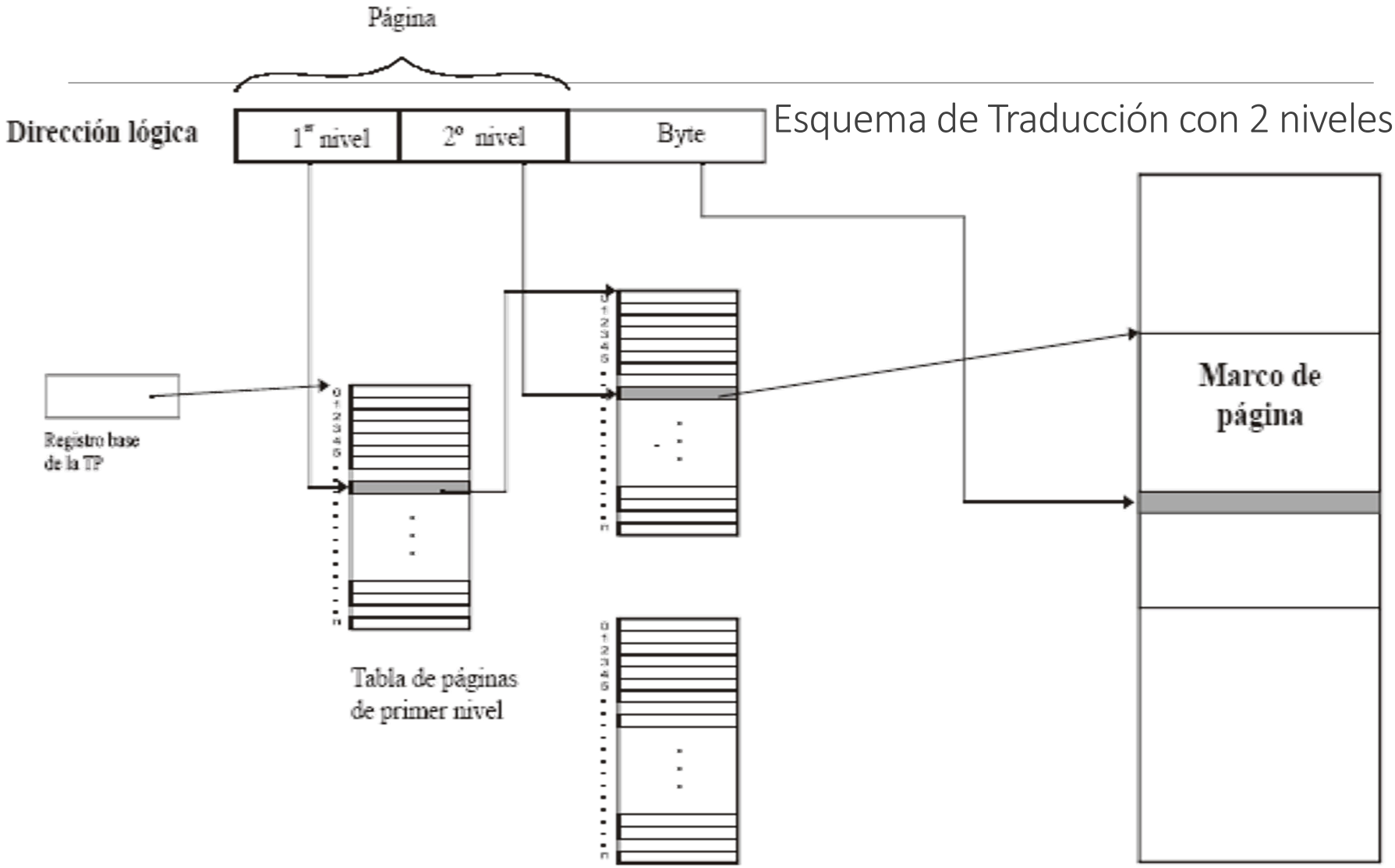
- Organización alternativa bastante usada actualmente
  - Traspasar al S.O. parte del trabajo de traducción
- MMU no usa tablas de páginas, sólo consulta TLB
- S.O. mantiene TPs que son independientes del HW
- Fallo en TLB –›Excepción.
- S.O. se encarga de:
  - Buscar “a mano” en TP la traducción
  - Rellenar (con posible reemplazo) TLB con la traducción
- Proporciona flexibilidad en diseño de S.O. pero menor eficiencia

Paginación y segmentación

TP Multinivel

- Tablas de páginas organizadas en M niveles:
  - Entrada de TP de nivel K apunta a TP de nivel K+1
  - Entrada de último nivel apunta a marco de página
- Dirección lógica especifica la entrada a usar en cada nivel:
  - 1 campo por nivel + desplazamiento
  - 1 acceso lógico –› M + 1 accesos a memoria
  - Uso de TLB
- Si todas las entradas de una TP son inválidas
  - No se almacena esa TP
  - Se pone inválida la entrada correspondiente de la TP superior

Paginación y segmentación



Esquema de Traducción con 2 niveles

Paginación y segmentación

Ventajas de Tabla Multinivel

- Si proceso usa una parte pequeña de su espacio lógico
  - Ahorro en espacio para almacenar TPs
- Ejemplo: Proceso que usa 12MB superiores y 4MB inferiores
  - 2 niveles, páginas de 4K, dir. lógica 32 bits (10 bits por nivel) y 4 bytes por entrada
  - Tamaño: 1 TP N1 + 4 TP N2= 5 * 4KB = 20KB (frente a 4MB)
- Ventajas adicionales:
  - Permite compartir TPs intermedias
  - Sólo se requiere que esté en memoria la TP de nivel superior
  - TPs restantes pueden estar en disco y traerse por demanda

Paginación y segmentación

TP Invertida

- Procesadores actuales espacio lógico enorme (dirs. de 64 bits)
  - TPs muy grandes incluso usando multinivel
- Posible solución alternativa: Uso de TPs invertidas
  - Una entrada por cada marco indica página almacenada en él
    - Tamaño de TP proporcional a memoria principal
  - Es necesario guardar núm. de página e id. de proceso
- Procedimiento de traducción:
  - MMU usa TLB convencional
  - Si fallo en TLB –› MMU busca traducción en TP invertida
- Para evitar búsqueda secuencial en TP invertida:
  - Se organiza como una tabla *hash*
  - Difícil implementar compartición
- Hay que tener en cuenta que aunque TP pequeña, S.O. debe guardar info. de páginas no residentes

Paginación y segmentación

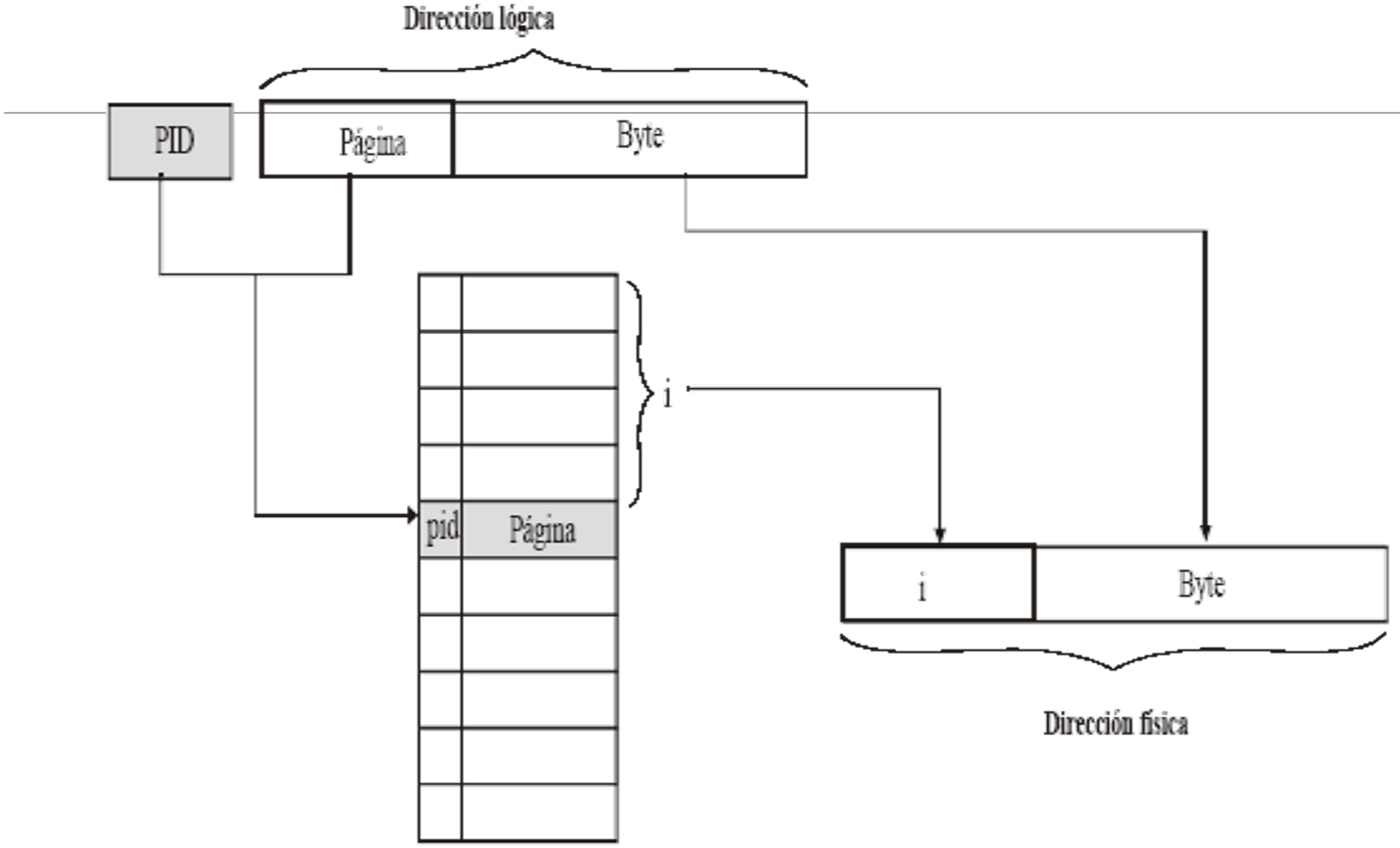


Tabla de páginas invertida

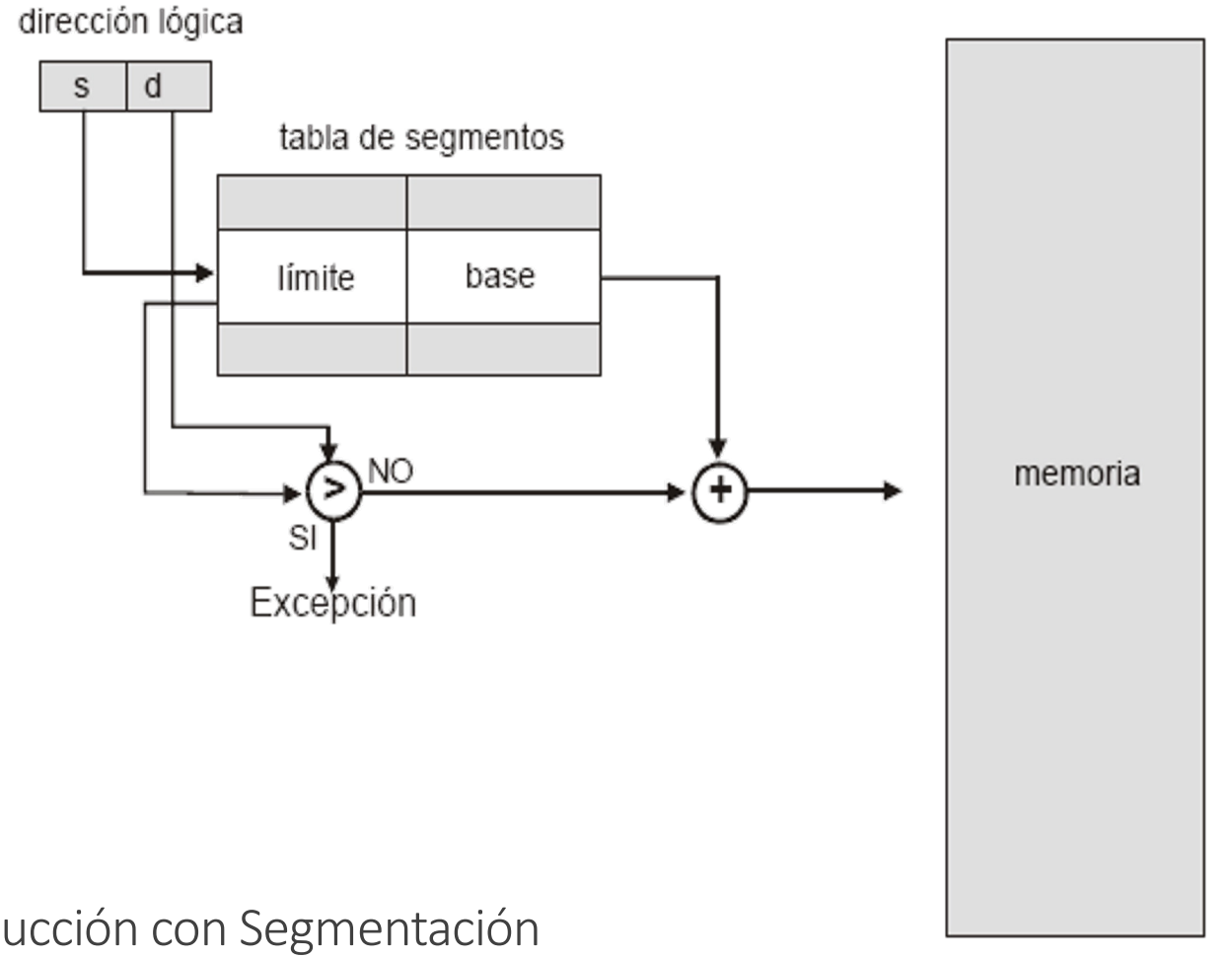
Esquema de Traducción con TP Invertida

Paginación y segmentación

Segmentación

- Esquema HW que intenta dar soporte directo a las regiones
- Generalización de reg base y límite: 1 pareja por cada segmento
- Dirección lógica: núm. de segmento + dirección en el segmento
- MMU usa una tabla de segmentos (TS)
- S.O. mantiene una TS por proceso
  - en c.contexto notifica a MMU cuál debe usar
- Entrada de TS contiene (entre otros):
  - r. base y límite del segmento
  - protección: RWX
- Fragmentación externa: segmento es la unidad de asignación
- S.O. mantiene información sobre estado de la memoria:
  - Estructuras de datos que identifiquen huecos y zonas asignadas

Paginación y segmentación



Esquema de Traducción con Segmentación

Paginación y segmentación

Valoración de la Segmentación

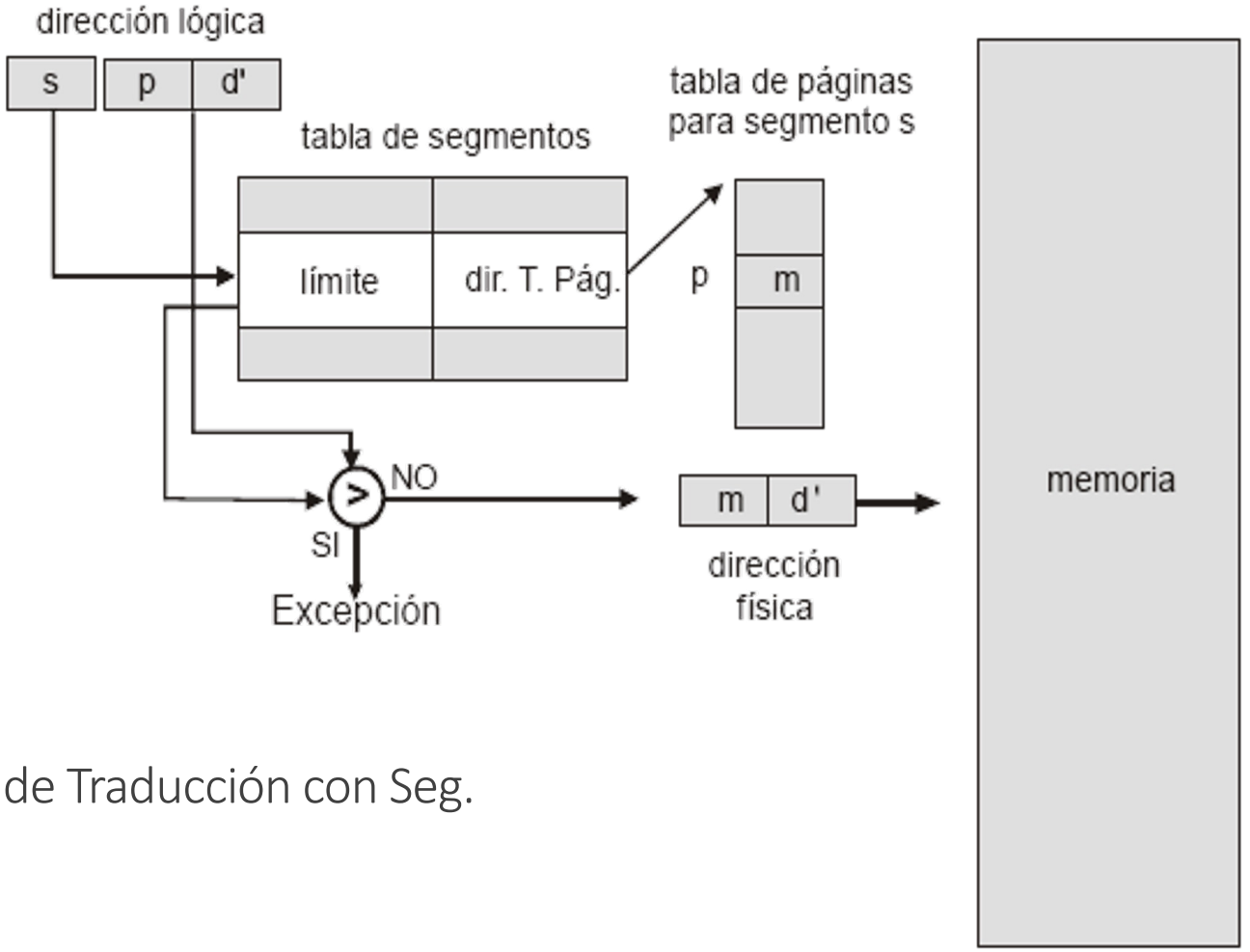
- ¿Proporciona las funciones deseables en un gestor de memoria?
  - Espacios independientes para procesos:
    - mediante TS
  - Protección:
    - mediante TS
  - Compartir memoria:
    - compartir segmentos: misma entrada en diferentes TS
  - Soporte de regiones:
    - bits de protección
  - Maximizar rendimiento y mapas grandes
    - presenta fragmentación externa
    - no facilita esquemas de memoria virtual debido a tamaño variable de segmentos
- Esquema apenas usado

Paginación y segmentación

Segmentación Paginada

- Entrada en TS apunta a una TP para el segmento
- “Lo mejor de los dos mundos”
- Segmentación:
  - Soporte directo de segmentos
  - Facilita operaciones sobre regiones:
    - Establecer protección –› Modificar sólo una entrada de TS
    - Definir compartición de segmento –› entradas de TS apuntando a la misma TP de segmento
- Paginación:
  - Asignación no contigua de segmento
  - Fragmentación interna

Paginación y segmentación



Esquema de Traducción con Seg. Paginada

Paginación y segmentación

Valoración de la Seg. Paginada

- ¿Proporciona las funciones deseables en un gestor de memoria?
  - Espacios independientes para procesos:
    - mediante TS
  - Protección:
    - mediante TS
  - Compartir memoria:
    - compartir segmentos: misma entrada en diferentes TS
  - Soporte de regiones:
    - bits de protección
  - Maximizar rendimiento y mapas grandes
  - permite esquemas de memoria virtual
- Frente a paginación:
  - Facilita al SO gestión de regiones pero requiere HW más complejo

Índice

- Generalidades
- Objetivos del sistema de gestión de memoria
- Requerimientos para manejo de memoria
- Particionamiento de memoria
- Paginación y segmentación
- Memoria virtual
- Archivos proyectados en memoria

Memoria Virtual

M. virtual: S.O. gestiona niveles de M. principal y M. secundaria

- Transferencia de *bloques* entre ambos niveles
- De M. secundaria a principal: por demanda
- De M. principal a secundaria: por expulsión

Aplicable porque procesos exhiben proximidad de referencias

- Procesos sólo usan parte de su mapa en intervalo de tiempo
- M. virtual: intentar que parte usada (*conjunto de trabajo*) resida en m. principal (*conjunto residente*)

Dirección lógica ‹–› Dirección virtual

Beneficios:

- Aumenta el grado de multiprogramación
- Permite ejecución de programas que no quepan en mem. ppal

No adecuada para sistemas de tiempo real

Normalmente basada en paginación

Memoria Virtual

Paginación por Demanda

- Segmentación pura no adecuada para memoria virtual
  - tamaño de segmentos variable
- Paginación y segmentación paginada sí lo son:
  - Bloque transferido –› Página
  - M. virtual + Paginación –› Paginación por demanda
- Estrategia de implementación: Uso del bit de validez
  - Página no residente se marca como no válida
  - En acceso: Excepción de fallo de página
    - S.O. trae la página correspondiente de mem. secundaria
    - S.O. debe diferenciar entre pág. no residente y pág. inválida
- Prepaginación: Traer páginas por anticipado (no por demanda)
  - En fallo de página se traen además otras páginas que se considera que necesitará el proceso
- Beneficiosa dependiendo de si hay acierto en la predicción

Memoria Virtual

Tratamiento del Fallo de Página

- Tratamiento de excepción (dirección de fallo disponible en reg.)
  - Si dirección inválida –› Aborta proceso o le manda señal
  - Si no hay ningún marco libre (consulta T. marcos)
    - Selección de víctima (Alg. de reemplazo): pág P marco M
      - Marca P como inválida
    - Si P modificada (bit *Mod* de P activo)
      - Inicia escritura P en mem. secundaria
  - Hay marco libre (se ha liberado o lo había previamente):
    - Inicia lectura de página en marco M
    - Marca entrada de página válida referenciando a M
    - Pone M como ocupado en T. marcos (si no lo estaba)
- Fallo de página puede implicar dos operaciones en disco

Memoria Virtual

Políticas de Administración de Memoria Virtual

- Política de reemplazo:
  - ¿Qué página reemplazar si hay fallo y no hay marco libre?
  - Reemplazo local
    - sólo puede usarse para reemplazo un marco asignado al proceso que causa fallo
  - Reemplazo global
    - puede usarse para reemplazo cualquier marco
- Política de asignación de espacio a los procesos:
  - ¿Cómo se reparten los marcos entre los procesos?
  - Asignación fija o dinámica

Memoria Virtual

Algoritmos de Reemplazo

- Objetivo: Minimizar la tasa de fallos de página.
- Cada algoritmo descrito tiene versión local y global:
  - local: criterio se aplica a las páginas residentes del proceso
  - global: criterio se aplica a todas las páginas residentes
- Algoritmos presentados
  - Óptimo
  - FIFO
  - Reloj (o segunda oportunidad)
  - LRU
- Uso de técnicas de *buffering* de páginas

Memoria Virtual

Algoritmos de Reemplazo - Algoritmo Óptimo

- Criterio: página residente que tardará más en accederse
- Irrealizable
- Versión local y global
- Interés para estudios analíticos comparativos

Memoria Virtual

Algoritmos de reemplazo - Algoritmo FIFO

- Criterio: página que lleva más tiempo residente
- Fácil implementación:
  - páginas residentes en orden FIFO –› se expulsa la primera
  - no requiere el bit de página accedida (*Ref*)
- No es una buena estrategia:
  - Página que lleva mucho tiempo residente puede seguir accediéndose frecuentemente
  - Su criterio no se basa en el uso de la página
- Anomalía de Belady
  - Se pueden encontrar ejemplos que al aumentar el número de marcos aumenta el número de fallos de página

Memoria Virtual

Algoritmos de reemplazo - Algoritmo del Reloj (o 2ª oportunidad)

- FIFO + uso de bit de referencia *Ref* (de página accedida)
- Criterio:
  - si página elegida por FIFO no tiene activo *Ref*
    - es la página expulsada
  - si lo tiene activo (2ª oportunidad)
    - se desactiva *Ref*
    - se pone página al final de FIFO
    - se aplica criterio a la siguiente página
- Se puede implementar orden FIFO como lista circular con una referencia a la primera página de la lista:
  - Se visualiza como un reloj donde la referencia a la primera página es la aguja del reloj

Memoria Virtual

Algoritmos de reemplazo - Algoritmo LRU

- Criterio: página residente menos recientemente usada
- Por proximidad de referencias:
  - Pasado reciente condiciona futuro próximo
- Sutileza:
  - En su versión global: menos recientemente usada en el tiempo lógico de cada proceso
- Difícil implementación estricta (hay aproximaciones):
  - Precisaría una MMU específica
- Posible implementación con HW específico:
  - En entrada de TP hay un contador
  - En cada acceso a memoria MMU copia contador del sistema a entrada referenciada
  - Reemplazo: Página con contador más bajo

Memoria Virtual

Buffering de Páginas

- Peor caso en tratamiento de fallo de página:
  - 2 accesos a dispositivo
- Alternativa: mantener una reserva de marcos libres
- Fallo de página: siempre usa marco libre (no reemplazo)
- Si número de marcos libres < umbral
  - "demonio de paginación" aplica repetidamente el algoritmo de reemplazo:
    - páginas no modificadas pasan a lista de marcos libres
    - páginas modificadas pasan a lista de marcos modificados
  - cuando se escriban a disco pasan a lista de libres
  - pueden escribirse en tandas (mejor rendimiento)
- Si se referencia una página mientras está en estas listas:
  - fallo de página la recupera directamente de la lista (no E/S)
  - puede arreglar el comportamiento de algoritmos "malos"

Memoria Virtual

Retención de Páginas en Memoria

- Páginas marcadas como no reemplazables
- Se aplica a páginas del propio S.O.
  - S.O. con páginas fijas en memoria es más sencillo
- También se aplica mientras se hace DMA sobre una página
- Algunos sistemas ofrecen a aplicaciones un servicio para fijar en memoria una o más páginas de su mapa
  - Adecuado para procesos de tiempo real
  - Puede afectar al rendimiento del sistema
  - En POSIX servicio mlock

Memoria Virtual

Estrategia de Asignación Fija

- Número de marcos asignados al proceso (conjunto residente) es constante
- Puede depender de características del proceso:
  - tamaño, prioridad,...
- No se adapta a las distintas fases del programa
- Comportamiento relativamente predecible
- Sólo tiene sentido usar reemplazo local
- Arquitectura impone nº mínimo:
  - Por ejemplo: instrucción MOVE /DIR1, /DIR2 requiere un mínimo de 3 marcos:
    - instrucción y dos operandos deben estar residentes para ejecutar la instrucción

Memoria Virtual

Estrategia de Asignación Dinámica

- Número de marcos varía dependiendo de comportamiento del proceso (y posiblemente de los otros procesos)
- Asignación dinámica + reemplazo local
  - proceso va aumentando o disminuyendo su conjunto residente dependiendo de su comportamiento
  - comportamiento relativamente predecible
- Asignación dinámica + reemplazo global
  - procesos se quitan las páginas entre ellos
  - comportamiento difícilmente predecible

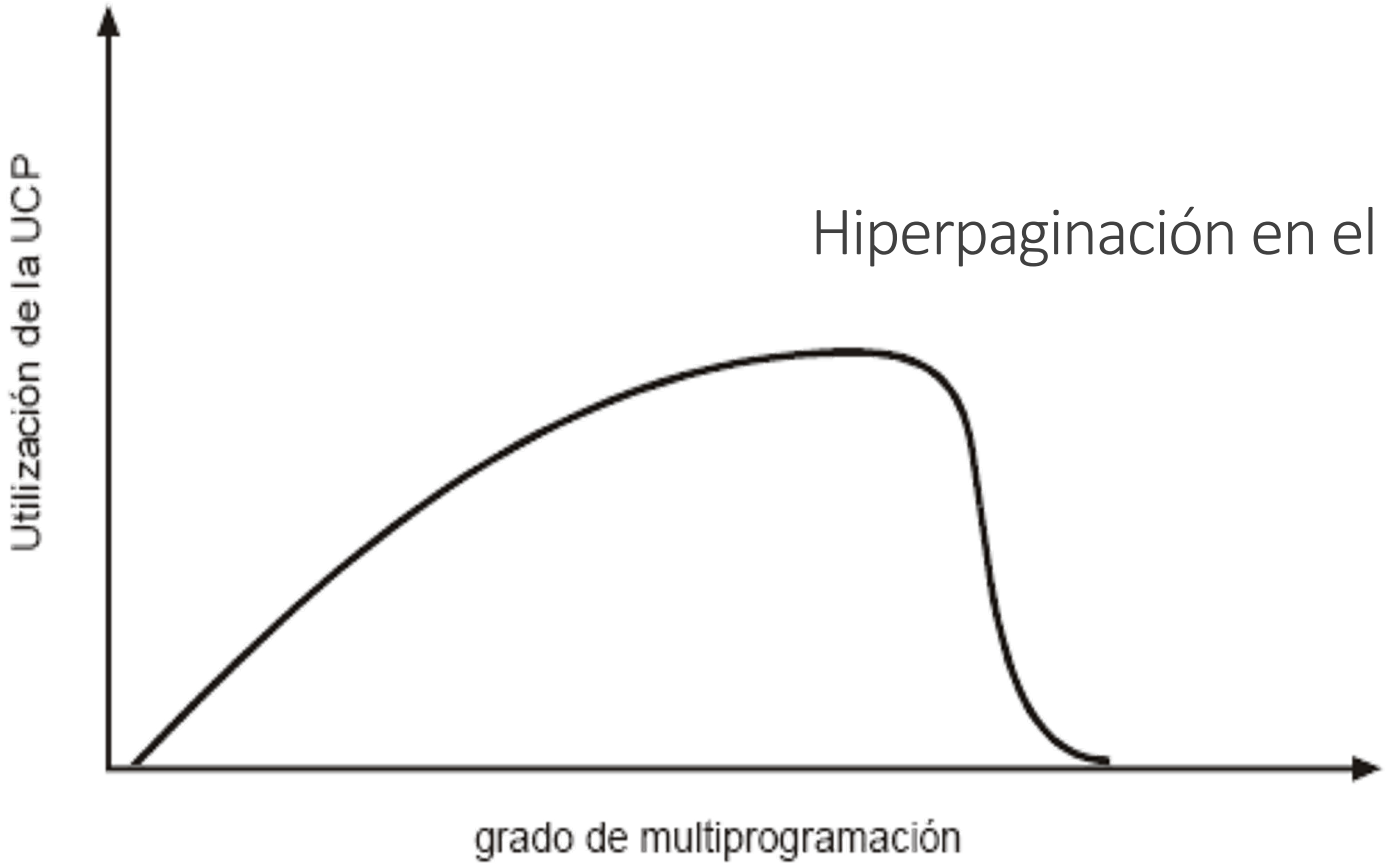
Memoria Virtual

Hiperpaginación (Trashing)

- Tasa excesiva de fallos de página de un proceso o en el sistema
- Con asignación fija: Hiperpaginación en Pi
  - Si conjunto residente de Pi < conjunto de trabajo Pi
- Con asignación variable: Hiperpaginación en el sistema
  - Si nº marcos disponibles < S conjuntos de trabajo de todos
  - Grado de utilización de UCP cae drásticamente
  - Procesos están casi siempre en colas de dispositivo de paginación
  - Solución (similar al *swapping*): Control de carga
    - disminuir el grado de multiprogramación
    - suspender 1 o más procesos liberando sus páginas residentes
  - Problema: ¿Cómo detectar esta situación?

Memoria Virtual

Hiperpaginación en el Sistema



Memoria Virtual

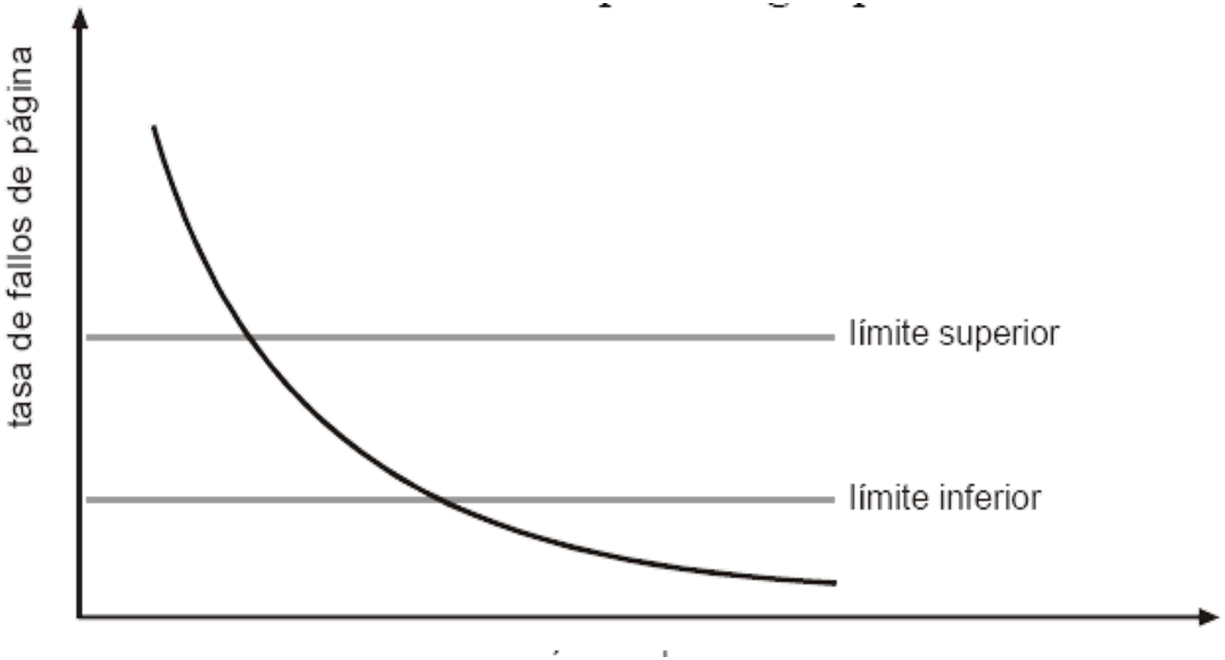
Estatregia del Conjunto de Trabajo

- Intentar conocer el conjunto de trabajo de cada proceso
  - páginas usadas por el proceso en las últimas N referencias
- Si conjunto de trabajo decrece se liberan marcos
- Si conjunto de trabajo crece se asignan nuevos marcos
  - si no hay disponibles: suspender proceso(s)
  - se reactivan cuando hay marcos suficientes para c. de trabajo
- Asignación dinámica con reemplazo local
- Difícil implementación estricta
  - precisaría una MMU específica
- Se pueden implementar aproximaciones:
  - Estrategia basada en frecuencia de fallos de página (PFF):
    - Controlar tasa de fallos de página de cada proceso

Memoria Virtual

Estrategia basada en Frecuencia de Fallos

- Si tasa < límite inferior se liberan marcos aplicando un algoritmo de reemplazo
- Si tasa > límite superior se asignan nuevos marcos
  - Si no marcos libres se suspende algún proceso



Memoria Virtual

Control de Carga y Reemplazo Global

- Algoritmos de reemplazo global no controlan hiperpaginación
  - ¡Incluso el óptimo!
  - Necesitan cooperar con un algoritmo de control de carga
- Ejemplo: UNIX 4.3 BSD
  - Reemplazo global con algoritmo del reloj
    - Variante con dos “manecillas”
  - Uso de *buffering* de páginas
    - “demonio de paginación” controla nº de marcos libres
  - Si número de marcos libres < umbral
    - “demonio de paginación” aplica reemplazo
  - Si se repite con frecuencia la falta de marcos libres:
    - Proceso “swapper” suspende procesos

Memoria Virtual

Dispositivo de Paginación (Swap)

- Preasignación de espacio
  - Cuando se crea una región se le asigna espacio en *swap*
  - Al expulsar una página siempre tiene espacio reservado
  - Permite detectar sincronamente la falta de espacio de *swap*
- Sin preasignación de espacio
  - No se asigna espacio en *swap* al crear la región
  - En primera expulsión se le asigna espacio en *swap*
  - Página que nunca se expulsa no gasta espacio en *swap*
  - Mejor aprovechamiento de espacio de almacenamiento
- Mientras no se modifique la página no va a *swap*
- Regiones compartidas no usan normalmente el *swap*
- Algunos sistemas permiten añadir dispositivos de paginación dinámicamente e incluso usar archivos como *swap*
  - Acceso a archivos más lento que acceso a dispositivos

Memoria Virtual

Operaciones sobre Regiones con M. Virtual

- Creación de región
  - Al crear mapa inicial o por solicitud posterior
- Liberación de región
  - Al terminar el proceso o por solicitud posterior
- Cambio de tamaño de región
  - Del heap o de la pila
- Duplicado de región
  - Operación requerida por el servicio FORK de POSIX

Memoria Virtual

Creación de Región

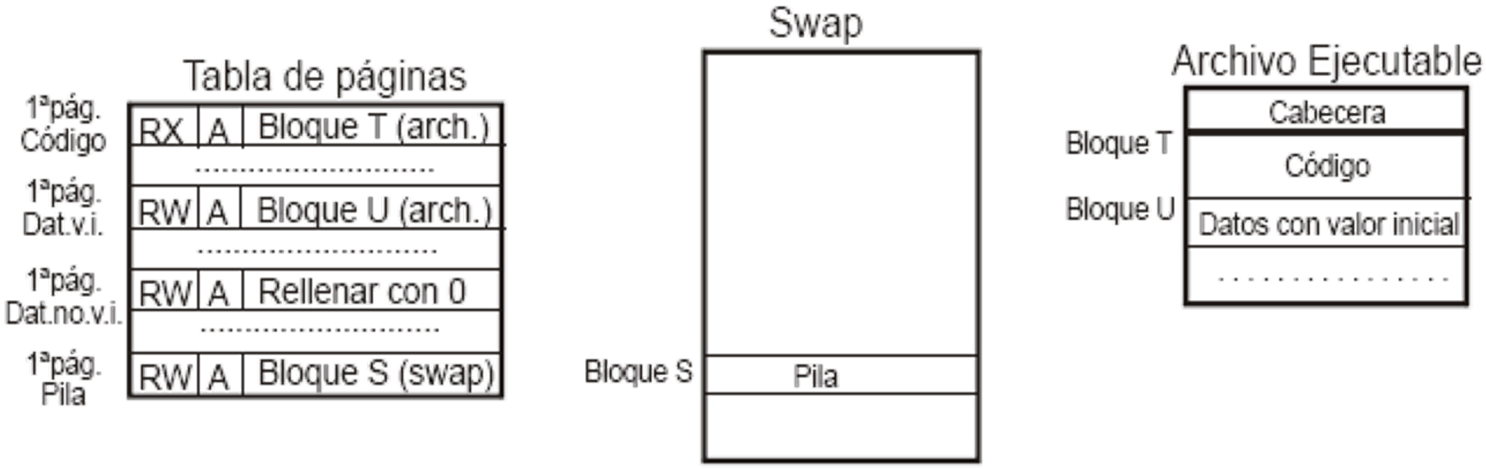
- Nueva región no se le asigna m. principal (carga por demanda)
- Págs. de región se marcan como inválidas pero válidas para S.O.
- S.O. actualiza t. de regiones y entradas de t. de págs. Asociadas
  - Debe buscar hueco en mapa para asignar a nueva región
- Dependiendo del tipo de soporte:
  - Soporte en archivo
    - Páginas se marcan como *Cargar de archivo (CA)*
    - Se almacena dirección del bloque del archivo correspondiente
  - Sin soporte
    - Por seguridad, págs. se marcan como *Rellenar con ceros (RC)*
    - Fallo de página no implica lectura de dispositivo
- Si privada y preasignación de *swap*, se reserva espacio de *swap*
- Pila es "especial": debe contener argumentos del programa
  - Típicamente se copian args. en bloque(s) de *swap*

Memoria Virtual

Creación de Región

- Una vez creada región, cuando se expulsa página modificada
  - Si la región es privada se escribe página en *swap*
    - Si no preasignación de swap en 1ª expulsión se reserva espacio
    - Posteriores fallos se sirven de ese bloque de *swap*
  - Si la región es compartida se escribe página en soporte
    - Todos los fallos se sirven del soporte
- En creación de mapa inicial (EXEC en POSIX):
  - Se crean regiones según sus características
    - Código: CA, Compartida, RX
    - Datos v. inicial: CA, Privada, RW
    - Datos sin v. inicial: RC, Privada, RW
    - Pila inicial: contenido inicial en swap
  - Huecos se marcan como inválidos también para S.O.

Memoria Virtual



Creación del Mapa Inicial

Memoria Virtual

Liberación de Región

- Actualizar tabla de regiones para eliminar región
- Marcar como inválidas páginas asociadas
- Si región privada, se libera espacio de *swap*
- La liberación puede deberse a:
  - Solicitud explícita (p.ej. desproyección de región)
  - Finalización del proceso (EXIT en POSIX)
  - EXEC de POSIX libera mapa actual del proceso antes de construir nuevo mapa vinculado a ejecutable

Memoria Virtual

Cambio de Tamaño

- Si disminuye, similar a liberación pero sólo parte afectada
  - Ajusta t. regiones, marca págs. como inválidas y libera swap
- Si aumenta tamaño:
  - Comprobar no solapamiento
  - Fijar nuevas páginas como no residentes y con mismas características que otras páginas de la región
  - Si preasignación: reserva espacio en *swap* para nuevas págs.
- Expansión del heap
  - Solicitada por programa mediante servicio de S.O.
  - Marca páginas correspondientes como RC, privadas, RW
- Expansión de pila más compleja: es “automática”

Memoria Virtual

Expansión de la Región de Pila

- Expansión "automática"
  - Programa disminuye valor de SP y accede a zona expandida
    - Fallo de página
- Tratamiento de fallo de página:
  - Si dirección realmente inválida
    - Si dirección < SP –› Aborta proceso o le manda señal
    - Si no –› Expansión de pila
- Expansión de pila:
  - S.O. verifica que no hay solapamiento
  - Marca páginas como RC, privadas, RW
  - Si preasignación: reserva espacio en *swap*
- Sutileza: Siempre debe haber al menos una página inválida entre pila y región más cercana

Memoria Virtual

Duplicado de una Región

- Necesario para FORK de UNIX
  - Duplicar regs. privadas del padre y compartir las no privadas
- Copia de región de un proceso en mapa de otro
  - Operación costosa: se debe copiar contenido
- FORK sería muy ineficiente
  - Además, en la mayoría de los casos el mapa duplicado del hijo apenas se usa ya que después viene un EXEC
- Optimización: *copy-on-write* (COW)
  - Se comparte una página mientras no se modifique
  - Si un proceso la modifica se crea una copia para él
  - “Duplicado por demanda”

Memoria Virtual

Copy-on-Write

- Implementación de COW
  - Se comparten páginas de regiones duplicadas pero:
    - se marcan de sólo lectura y con bit de COW
    - primera escritura –› Fallo de protección –› copia privada
  - Puede haber varios procesos con misma región duplicada
    - Existe un contador de uso por página
    - Cada vez que se crea copia privada se decrementa contador
    - Si llega a 1, se desactiva COW ya que no hay duplicados
- FORK con COW
  - Se comparten todas las regiones
  - Las regiones privadas se marcan como COW en padre e hijo
- Resultado de la optimización del FORK:
  - En vez de duplicar espacio de memoria sólo se duplica la TP

Índice

- Generalidades
- Objetivos del sistema de gestión de memoria
- Requerimientos para manejo de memoria
- Particionamiento de memoria
- Paginación y segmentación
- Memoria virtual
- Archivos proyectados en memoria

Archivos Proyectados en Memoria

Generalización de memoria virtual

- Entradas de TP referencian a un archivo de usuario

Programa solicita proyección de archivo (o parte) en su mapa

- Puede especificar protección y si privada o compartida

S.O. rellena entradas correspondientes con:

- No residente, CA
- Privada/Compartida y Protección según especifica la llamada

Cuando programa accede a posición de memoria asociada a archivo proyectado, está accediendo al archivo

Archivos Proyectados en Memoria

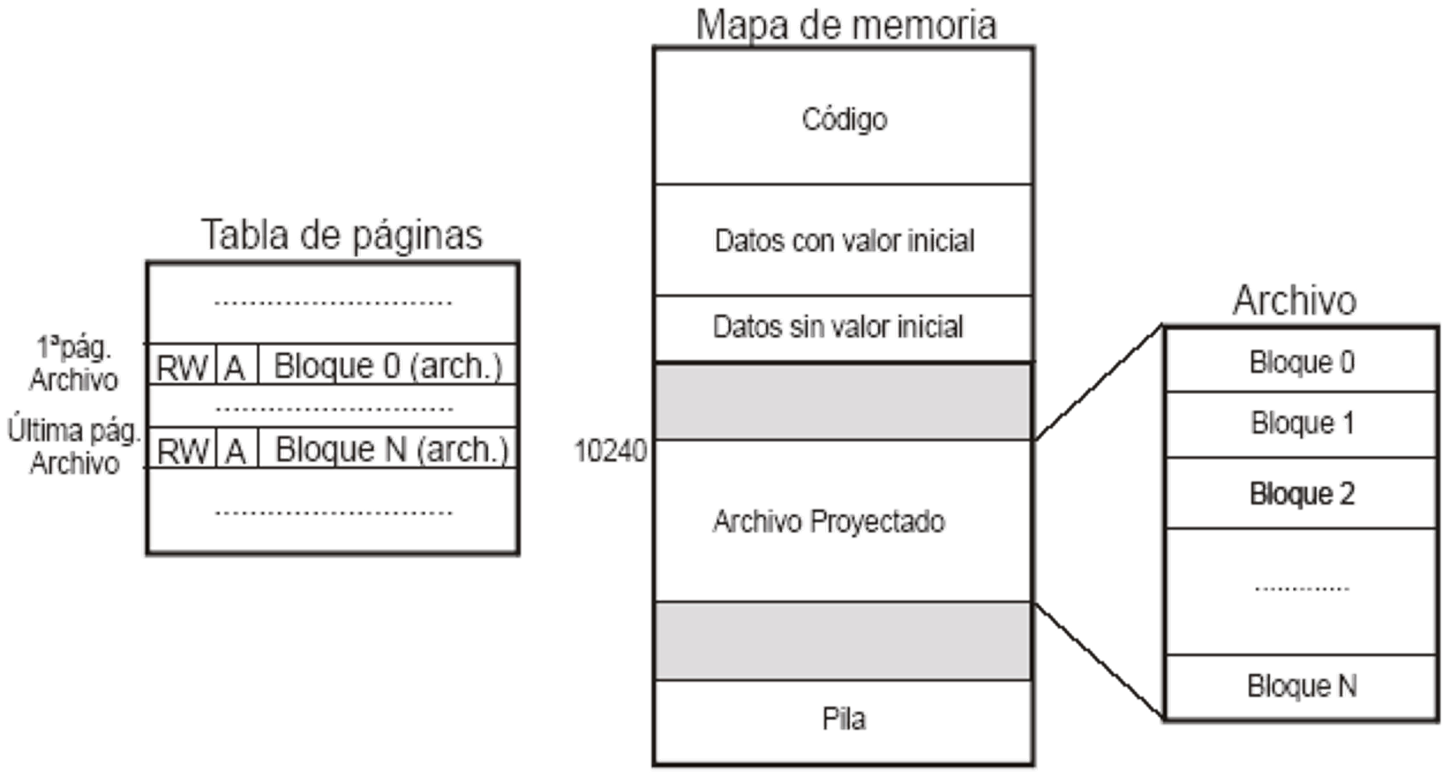
Forma alternativa de acceso a archivos frente a *read*/*write*

- Menos llamadas al sistema
- Se evitan copias intermedias en cache del sistema de archivos
- Se facilita programación ya que una vez proyectado se accede a archivo como a estructuras de datos en memoria

Se usa para carga de bibliotecas dinámicas

- La zona de código se proyecta como compartida
- La zona de datos con valor inicial se proyecta como privada

Archivos Proyectados en Memoria



Technique	Description	Strengths	Weaknesses
Fixed Partitioning	Main memory is divided into a number of static partitions at system generation time. A process may be loaded into a partition of equal or greater size.	Simple to implement; little operating system overhead.	Inefficient use of memory due to internal fragmentation; maximum number of active processes is fixed.
Dynamic Partitioning	Partitions are created dynamically, so that each process is loaded into a partition of exactly the same size as that process.	No internal fragmentation; more efficient use of main memory.	Inefficient use of processor due to the need for compaction to counter external fragmentation.
Simple Paging	Main memory is divided into a number of equal-size frames. Each process is divided into a number of equal-size pages of the same length as frames. A process is loaded by loading all of its pages into available, not necessarily contiguous, frames.	No external fragmentation.	A small amount of internal fragmentation.
Simple Segmentation	Each process is divided into a number of segments. A process is loaded by loading all of its segments into dynamic partitions that need not be contiguous.	No internal fragmentation; improved memory utilization and reduced overhead compared to dynamic partitioning.	External fragmentation.
Virtual Memory Paging	As with simple paging, except that it is not necessary to load all of the pages of a process. Nonresident pages that are needed are brought in later automatically.	No external fragmentation; higher degree of multiprogramming; large virtual address space.	Overhead of complex memory management.
Virtual Memory Segmentation	As with simple segmentation, except that it is not necessary to load all of the segments of a process. Nonresident segments that are needed are brought in later automatically.	No internal fragmentation, higher degree of multiprogramming; large virtual address space; protection and sharing support.	Overhead of complex memory management.