

# Práctica de Organización del Computador II

## Interrupciones

---

Primer Cuatrimestre 2023

Organización del Computador II  
DC - UBA

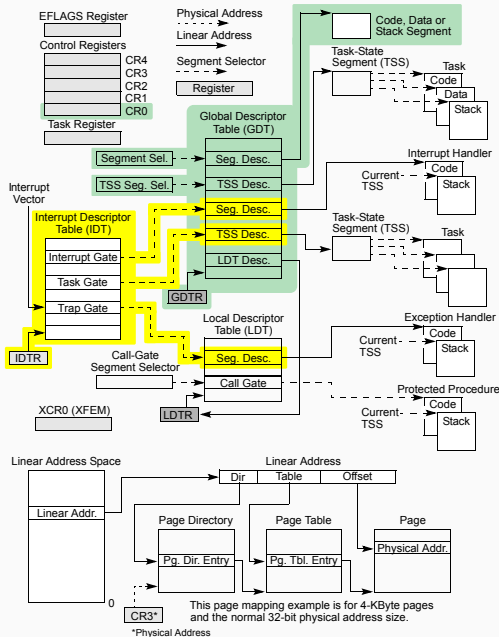
# Introducción

---

En la clase de hoy vamos a ver:

- **Repaso de interrupciones**
- **Estructura de la IDT**
- **Interrupciones de teclado y reloj**
- **Syscalls con interrupciones de software**

La idea es presentar la información necesaria para ayudarles a completar el taller.



# Repaso de interrupciones

---

¿Qué son las interrupciones y para que las usamos?

- Conceptualmente permite a un agente externo o interno solicitar la interrupción de la ejecución actual para atender un pedido.
- La parte solicitante ve al procesador como un recurso al cual quiere tener acceso.

¿Qué son las interrupciones y para que las usamos?

- El mecanismo implementado **define una identidad numérica para cada interrupción** y utiliza una tabla de descriptores donde para cada índice, o identidad, se decide:
  - Dónde se encuentra la rutina que lo atiende (dirección de memoria).
  - En qué contexto se va a ejecutar (segmento y nivel de privilegio).
  - De qué tipo de interrupción se trata.

¿Qué tipos de interrupciones vamos a usar en la práctica?

- **Excepciones** que van a ser generadas por el procesador cuando se cumpla una condición, por ejemplo si se quiere acceder a una dirección de memoria a través de un selector cuyo segmento tiene el bit P apagado.
- **Interrupciones:**
  - **Externas**, cuyo origen se da en un dispositivo externo, en nuestro caso van a ser **el reloj y el teclado**.
  - **Internas**, cuyo origen se da en una llamada a la instrucción INT por parte de un proceso.



- **Fault:** Excepción que podría corregirse para que el programa continúe su ejecución. El procesador guarda en la pila la dirección de la instrucción que produjo la falla. Algunos *faults* suman un código de error a la pila.
- **Traps:** Excepción producida al terminar la ejecución de una instrucción de trap. El procesador guarda en la pila la dirección de la instrucción a ejecutarse luego de la que causó el trap.
- **Aborts:** Excepción que no siempre puede determinar la instrucción que la causa, ni permite recuperar la ejecución de la tarea que la causó. Reporta errores severos de hardware o inconsistencias en tablas del sistema.

**Table 6-1. Protected-Mode Exceptions and Interrupts**

Vector	Mnemonic	Description	Type	Error Code	Source
0	#DE	Divide Error	Fault	No	DIV and IDIV instructions.
1	#DB	Debug Exception	Fault/ Trap	No	Instruction, data, and I/O breakpoints; single-step; and others.
2	—	NMI Interrupt	Interrupt	No	Nonmaskable external interrupt.
3	#BP	Breakpoint	Trap	No	INT3 instruction.
4	#OF	Overflow	Trap	No	INTO instruction.
5	#BR	BOUND Range Exceeded	Fault	No	BOUND instruction.
6	#UD	Invalid Opcode (Undefined Opcode)	Fault	No	UD instruction or reserved opcode.
7	#NM	Device Not Available (No Math Coprocessor)	Fault	No	Floating-point or WAIT/FWAIT instruction.
8	#DF	Double Fault	Abort	Yes (zero)	Any instruction that can generate an exception, an NMI, or an INTR.
9		Coprocessor Segment Overrun (reserved)	Fault	No	Floating-point instruction. <sup>1</sup>
10	#TS	Invalid TSS	Fault	Yes	Task switch or TSS access.
11	#NP	Segment Not Present	Fault	Yes	Loading segment registers or accessing system segments.
12	#SS	Stack-Segment Fault	Fault	Yes	Stack operations and SS register loads.
13	#GP	General Protection	Fault	Yes	Any memory reference and other protection checks.
14	#PF	Page Fault	Fault	Yes	Any memory reference.

**Table 6-1. Protected-Mode Exceptions and Interrupts (Contd.)**

Vector	Mnemonic	Description	Type	Error Code	Source
15	—	(Intel reserved. Do not use.)		No	
16	#MF	x87 FPU Floating-Point Error (Math Fault)	Fault	No	x87 FPU floating-point or WAIT/FWAIT instruction.
17	#AC	Alignment Check	Fault	Yes (Zero)	Any data reference in memory. <sup>2</sup>
18	#MC	Machine Check	Abort	No	Error codes (if any) and source are model dependent. <sup>3</sup>
19	#XM	SIMD Floating-Point Exception	Fault	No	SSE/SSE2/SSE3 floating-point instructions <sup>4</sup>
20	#VE	Virtualization Exception	Fault	No	EPT violations <sup>5</sup>
21	#CP	Control Protection Exception	Fault	Yes	RET, IRET, RSTORSSP, and SETSSBSY instructions can generate this exception. When CET indirect branch tracking is enabled, this exception can be generated due to a missing ENDBRANCH instruction at target of an indirect call or jump.
22-31	—	Intel reserved. Do not use.			
32-255	—	User Defined (Non-reserved) Interrupts	Interrupt		External interrupt or INT <i>n</i> instruction.

Vamos a poder definir nuestras interrupciones en el rango 32 a 255.

¿Cómo se implementa el mecanismo asociado a cada tipo de interrupción?

- Escribimos la rutina de atención de cada excepción/interrupción, es importante utilizar IRET en lugar de RET.
- Definimos nuestra IDT con los descriptores correspondientes.
- Cargamos nuestro descriptor de IDT en IDTR.

Estos últimos dos puntos son similares a lo que hicimos para la GDT.

Antes de atender una excepción/interrupción el procesador pushea en la pila:

- El registro EFLAGS.
- El registro CS.
- El registro EIP.
- En algunas excepciones también un error code.

Por eso es importante utilizar IRET en lugar de RET, debemos sacar más cosas de la pila.

¿Si el `error code` es opcional, cómo sabe el procesador si tiene que quitarlo de la pila o no?

**Respuesta:**

No lo sabe, cuando escribamos el código de una excepción tenemos que consultar si la excepción pusha un código de error o no, y si lo hace, antes de llamar a `IRET` tenemos que quitarlo de la pila.

En la práctica de hoy no necesariamente ejercitaremos esto pero es importante que lo tengan en cuenta.

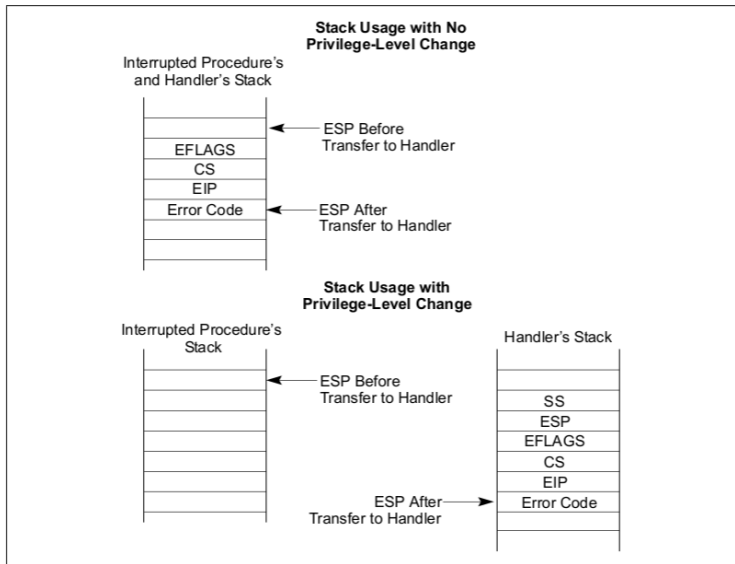


Figure 6-4. Stack Usage on Transfers to Interrupt and Exception-Handling Routines

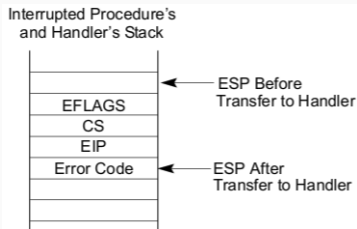
¿Tenemos que mantener la pila alineada a 16 bytes?

**Respuesta:**

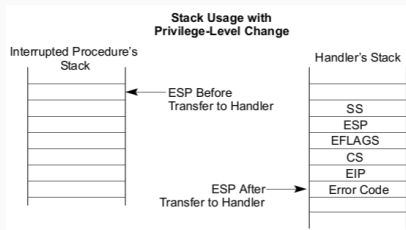
No hace falta, recuerden que no estamos trabajando con `libc`, en general va a estar alineada a 4.



Por ahora no vamos a hablar de los cambios de nivel de privilegio, pero es importante saber que van a jugar un rol determinante en el manejo de tareas. Ahí veremos qué significa tener dos pilas.



Esta es la primera versión que nos interesa, entendiendo que el código de error sólo se pusha para algunas **excepciones** (no afecta interrupciones externas o internas). Es el estado de la pila cuando no hay cambio de nivel de privilegio (excepciones e interrupciones externas).



Esta es la segunda versión, entendiendo que el código de error sólo se pusha para algunas **excepciones** (no afecta interrupciones externas o internas). Es el estado de la pila cuando hay cambio de nivel de privilegio (en nuestro caso con interrupciones internas). Noten que estamos usando otra pila, cuando inicialicemos tareas veremos como se configuran estos valores.

## **Estructura de la IDT**

---

En términos estructurales, la IDT es una tabla muy parecida a la GDT donde cada entrada es un descriptor de compuerta (gate descriptor).

Al igual que con segmentación, para poder resolver las interrupciones el procesador va a emplear la IDT que se encuentre referida en el registro IDTR.

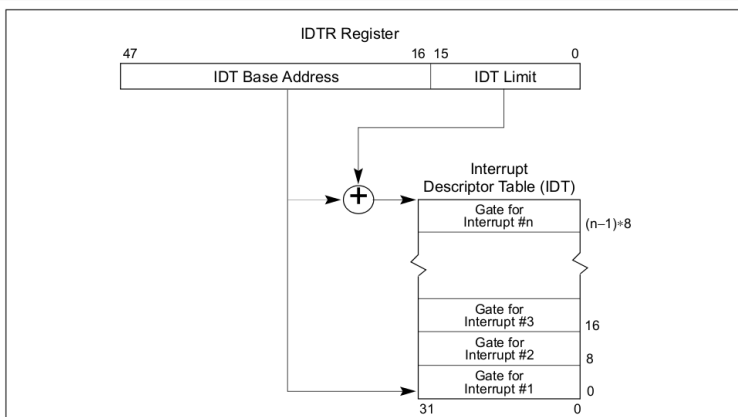


Figure 6-1. Relationship of the IDTR and IDT

La IDT contiene descriptores para:

- **Compuertas de tarea** que estudiaremos cuando veamos tareas.
- **Compuertas de interrupción** que emplearemos en este taller.
- **Compuertas de trampa** que son similares a las de interrupción pero manejan distinto el estado del bit de interrupción en EFLAGS y no utilizaremos en la práctica.

Así se ven los descriptores:

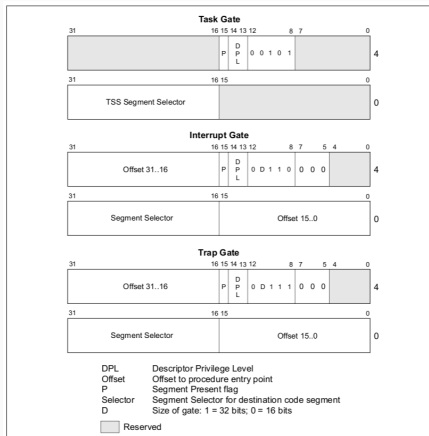
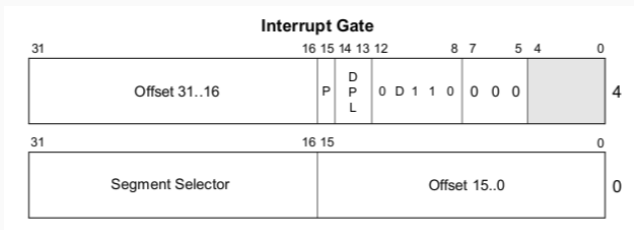


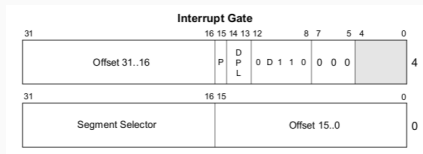
Figure 6-2. IDT Gate Descriptors



Recuerden que en este taller utilizaremos compuertas de interrupción, esto quiere decir que nuestros descriptores o entradas de IDT se verán así:



Veamos qué atributos son importantes:



- **Offset** que va a ser la dirección de memoria donde comienza la rutina de atención de interrupción.
- **Segment selector** que indica qué selector debe utilizarse al ejecutar el código de la rutina.
- **P,DPL** que indican si la rutina se encuentra en memoria o no y el nivel de privilegio, respectivamente.
- **Bits 8 a 12** de los bytes 4 a 7 indican el tipo específico de la compuerta de interrupción, el bit D indica si es una compuerta de 32 o 16 bits.

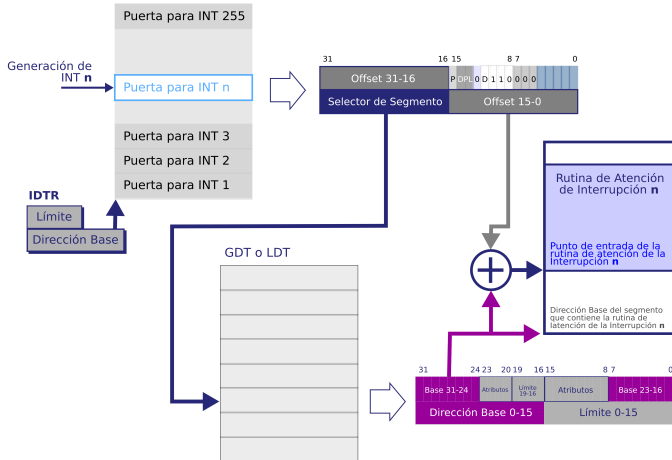
Table 3-2. System-Segment and Gate-Descriptor Types

Type Field					Description	
Decimal	11	10	9	8	32-Bit Mode	IA-32e Mode
0	0	0	0	0	Reserved	Reserved
1	0	0	0	1	16-bit TSS (Available)	Reserved
2	0	0	1	0	LDT	LDT
3	0	0	1	1	16-bit TSS (Busy)	Reserved
4	0	1	0	0	16-bit Call Gate	Reserved
5	0	1	0	1	Task Gate	Reserved
6	0	1	1	0	16-bit Interrupt Gate	Reserved
7	0	1	1	1	16-bit Trap Gate	Reserved
8	1	0	0	0	Reserved	Reserved
9	1	0	0	1	32-bit TSS (Available)	64-bit TSS (Available)
10	1	0	1	0	Reserved	Reserved
11	1	0	1	1	32-bit TSS (Busy)	64-bit TSS (Busy)
12	1	1	0	0	32-bit Call Gate	64-bit Call Gate
13	1	1	0	1	Reserved	Reserved
14	1	1	1	0	32-bit Interrupt Gate	64-bit Interrupt Gate
15	1	1	1	1	32-bit Trap Gate	64-bit Trap Gate

El atributo de tipo determina qué representa nuestra entrada en la IDT, en este taller sólo usaremos el tipo 1 1 1 0.

¿Qué mecanismos se ponen en juego para atender una interrupción?

Veamos cómo entran en juego tanto la IDT como la GDT para resolver la dirección de la rutina que responde al pedido de interrupción.



## 1. `idt.h`

Descripción de las estructuras

## 2. `idt.c`

Estructura de la IDT con cada una de sus entradas

- `idt_entry idt[255] = { ... };`

- `IDT_ENTRY(numero)`

Permite declarar una entrada en la IDT, para la utilizar el handler de nombre `_isrnumero`

- `void init_idt()`

Función llamada desde el kernel para inicializar las entradas en la IDT

# Interrupciones de teclado y reloj

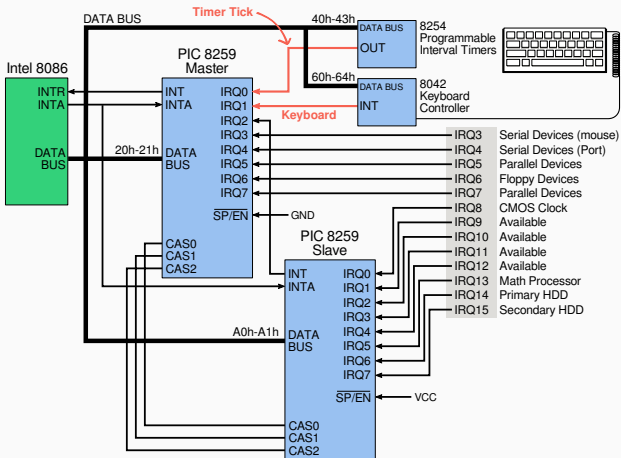
---

En este taller vamos a atender dos tipos de interrupciones externas, una de reloj y otra de teclado, veamos como implementar esto.



- Recuerden que las interrupciones externas son administradas por un controlador de interrupciones (**PIC**).
- Es un elemento externo al procesador y el código necesario para su inicialización se provee **casi** resuelto al igual que lo hicimos con el Bootloader.
- Veamos cómo se ve el esquema de conexión entre el procesador, el PIC y los dispositivos.

# Conexion de PIC 8259



Protected Mode Interrupt Table

INT 0	Excepciones del procesador	
⋮		
INT 31		
INT 32	IRQ0	Timer Tick
INT 33	IRQ1	Keyboard
	IRQ2	Reserve
	IRQ3	Serial Devices (mouse)
	IRQ4	Serial Devices (Port)
	IRQ5	Parallel Devices
	IRQ6	Floppy Devices
	IRQ7	Parallel Devices
⋮	IRQ8	CMOS Clock
⋮	IRQ9	Available
	IRQ10	Available
	IRQ11	Available
	IRQ12	Available
	IRQ13	Math Processor
	IRQ14	Primary HDD
INT 47	IRQ15	Secondary HDD
INT 48		
⋮	Interrupciones de Software	
⋮		
INT 255		

- Las interrupciones por hardware del procesador, **se pisan** con los índices seteados para los controladores de interrupciones.
- Se deben **remapear** los controladores a un espacio de interrupciones designado a dispositivos de entrada/salida.
- Para acceder a los PIC se usan las instrucciones “in” y “out”.
- Las direcciones 20h y 21h corresponden al PIC1, y las direcciones A0h y A1h al PIC2

Las operaciones de entrada y salida utilizan **puertos**.

Podemos pensar en ellos como si fueran registros o posiciones de memoria que se identifican con un **número** (número de puerto) y un **tamaño** (8, 16, 32 bits por ej.).

El procesador lee y escribe de un puerto utilizando las operaciones IN y OUT. Podemos suponer que nos permiten leer y escribir en un registro particular de un dispositivo.



La configuración se realiza enviando palabras en el siguiente orden, por los puertos indicados.

Address	Read/Write	Function
20h y A0h	Write	Initialization Command Word 1 (ICW1)
	Write	Operation Command Word 2 (OCW2)
	Write	Operation Command Word 3 (OCW3)
	Read	Interrupt Request Register (IRR)
	Read	In-Service Register (ISR)
21h y A1h	Write	Initialization Command Word 2 (ICW2)
	Write	Initialization Command Word 3 (ICW3)
	Write	Initialization Command Word 4 (ICW4)
	Read/Write	Interrupt Mask Register (IMR)

Los archivos `pic.h` y `pic.c` contienen las rutinas para controlar el PIC.

- **pic\_reset**: Remapea los PICs a índices después de las excepciones del procesador.
- **pic\_enable**: Habilita los PICs para que generen interrupciones.
- **pic\_disable**: Deshabilita los PICs para impedir que generen interrupciones.
- **pic\_finish1**: Indica al PIC1 que fue atendida una interrupción.
- **pic\_finish2**: Indica al PIC2 que fue atendida una interrupción.

Código para activar interrupciones externas:

```
call pic_reset    ; remapear PIC
call pic_enable   ; habilitar PIC
sti               ; habilitar interrupciones
```

Una vez activado el PIC debemos indicarle al procesador que debe responder interrupciones externas.

La instrucción **sti** setea el flag de interrupciones.



*; Inicializacion PIC1*

```
mov al, 11h ;ICW1: IRQs activas por flanco, Modo cascada, ICW4 Si.
out 20h, al
mov al, 8 ;ICW2: INT base para el PIC1 Tipo 8.
out 21h, al
mov al, 04h ;ICW3: PIC1 Master, tiene un Slave conectado a IRQ2
out 21h, al
mov al, 01h ;ICW4: Modo No Buffered, Fin de Interrupcion Normal
out 21h, al ; Deshabilitamos las Interrupciones del PIC1
mov al, FFh ;OCW1: Set o Cleare el IMR
out 21h, al
```

*; Inicializacion PIC2*

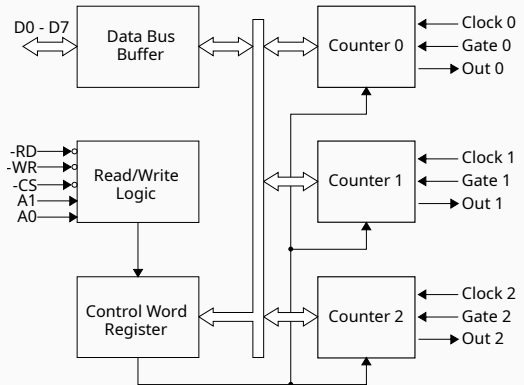
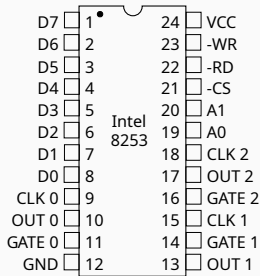
```
mov al, 11h ;ICW1: IRQs activas por flanco, Modo cascada, ICW4 Si.
out A0h, al
mov al, 70h ;ICW2: INT base para el PIC2 Tipo 070h.
out A1h, al
mov al, 02h ;ICW3: PIC2 Slave, IRQ2 es la linea que envia al Master
out A1h, al
mov al, 01h ;ICW4: Modo No Buffered, Fin de Interrupcion Normal
out A1h, al
```



¿Que es la interrupción de reloj?

- Vamos a contar con un componente externo al procesador que va a generar una interrupción a intervalos regulares..
- Va a ser un elemento necesario a la hora de implementar el manejo de tareas, ya que utilizaremos esta interrupción para conmutar entre la tarea actual y la siguiente (**scheduling**).

El integrado 8253/8254 tiene 3 contadores independientes. El registro de control (Control Word Register) permite programar cada uno de los tres contadores independientemente. Su tarea es **generar interrupciones** a intervalos regulares de tiempo (temporizador).



El integrado 8042 o controlador PS/2 permite controlar tanto el teclado como el mouse.

## Uso:

- . Leemos teclas a través del puerto **0x60** (in al, 0x60)
- . Obtenemos un **scan code**

**Scan code:** Único para cada tecla

**El teclado genera dos interrupciones:**

Scancode=0xxxxxxx - **make**: Cuando se está presionando una tecla

Scancode=1xxxxxxx - **break**: Cuando se está soltando una tecla

Ejemplo:

Presionar **a** → scancode 0x1E

Presionar **b** → scancode 0x30

Soltar **a** → scancode **0x9E** (0x1E + 0x80)

Scan codes:

<http://www.win.tue.nl/~aeb/linux/kbd/scancodes-1.html>  
(sección: “**1.4 Ordinary scancodes**”).

Una vez activadas, nos comenzarán a llegar interrupciones del reloj (32) y del teclado (33).

## Código para atender una interrupción externa

```
_isrXX:
    pushad
    ...
    call pic_finish1
    ...
    popad
    reti
```

Cuando atendemos una interrupción generada por el PIC.  
Debemos notificarle que ya la atendimos. Para eso usamos rutina **pic\_finish1**

## Llamadas al sistema (syscalls)

---

- . Recordemos que una llamada a sistema o `syscall`, es una forma que tiene el sistema operativo de exponer funcionalidad a las aplicaciones o espacio de usuario.
- . Pueden tener que ver con el manejo de procesos, sistemas de archivo, dispositivos de entrada/salida y otras cosas más.
- . Hay varias formas de implementarlas pero la que empleamos en este taller son las **interrupciones de software**, o sea asociando una o varias syscalls a una interrupción particular. Una aplicación puede acceder a la syscall **76** haciendo: `int 0x4C`.

La implementación de una syscall en nuestro caso se va a hacer con una rutina de atención, tal como lo hicimos para las excepciones o interrupciones externas:

```
global _isrXX
...
_isrXX:
    pushad
    ...
    popad
    iret
```

Esta rutina atiende a la interrupción XX, con un prólogo y un epílogo muy generales. No hay una llamada a `pic_finish1` ya que es interna y el PIC no tuvo intervención, y un retorno de función con `IRET`.



# Repaso

---

Entonces, para poder utilizar interrupciones en nuestro sistema debemos:

- Definir una IDT con sus descriptores asociados para excepciones, interrupciones externas (reloj y teclado) y `sys_calls`.
- Escribir nuestras rutinas de atención de interrupciones con las consideraciones del caso, uso de `IRET`, llamar a `pic_finish1` si es interrupción externa, comunicarnos con el puerto correspondiente usando `in`, `out` si hace falta.
- Cargar IDTR y habilitar interrupciones.

## Consultas y ejercitación

---

