Introducción a los sistemas operativos de tiempo real (2/2)

Sistemas embebidos para tiempo real

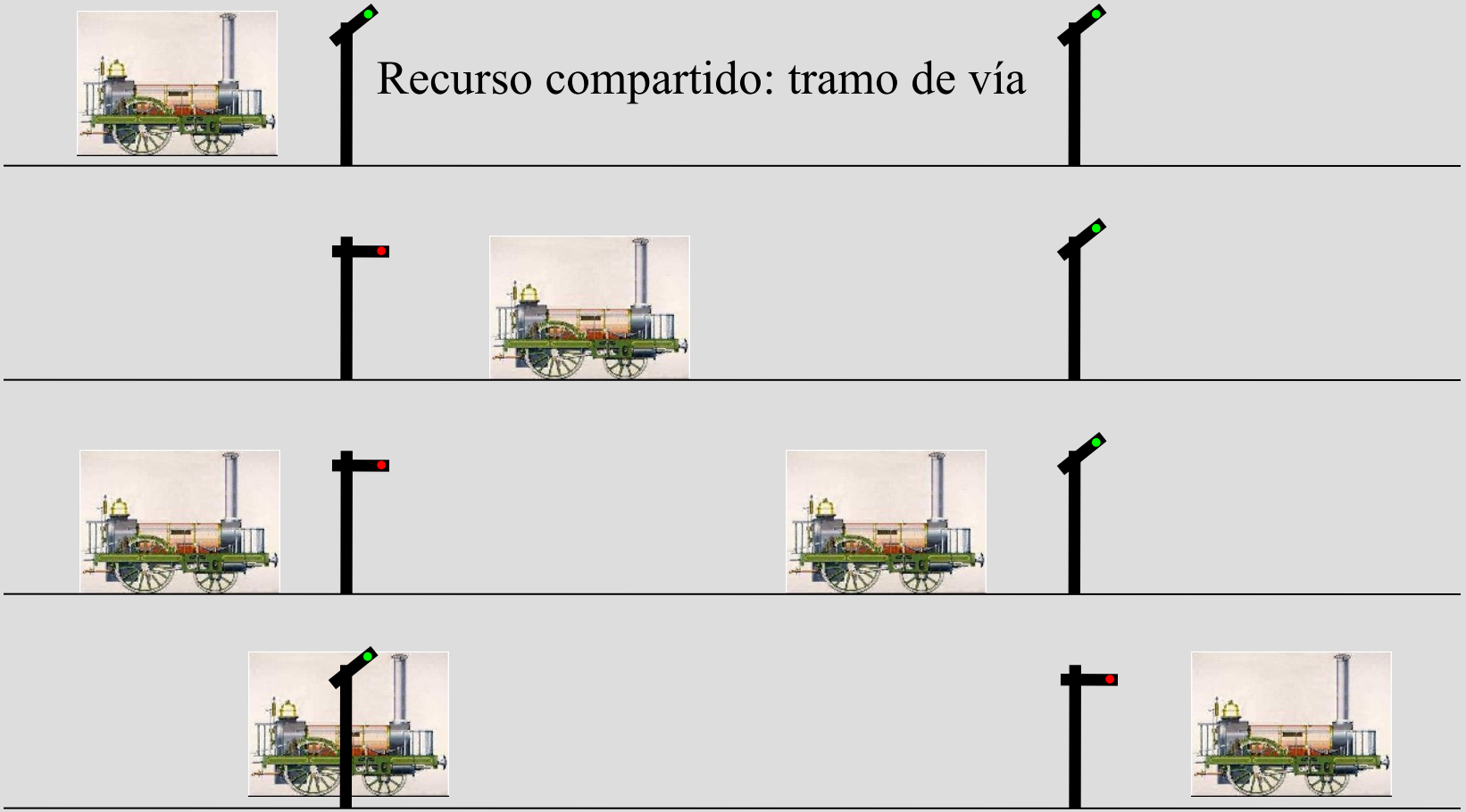
Índice

- Clase anterior:
  - Introducción
  - Tareas y el planificador (scheduler)
  - Tareas y datos
  - Datos compartidos
- Hoy: semáforos y datos compartidos

Datos compartidos

- “Exclusión mutua” (MutEx) para evitar datos corruptos
  - Asegurar acceso exclusivo de datos compartidos
  - Métodos: deshabilitar interrupciones, semáforos
- Comunicación entre tareas o entre tarea e ISR
  - Por ejemplo para avisar de un evento (“está libre la impresora”)
  - Método: semáforos

Semáforos y recursos compartidos



Semáforos en RTOS

- Nomenclatura:
  - Take–Release (posta, llave)
  - Raise–Lower (semáforo ferroviario)
  - Wait–Signal (esperar-avisar)
  - Pend–Post (esperar-avisar)
- Semáforos para exclusión mutua (MutEx)
- Semáforos para comunicación entre tareas.

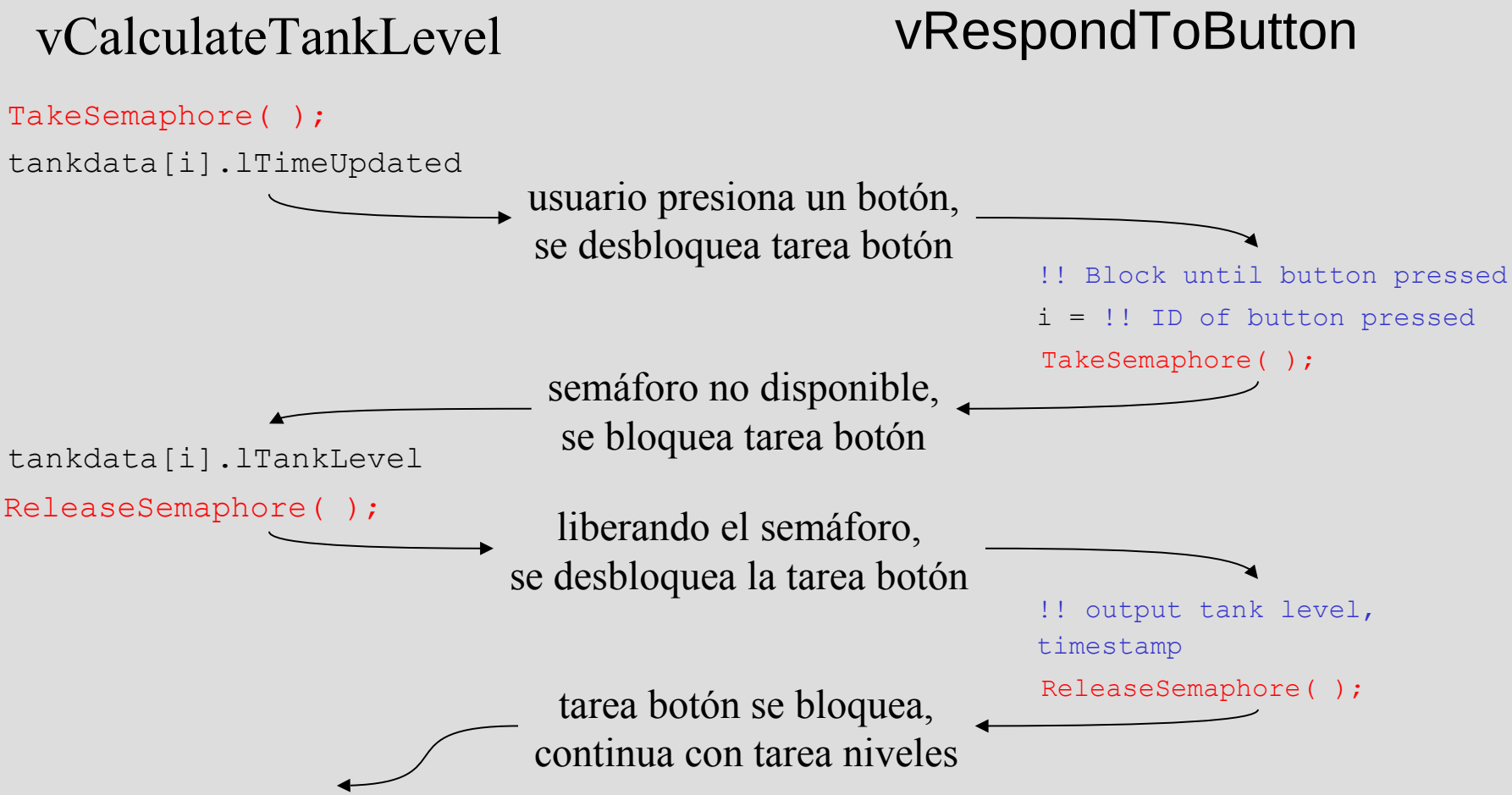
Semáforos: protección de datos

```
/* "Levels Task" */
void vCalculateTankLevels(void)
{   /* low priority task */
   int i = 0;
   while (TRUE) {
      !! read float levels in task i
      !! do bunches of calculations
      TakeSemaphore( );
       tankdata[i].lTimeUpdated =
              !! current time
       tankdata[i].lTankLevel =
              !! result of long calculation
      ReleaseSemaphore( );
      !! pick next tank to handle, etc.
       i = !! next tank
   }
}
```

```
struct {
   long lTankLevel;
   long lTimeUpdated;
}  tankdata[MAX_TANKS];
```

```
/* "Button Task" */
void vRespondToButton(void)
{  /* high priority task */
   int i;
   while (TRUE) {
      !! Block until button pressed
      i = !! ID of button pressed
      TakeSemaphore( );
      !! output ITankLevel
      !! output ITimeUpdated
      ReleaseSemaphore( );
    }
}
```

Flujo de ejecución con semáforos



Ejemplo de semáforos (µC/OS)

- Notación
  - El prefijo OS indica funciones del kernel
  - Creación/inicialización: `OSSemCreate(...)`
  - Tomar un semáforo: `OSSemPend(...)`
  - Tomar y liberar un semáforo: `OSSemPost(...)`
  - Estructura `OS_EVENT` representa el semáforo
- Ejemplo:
  - `OS_EVENT *p_semTemp;`
  - `p_semTemp = OSSemCreate(1);`
  - `OSSemPend(p_semTemp,WAIT_FOREVER);`
- Otro servicio del RTOS
  - Retardo: `OSTimeDly(...)`

```
#define PRIORITY_READ 11
#define PRIORITY_CONTROL 12
#define STK_SIZE 1024
static unsigned ReadStk[STK_SIZE];
static unsigned CtrlStk[STK_SIZE];
static int iTemperatures[2];
OS_EVENT *p_semTemp;

void main (void) {
   OSInit( );
   OSTaskCreate (vReadTmpTsk, NULLP, (void *) &ReadStk[STK_SIZE], PRIORITY_READ);
   OSTaskCreate (vCtrlTask,   NULLP, (void *) &CtrlStk[STK_SIZE], PRIORITY_CONTROL);
   p_semTemp = OSSemCreate(1);
   OSStart ( );
}
```

```
void vRdTmpTsk (void) {
  while (TRUE)  {
   OSTimeDly(5);
   OSSemPend(p_semTemp,WAIT_FOREVER);
   !! read in iTemperatures[0];
   !! read in iTemperatures[1];
   OSSemPost (p_semTemp);
  }
}
```

```
void vCtrlTsk(void) {
  while (TRUE) {
    OSSemPend (p_semTemp, WAIT_FOREVER);
    if(iTemperatures[0] != iTemperatures[1])
      !! set off howling alarm;
    OSSemPost (p_semTemp);
    !! do other useful work
  }
}
```

Semáforos y funciones reentrantes

```
void Task1(void)
{
   vCountErrors (1);
}
void Task2(void)
{
   vCountErrors (2);
}
```

```
static int cErrors;

void vCountErrors(int cNewErrors)
{
   cErrors += cNewErrors;
}
```

Semáforos y funciones reentrantes

```
void Task1(void)
{
   vCountErrors (1);
}
void Task2(void)
{
   vCountErrors (2);
}
```

```
static int cErrors;
static NU_SEMAPHORE semErrors;

void vCountErrors(int cNewErrors)
{
  NU_Obtain_Semaphore(&semErrors,NU_SUSPEND);
  cErrors += cNewErrors;
  NU_Release_Semaphore(&semErrors);
}
```

- Terminología:
  - Se ha "protegido" `cErrors` con semáforos
- Notación:
  - En este caso RTOS: Nucleus (prefijo NU)

Múltiples semáforos

- En un sistema pueden coexistir varios semáforos:
  - Cada semáforo protege un sólo recurso compartido.
  - Cada tarea sólo tiene que esperar si el recurso que tiene que utilizar está bloqueado.
  - El RTOS no sabe qué recursos están protegidos por qué semáforos. Eso es tarea del programador.
- Counting semáforos
  - Control sobre un conjunto de N recursos.

Semáforo como método de comunicación

- Entre tareas, o entre tareas e ISR.
- Ejemplo: impresión de reportes.
  - Datos:
    - Buffer donde se arma el reporte, números líneas totales e impresas.
  - Tareas:
    - PrinterTask: espera por el reporte y luego envía línea a línea desde el buffer a la impresora.
  - ISR:
    - La impresora interrumpe al final de cada línea y carga la siguiente línea a imprimir.

Actividad en grupo

- Objetivo: estudiar el semáforo como método de comunicación entre la ISR y la tarea.
- Considerar el código de la siguiente slide:
  - ¿Dónde tengo que colocar el semáforo semPrinter para compartir la impresora?
  - ¿Dónde debe hacerse el post *OSSemPost(…)* y el pend *OSSemPend(…)*
- Observaciones:
  - El semáforo solamente es compartido por las funciones que se muestran en la slide
  - Considerar el caso de inicializar el semáforo ocupado
- Grupos: 2 a 4 participantes
- Tiempo: 10 minutos

Semáforos para señalización

```
static char a_chPrint[10][21];//output buffer
static int iLinesTotal;
static int iLinesPrinted;
static OS_EVENT *semPrinter;

void vPrinterInterrupt (void) {
  if (iLinesPrinted == iLinesTotal)
    /* report done */
  else
    /* report not done: print next line */
    vHardwarePrinterOutputLine(
        a_chPrint[iLinesPrinted++]);
}
```

```
void vPrinterTask(void) {
  BYTE byError;
  int wMsg;

  while (TRUE) {
    /* wait for a job to print */
    wMsg = (int) OSQPend (QPrinterTask,
          WAIT_FOREVER, &byError);
    !! Format the report into a_chPrint
    iLinesTotal = !! count of lines in report
    /* print first line of report */
    iLinesPrinted = 0;
    vHardwarePrinterOutputLine(
          a_chPrint[iLinesPrinted++]);
   }
}
```

- ¿Dónde tengo que “colocar” el semáforo semPrinter para compartir la impresora? O sea: ¿dónde debe hacerse el post OSSemPost(…) y el pend OSSemPend(…)?
- Observaciones:
  - El semáforo solamente es compartido por estas funciones
  - Considerar el caso de inicializar el semáforo ocupado

Semáforos para señalización

```
static char a_chPrint[10][21];//output buffer
static int iLinesTotal;
static int iLinesPrinted;
static OS_EVENT *semPrinter;

void vPrinterInterrupt (void) {
  if (iLinesPrinted == iLinesTotal)
    /* report done: release semaphore */
    OSSemPost(semPrinter);
  else
    /* report not done: print next line */
    vHardwarePrinterOutputLine(
        a_chPrint[iLinesPrinted++]);
}
```

```
void vPrinterTask(void) {
  BYTE byError;
  int wMsg;
  SemPrinter = OSSemInit(0); //semaphore taken

  while (TRUE) {
    /* wait for a job to print */
    wMsg = (int) OSQPend (QPrinterTask,
          WAIT_FOREVER, &byError);
    !! Format the report into a_chPrint
    iLinesTotal = !! count of lines in report
    /* print first line of report */
    iLinesPrinted = 0;
    vHardwarePrinterOutputLine(
          a_chPrint[iLinesPrinted++]);
    /* wait for job done to finish */
    OSSemPend(semPrinter, WAIT_FOREVER,
          &byError);
   }
}
```

Semáforos para señalización

```
static char a_chPrint[10][21];//output buffer
static int iLinesTotal;
static int iLinesPrinted;
static OS_EVENT *semPrinter;

void vPrinterInterrupt (void) {
  if (iLinesPrinted == iLinesTotal)
    /* report done: release semaphore */
    OSSemPost(semPrinter);
  else
    /* report not done: print next line */
    vHardwarePrinterOutputLine(
        a_chPrint[iLinesPrinted++]);
}
```

```
void vPrinterTask(void) {
  BYTE byError;
  int wMsg;
  SemPrinter = OSSemInit(1); //sem released

  while (TRUE) {
    /* wait for a job to print */
    wMsg = (int) OSQPend (QPrinterTask,
          WAIT_FOREVER, &byError);
    OSSemPend(semPrinter, WAIT_FOREVER,
          &byError);
    !! Format the report into a_chPrint
    iLinesTotal = !! count of lines in report
    /* print first line of report */
    iLinesPrinted = 0;
    vHardwarePrinterOutputLine(
          a_chPrint[iLinesPrinted++]);
    /* wait for job done to finish */
   }
}
```

Discusión sobre caso anterior

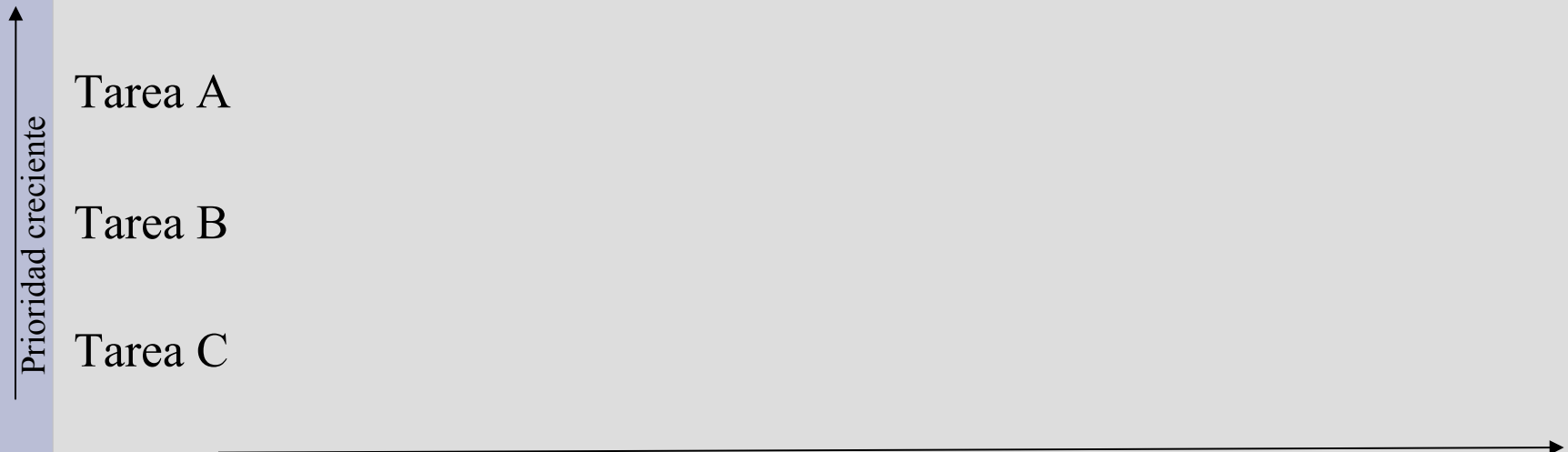
- Semáforo usado como señal entre dos tareas
  - Una tarea hace el *pend* y la otra tarea hace el *post*.
  - Comparación con exclusión mutua: la misma tarea llama a *pend*, y luego a *post*.
- Especial cuidado con:
  - Valor inicial del semáforo: debe ser elegido bien.
    - En el caso anterior el semáforo fue inicializado como no disponible. Podría haberse hecho diferente.
    - Depende de la aplicación.
  - Orden cuando existen múltiples *pends*.
    - En el caso anterior, la tarea espera por una cola y el semáforo (potencial “abrazo mortal”).

Problemas

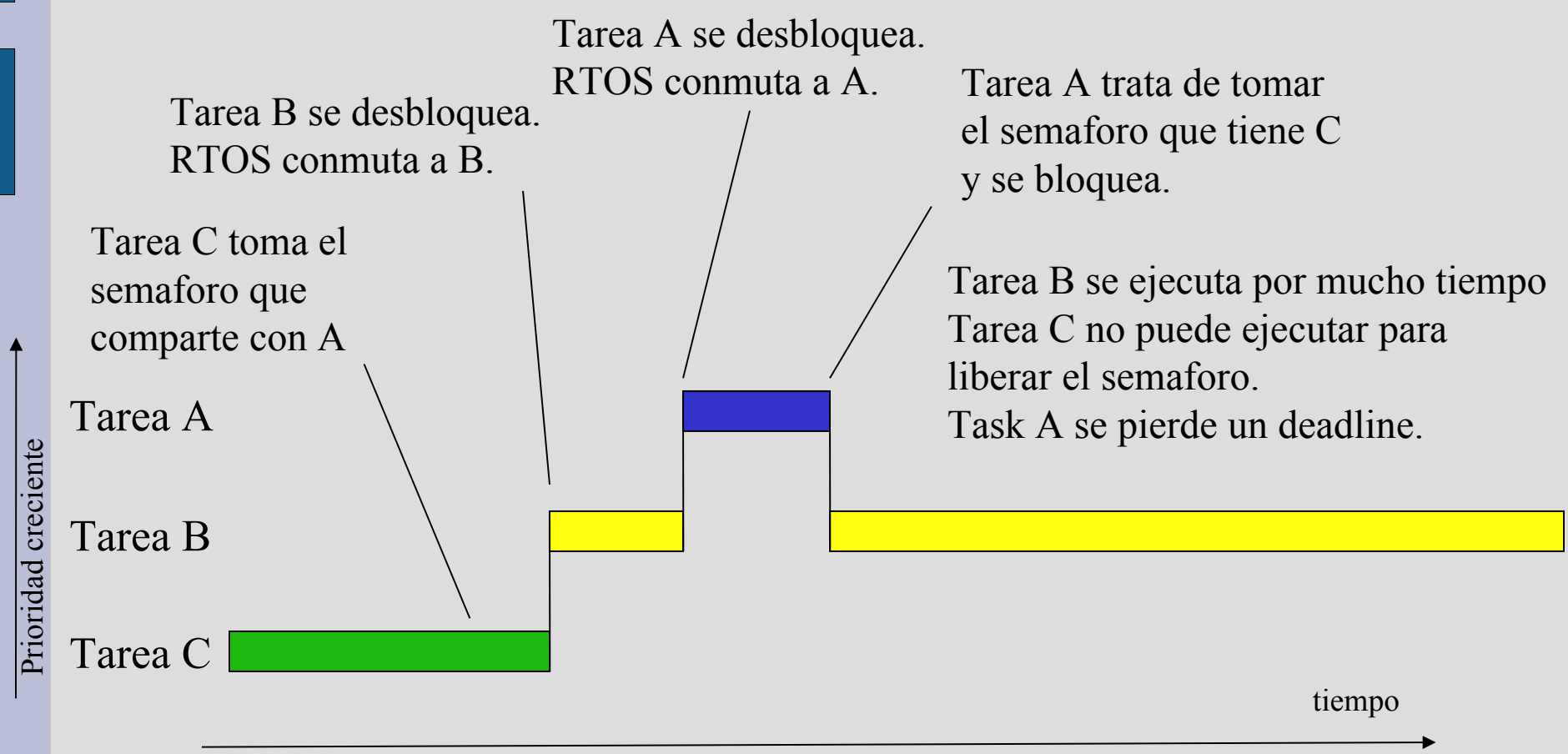
- Baśicos
  - Olvidar de tomar (pend) el semáforo.
  - Olvidar de liberar (post) el semáforo.
  - Tomar o liberar el semáforo equivocado.
  - Ocupar el semáforo por demasiado tiempo.
- Inversión de prioridad
- Deadlock, o abrazo mortal

Inversión de prioridad

- Ejemplo:
  - Tareas C, B y A de prioridad creciente
  - Tareas C y A comparten un recurso



Inversión de prioridad



Abrazo mortal (bloqueo mutuo)

```
OS_EVENT *p_sem_A, *p_sem_B;
int a, b; /* Variables compartidas */
void Tarea1(void){
    OSSemPend(p_sem_A, WAIT_FOREVER);
    OSSemPend(p_sem_B, WAIT_FOREVER);
    a = b;
    OSSemPost(p_sem_B);
    OSSemPost(p_sem_A);
}
void Tarea2(void){
    OSSemPend(p_sem_B, WAIT_FOREVER);
    OSSemPend(p_sem_A, WAIT_FOREVER);
    b = a;
    OSSemPost(p_sem_A);
    OSSemPost(p_sem_B);
}
```

Opciones para datos compartidos

- Deshabilitar interrupciones
  - manera más drástica
  - afecta tiempo de respuestas de todas las tareas y ISR
  - único método para compartir datos con ISR
- Semáforos
  - afecta aquellas que esperan el mismo semáforo, sin impacto en ISR
  - aumenta probabilidad de errores de programación
- Deshabilitar conmutación de tareas (deshab. planificador)
  - planificador (scheduler) no conmuta tareas
  - funcionalidad presente en algunos RTOS
  - Overhead para habilitar y deshabilitar es pequeño.
  - Tiempo de respuesta: afecta todas las tareas pero no ISR

Resumen

- RTOS
  - Características, diferencias con OS convencional
- Tareas
  - Bloque fundamental, estados, contexto, scheduler...
- Funciones reentrantes
- Recursos compartidos:
  - Datos, hardware.
- Semáforos
  - Mutex o comunicación entre tareas, problemas
- Alternativas para prevenir el bug de datos compartidos.

Anexo: ejemplo de servicios en µC/OS

```
OSInit()
OSIntEnter()
OSIntExit()
OSMboxCreate()
OSMboxPend()
OSMboxPost()
OSQCreate()
OSQPend()
OSQPost()
OSSchedLock()
OSSchedUnlock()
OS_ENTER_CRITICAL()
```

```
OSSemCreate()
OSSemPend()
OSSemPost()
OSStart()
OSTaskChangePrio()
OSTaskCreate()
OSTaskDel()
OSTimeDly()
OSTimeGet()
OSTimeSet()
OSTimeTick()
OS_EXIT_CRITICAL()
```

Bibliografía

- “An Embedded Software Primer”, David E. Simon
  - Chapter 6: Introduction to Real-Time Operating Systems
- “MicroC OS II: The Real Time Kernel”, Jean J. Labrosse.