Sistemas Basados en Microprocesador

B2

Introducción a CMSIS-RTOS

Eduardo Barrera

Julian Nieto

Mariano Ruiz

Contenidos

- Introducción a RTOS
- CMSIS-RTOS
- *Threads* (Hilos, Tareas)
  - Scheduler
  - API
  - Ejemplos
- Sincronización entre hilos
  - Señales, colas
  - Acceso a recursos compartidos
- Temporización
- Configuración CMSIS-RTOS – RTX en Keil

Desarrollo de aplicaciones con Microprocesadores

- Aplicaciones sencillas (fácil implementarlas mediante un bucle *while*, algunos *timers* y algunas interrupciones)
  - Si la complejidad de la aplicación crece, el número de temporizaciones aumenta frente al número de timers disponibles en el microprocesador y la lógica de la misma es compleja, la gestión, desarrollo y depuración de la aplicación se complican enormemente.
- Para simplificar esta situación se han desarrollado Sistemas Operativos "ligeros" para ser implementados en arquitecturas basadas en microprocesadores. Su utilización permite que el desarrollo de software sea más sencillo, seguro, y eficiente, redundando en un mantenimiento más sencillo del software.

CMSIS-RTOS

CMSIS-RTOS

- API C/C++ para sistemas operativos en tiempo real
- Diseñado para procesadores Cortex M
- Versión a utilizar CMSIS-RTOS2
- Está se puede configurar para usar los kernels CMSIS-RTX (o keil RTX5), freeRTOS, Zephyr, embOS, Azure Thread y Micrium.
- Versiones
  - **En SBM usamos 2.1.3** que se basa en CMSIS v5 con RTX
    - https://arm-software.github.io/CMSIS_5/RTOS2/html/index.html
  - ARM ya ha lanzado la versión 2.3.0 que se basa en CMSIS V6
    - https://arm-software.github.io/CMSIS_6/latest/RTOS2/group__CMSIS__RTOS__ThreadMgmt.html

CMSIS-RTOS

- Aplicaciones multihilo: basada en la utilización de hilos concurrentes
- Aporta mecanismos de comunicación y sincronización entre hilos
- ***Thread***
  - Porción de código que realiza una función concreta
  - Típicamente es una función con un bucle infinito y sin retorno
  - El RTOS permite compartir la ejecución con otros threads
  - 5 estados: ***Running, Ready, Waiting/Blocked, Inactive*** *and* ***Terminated***
- ***Scheduler***
  - Planificación y compartición de los recursos de CPU
  - Gestiona la ejecución de threads asignando tiempo (SysTick) de procesador a cada hilo
- ***Timeslice***
  - Período de tiempo asignado a cada hilo
  - Múltiplo del Tick (5) generado por el SysTick (1ms)

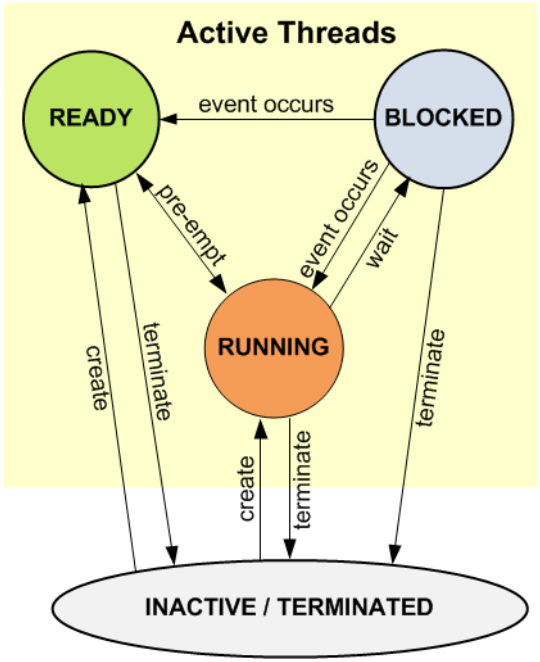
RTOS (Planificador)

- **Pre-emptive**
  - Desalojo de hilos "–prioritarios" por hilos "+prioritarios"
- **Round-Robin**
  - Todos los hilos con la misma prioridad
  - Se ejecutan unos detrás de otros en secuencial durante un "*timeslice*"
- **Round-Robin Pre-emptive**
  - Los hilos pueden tener distinta prioridad
  - Los hilos con igual prioridad se ejecutan de forma Round-Robin mientras no haya otro hilo de +prioridad en estado READY
  - Cuidado con las prioridades para no "colgar" la aplicación
  - Por defecto en CMSIS-RTOS - RTX
- **Cooperative Multitasking**
  - Todos los hilos con igual prioridad
  - No Round-Robin
  - Cada hilo se ejecuta hasta bloquearse (pasa a WAIT) o hasta pasar la ejecución a otro ("yield")

CMSIS-RTOS (Threads)

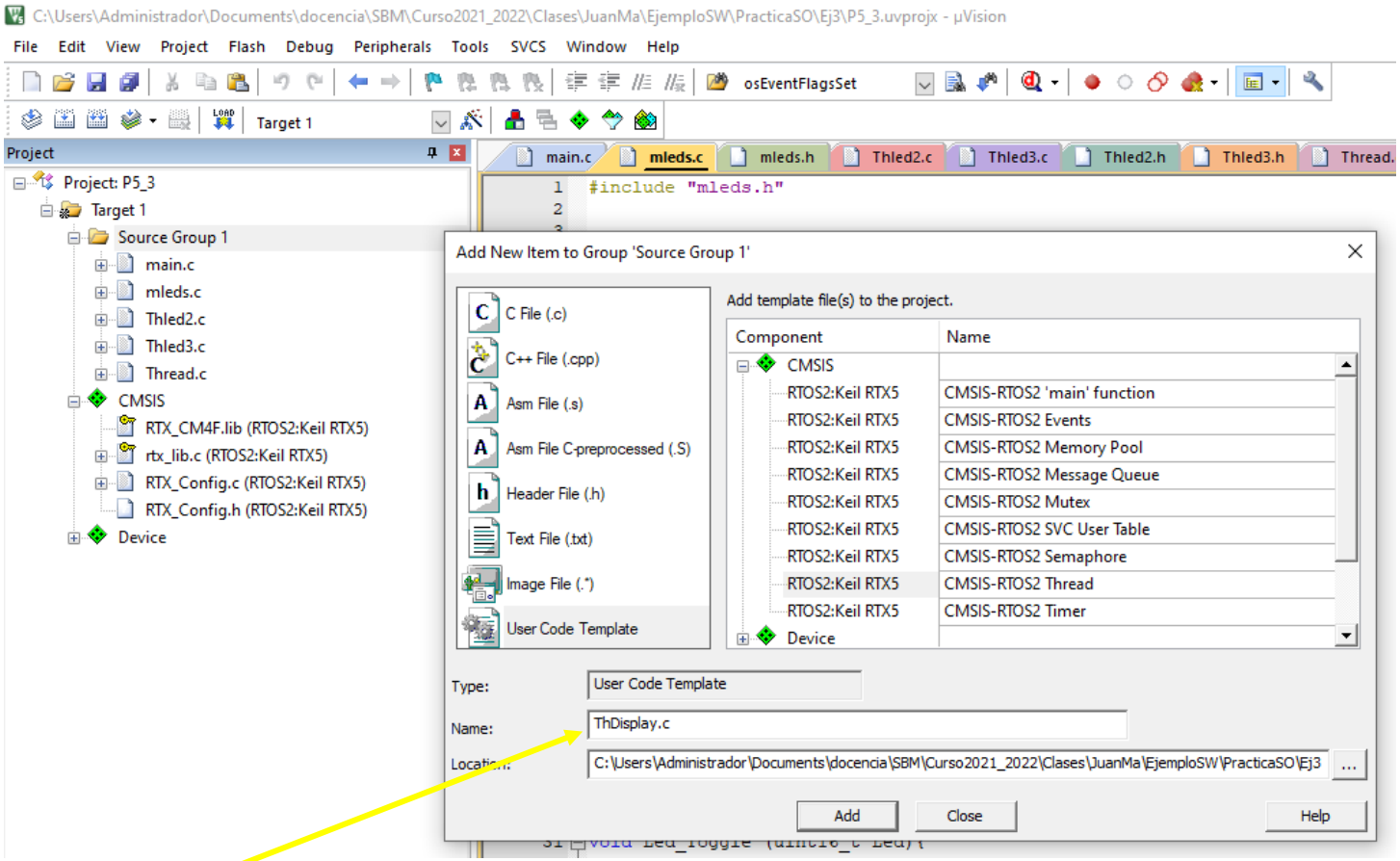
- El planificador del SO es el encargado de gestionar la ejecución de un thread

- Estados de un *thread*:
  - **RUNNING:** *thread* actualmente en ejecución
  - **READY:** *threads* preparados para ser ejecutados. Una vez que la tarea que se está ejecutando ha consumido su *timeslice*, la siguiente tarea con máxima prioridad pasa a RUNNING
  - **BLOCKED/WAITING:** *threads* esperando la ocurrencia de algún evento
  - **TERMINATED:** Threds terminados pero sin liberar recursos.
  - **INACTIVE:** *threads* NO creados o terminados. No consumen ningún recurso



Creación de Threads en Keil uVision

- Se facilita su utilización mediante la utilización de *templates*.



- Asignar un nombre adecuado a la funcionalidad de la tarea a realizar.

Threads en Keil uVision

```
#include "cmsis_os2.h"                          // CMSIS RTOS header file

/*----------------------------------------------------------------------
 *      Thread 1 'Thread_Name': Sample thread
 *---------------------------------------------------------------------*/

osThreadId_t tid_Thread;                        // thread id

void Thread (void *argument);                   // thread function

int Init_Thread (void) {

  tid_Thread = osThreadNew(Thread, NULL, NULL);
  if (tid_Thread == NULL) {
    return(-1);
  }

  return(0);
}

void Thread (void *argument) {

  while (1) {
    ; // Insert thread code here...
      .......
                                                // suspend thread
  }
}
```

Identificador del thread. Ej -> tid_ThDisplay
Lo usaremos para referenciar al thread desde otras partes del código

Creación del thread. El primer parámetro es la función con el código del thread. Ej-> ThDisplay.

Función del thread. Ej -> ThDisplay
Típicamente un bucle sin fin con llamadas a funciones del SO o propias

- Es altamente aconsejable crear un fichero de cabecera donde se deberán declarar la función de inicio para poder ser utilizados por otros módulos del software

Threads en Keil uVision

Fichero ThDisplay.c

```
#include "cmsis_os2.h"                          // CMSIS RTOS header file
#include "ThDisplay.h"


osThreadId_t tid_ThDisplay;                        // thread id

void Thledl (void *argument);                   // thread function

int Init_ThDisplay (void) {


  tid_ThDisplay = osThreadNew(ThDisplay, NULL, NULL);
  if (tid_ThDisplay == NULL) {
    return(-1);
  }

  return(0);
}

void ThDisplay (void *argument) {

  int ciclo=0;

  Init_display();

  while (1) {

                    .......

}
```

Fichero main
Lanza la ejecución de los *threads*

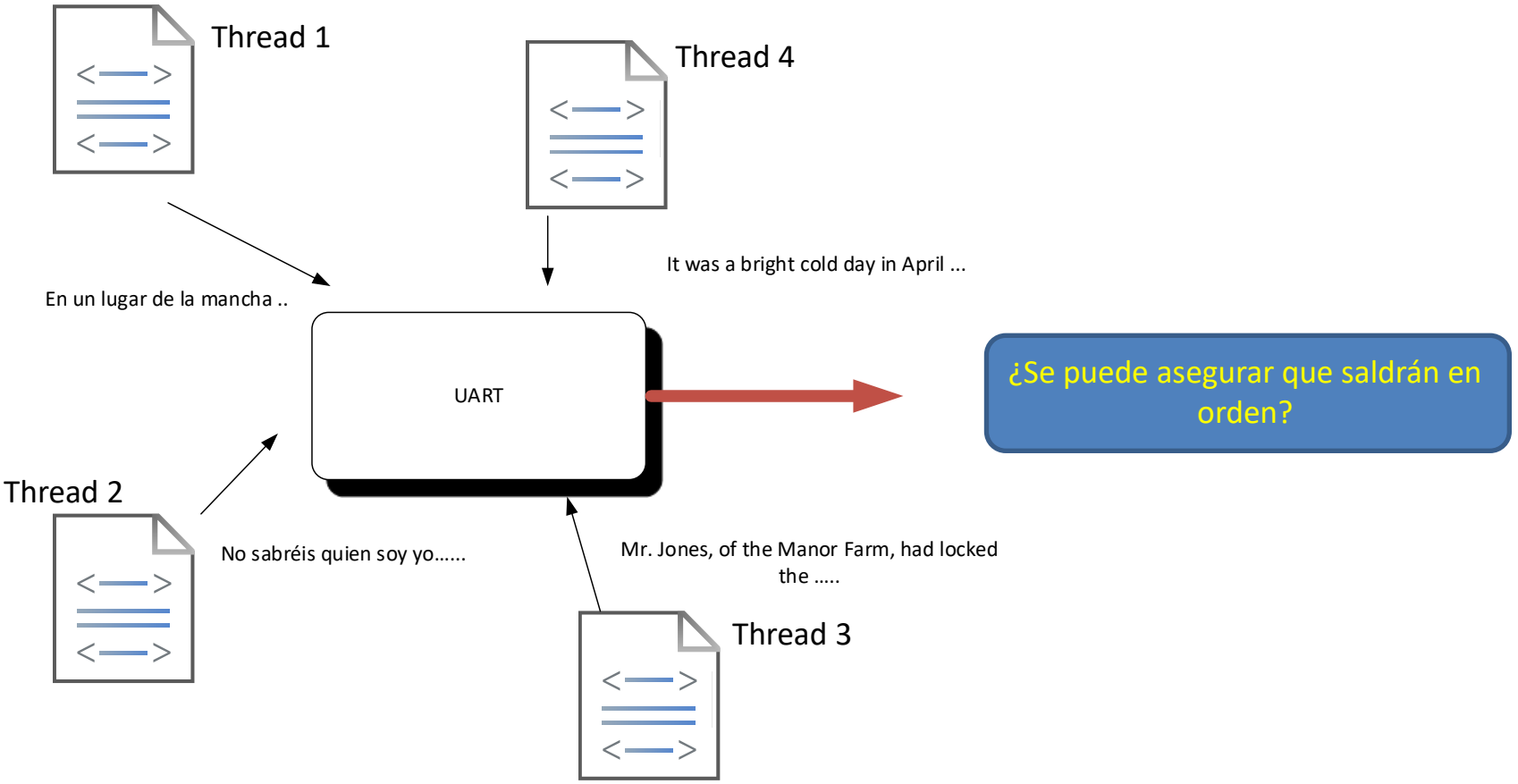
```
int main(void)
{
  int status=0;


  HAL_Init();

  /* Configure the system clock to 168 MHz */
  SystemClock_Config();
  SystemCoreClockUpdate();

  /* Add your application code here
     */

#ifdef RTE_CMSIS_RTOS2
  /* Initialize CMSIS-RTOS2 */
  osKernelInitialize ();

  /* Create thread functions that start executing,
  Example: osThreadNew(app_main, NULL, NULL); */

  status |= Init_ThDisplay ();


  /* Start thread execution */
  osKernelStart();
#endif

  /* Infinite loop */
  while (1)
  {
  }
}
```

Fichero de cabeceras ThDisplay.h

```
#include "stm32f4xx_hal.h"
#include "definiciones.h"


#ifndef _THDISPALY_H
#define _THDISPLAY_H

  #define S_PINTA 0x00000001U


  int Init_ThDisplay (void);

#endif
```

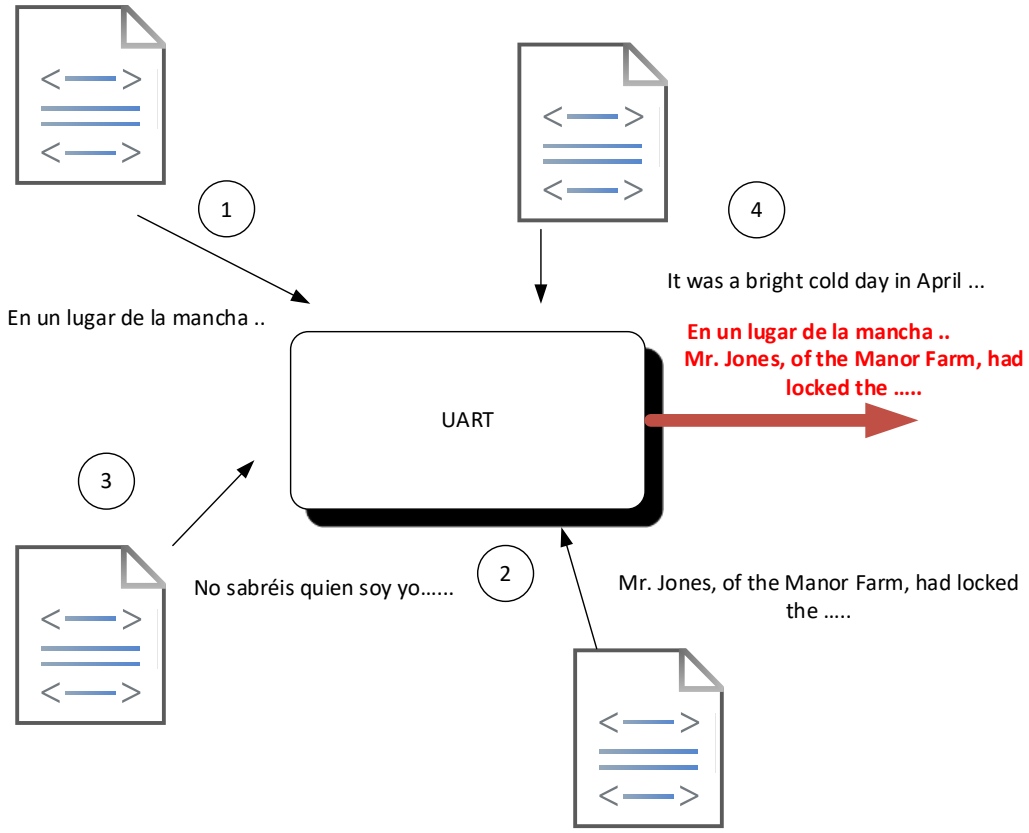
CMSIS-RTOS (Sincronización)

- Una de las claves a la hora de utilizar un sistema operativo es la sincronización entre los diferentes elementos que componen una aplicación.



CMSIS-RTOS (Sincronización)

- Una de las claves a la hora de utilizar un sistema operativo es la sincronización entre los diferentes elementos que componen una aplicación.

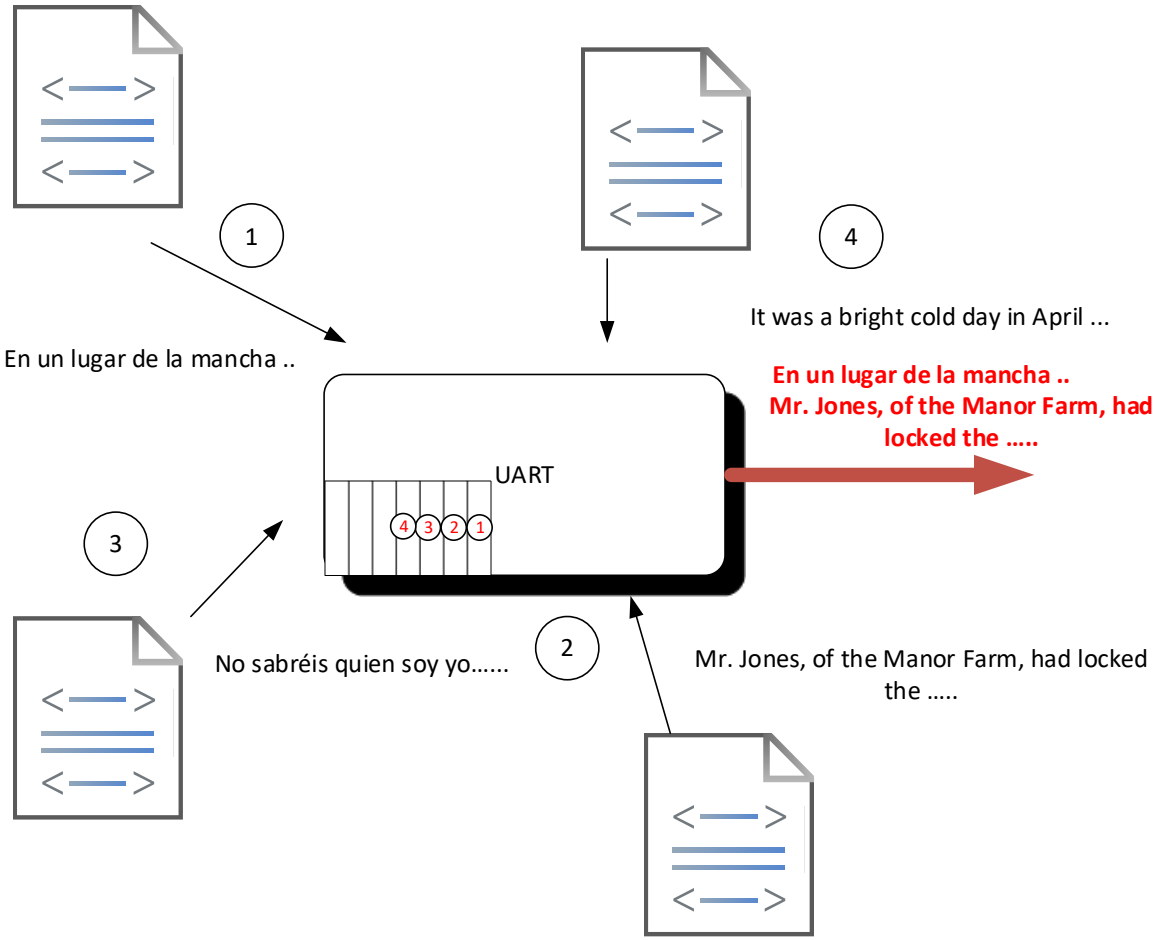


¿Se puede asegurar que saldrán en orden?

En un lugar It was a The Manor .....

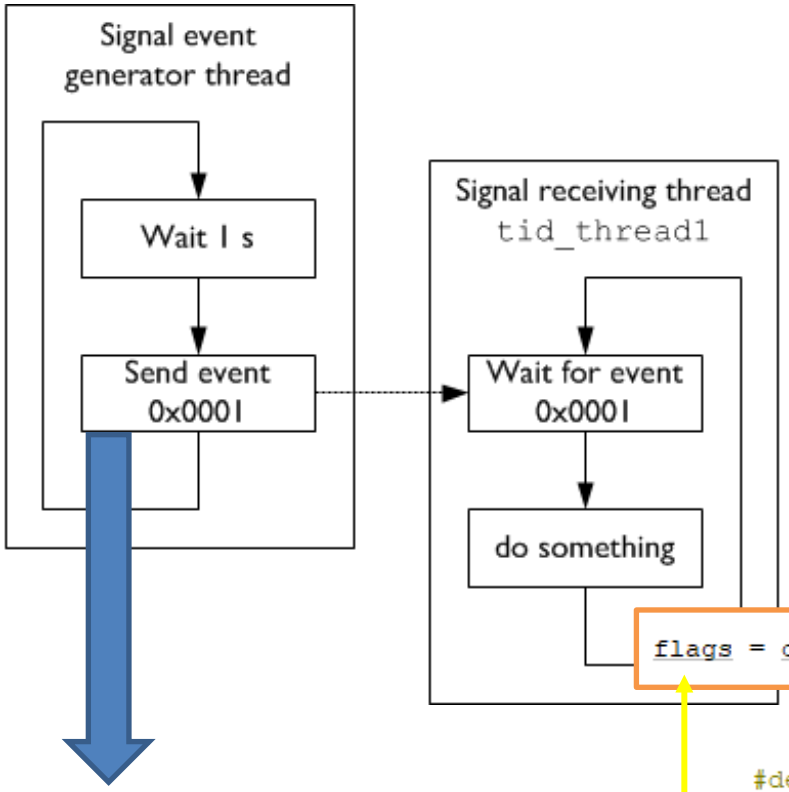
CMSIS-RTOS (Sincronización)

- Hay múltiples mecanismos de sincronización: Flags, Colas, semáforos, Mutex, etc.



Ahora se asegura que no salen mezclados, pero no se puede decir que salgan en el orden deseado.
Hay que utilizar/complementar con otros métodos de sincronización.

CMSIS-RTOS (Sincronización): **Thread Flags**



- ✓ Los hilos pueden detener su ejecución esperando a la activación de un flag desde otro hilo. El hilo pasa al estado de Waiting.
- ✓ Cuando el flag/conjunto de flags son activados, el hilo pasa al estado de Ready.

```
flags = osThreadFlagsWait(S_LED3, osFlagsWaitAny, osWaitForever);
```

```
osThreadFlagsSet( tid_thread1 , S_LED3);
```

```
#define S_LED3   0x00000002U
```

Temporización en ticks o infinito

```
// Flags options (\ref osThreadFlagsWait and \ref osEventFlagsWait).
#define osFlagsWaitAny        0x00000000U ///< Wait for any flag (default).
#define osFlagsWaitAll        0x00000001U ///< Wait for all flags.
#define osFlagsNoClear        0x00000002U ///< Do not clear flags which have been specified to wait for.
```

Retorna los flags antes de ser borrados

NO se puede utilizar en las ISR

CMSIS-RTOS (Thread Flags)

- **`uint32_t osThreadFlagSet(osThreadId_t thread_id, uint32_t flgas)`**
  - Activa el flag especificado de una tarea activa
  - Se puede llamar desde una interrupción

- **`uint32_t osThreadFlagClear(osThreadId_t thread_id, uint32_t signals)`**
  - Borra el flag especificado de una tarea activa
  - No se puede llamar desde una interrupción

- **`uint32_t osThreadFlagsWait(uint32_t flags, uint32_t options, uint32_t timeout)`**
  - Espera a uno o más Flags para continuar la ejecución
  - No se puede llamar desde una interrupción

- **`uint32_t osThreadFlagGet(void)`**
  - Retorna los flags del thread en ejecución
  - No se puede llamar desde una interrupción

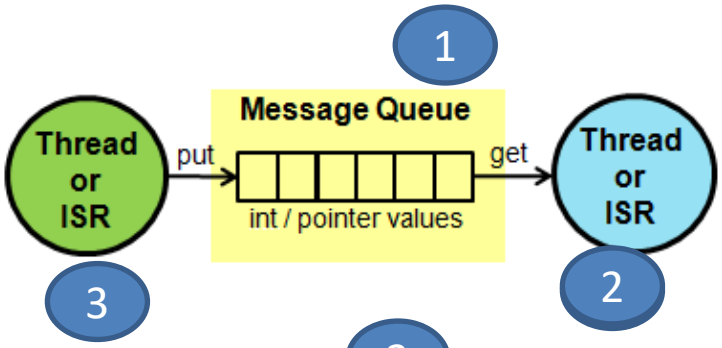
Documentación y valores de retorno
https://arm-software.github.io/CMSIS_5/RTOS2/html/group__CMSIS__RTOS__ThreadFlagsMgmt.html

CMSIS-RTOS (Sincronización)

Colas de mensajes

- ✓ Mecanismo para intercambio de datos "mensajes" entre hilos.
- ✓ Paradigma productor/consumidor.
- ✓ El consumidor puede extraer datos de la cola de forma temporizada.

```
osMessageQueuePut(mid_MsgQueue, &msg, 0U, 0U);
```
3



2

```
status = osMessageQueueGet(mid_MsgQueue, &msg, NULL, osWaitForever);   // wait for message
```

Temporización en ticks

Puntero donde se recoge el mensaje

```
typedef struct {
  uint8_t Buf[32];
  uint8_t Idx;
} MSGQUEUE_OBJ_t;

MSGQUEUE_OBJ_t msg;
```

```
osMessageQueueId_t mid_MsgQueue;                // message queue id

int Init_MsgQueue (void) {

  mid_MsgQueue = osMessageQueueNew(MSGQUEUE_OBJECTS, sizeof(MSGQUEUE_OBJ_t), NULL);
  if (mid_MsgQueue == NULL) {

  }
  return(0);
}
```
1

Se pueden utilizar en las ISR

CMSIS-RTOS (Message Queque)

osMessageQueueId_t	**osMessageQueueNew** (uint32_t msg_count, uint32_t msg_size, const **osMessageQueueAttr_t** *attr) Create and Initialize a Message Queue object. More...
const char *	**osMessageQueueGetName** (**osMessageQueueId_t** mq_id) Get name of a Message Queue object. More...
osStatus_t	**osMessageQueuePut** (**osMessageQueueId_t** mq_id, const void *msg_ptr, uint8_t msg_prio, uint32_t timeout) Put a Message into a Queue or timeout if Queue is full. More...
osStatus_t	**osMessageQueueGet** (**osMessageQueueId_t** mq_id, void *msg_ptr, uint8_t *msg_prio, uint32_t timeout) Get a Message from a Queue or timeout if Queue is empty. More...
uint32_t	**osMessageQueueGetCapacity** (**osMessageQueueId_t** mq_id) Get maximum number of messages in a Message Queue. More...
uint32_t	**osMessageQueueGetMsgSize** (**osMessageQueueId_t** mq_id) Get maximum message size in a Message Queue. More...
uint32_t	**osMessageQueueGetCount** (**osMessageQueueId_t** mq_id) Get number of queued messages in a Message Queue. More...
uint32_t	**osMessageQueueGetSpace** (**osMessageQueueId_t** mq_id) Get number of available slots for messages in a Message Queue. More...
osStatus_t	**osMessageQueueReset** (**osMessageQueueId_t** mq_id) Reset a Message Queue to initial empty state. More...
osStatus_t	**osMessageQueueDelete** (**osMessageQueueId_t** mq_id) Delete a Message Queue object. More...

Documentación y valores de retorno
https://arm-software.github.io/CMSIS_5/RTOS2/html/group__CMSIS__RTOS__Message.html

CMSIS-RTOS (Retardos y acciones temporizadas)

- **Funciones genéricas de espera**
  - Se utilizan para hacer esperas por una determinada cantidad de tiempo

HAL_Delay
Esta prohibido!!!!

```
osStatus_t status;                // capture the return status
uint32_t   delayTime;             // delay time in milliseconds

delayTime = 1000U;                // delay 1 second
status = osDelay(delayTime);      // suspend thread execution
```

Expresado en ticks del Sistema. Por defecto el tick es de 1ms

```
uint32_t tick;

tick = osKernelGetTickCount();        // retrieve the number of system ticks
for (;;) {
  tick += 1000U;                      // delay 1000 ticks periodically
  osDelayUntil(tick);
  // ...
}
```

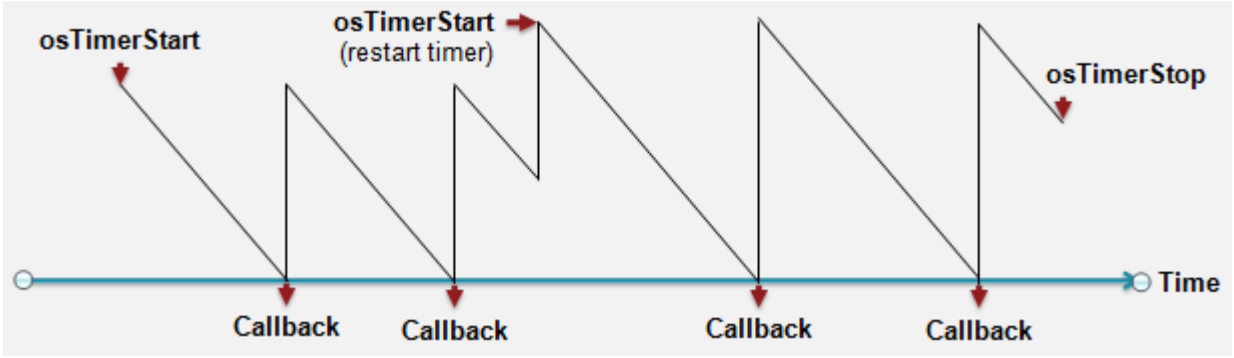
NO se pueden utilizar en las ISR

- **Timers virtuales**
  - Ejecutan una función (callback) cuando el tiempo expira
  - La función de callback es definida por el usuario

CMSIS-RTOS (*Timers* Virtuales)

- Los *timers* funcionan en dos modos
  - **one-shot**: una única ejecución (se arrancan y cuando pasa el tiempo se ejecuta la callback)
  - **periodic**: se repite hasta que se para o se elimina (se arrancan y la callback se ejecuta periódicamente).

Todos los *timers* se pueden arrancar, parar o reanudar.



Source: https://arm-software.github.io/CMSIS_5/RTOS2/html/group__CMSIS__RTOS__TimerMgmt.html

CMSIS-RTOS (*Timers* Virtuales)

```c
/*----- Periodic Timer Parpadeo LED  -----*/
osTimerId_t tim_id;                             // timer id
static uint32_t exec;

static void TimerLed_Callback (void const *arg) {
  //Añadir código aquí
  Led_Toggle(LED1);
}

int Init_Timers (void) {
  osStatus_t status;

  Init_led(LED1);

  // Se crea timer
  exec = 2U;
  tim_id = osTimerNew((osTimerFunc_t)&TimerLed_Callback, osTimerPeriodic, &exec, NULL);
  if (tim_id != NULL) {  // Se ha creado
    // Se inicializa con un intervalo de 1s
    status = osTimerStart(tim_id, 1000U);
    if (status != osOK) {
      return -1;
    }
  }
  return NULL;
}
```

Identificador del *timer*
Lo usaremos para referenciar al *timer*
exec posibilidad de pasar un parámetro a la *callback*

Función *Callback* a ejecutar

Tipo de *timer*:
osTimerPeriodic
odTimerOnce

Asignar la *callback* al *timer*

CMSIS-RTOS (Virtual Timers)

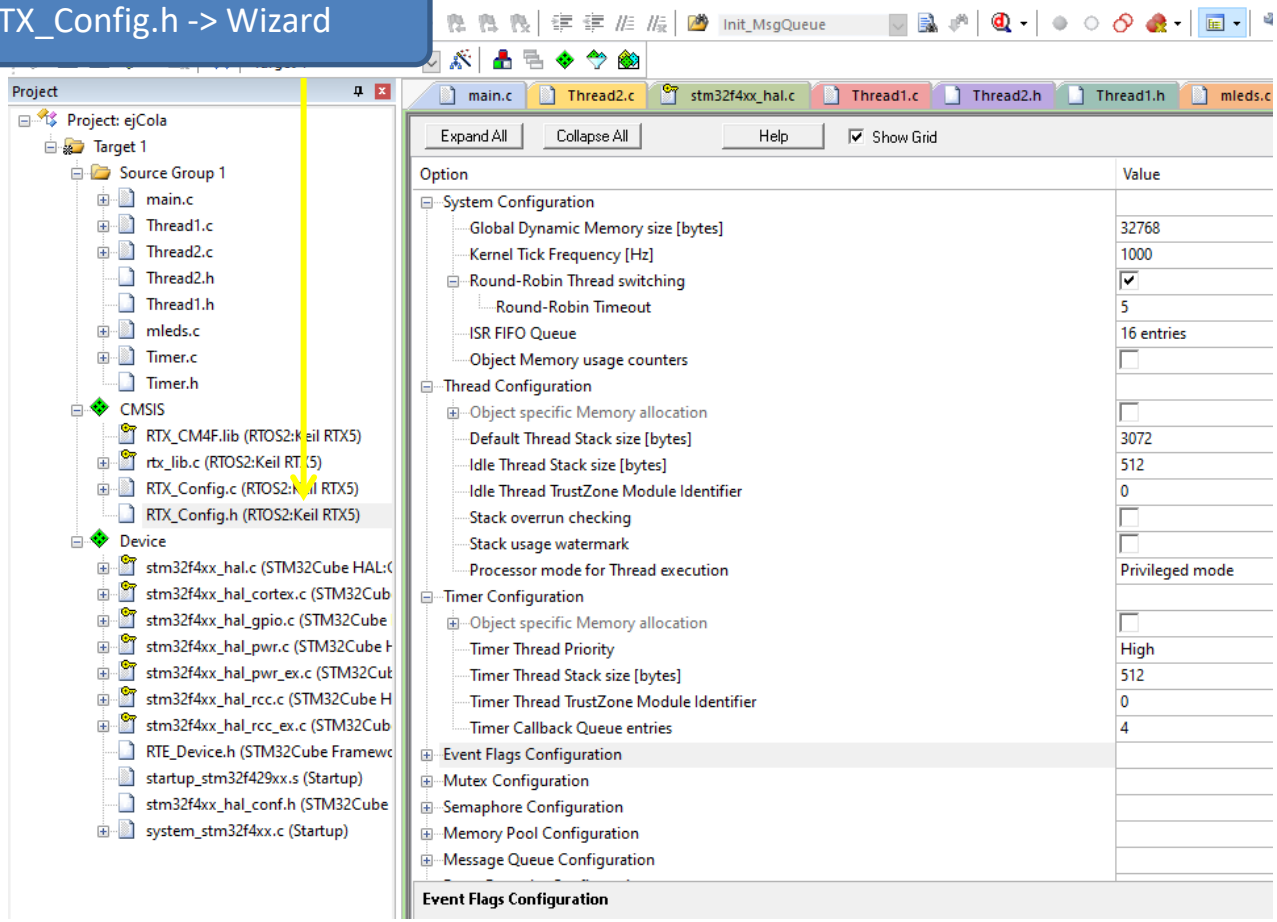
osTimerId_t	**osTimerNew** (**osTimerFunc_t** func, **osTimerType_t** type, void *argument, const **osTimerAttr_t** *attr) Create and Initialize a timer. More...
const char *	**osTimerGetName** (**osTimerId_t** timer_id) Get name of a timer. More...
osStatus_t	**osTimerStart** (**osTimerId_t** timer_id, uint32_t ...ks) Start or restart a timer. More...
osStatus_t	**osTimerStop** (**osTimerId_t** timer_id) Stop a timer. More...
uint32_t	**osTimerIsRunning** (**osTimerId_t** timer_id) Check if a timer is running. More...
osStatus_t	**osTimerDelete** (**osTimerId_t** timer_id) Delete a timer. More...

Si el timer esta arrancado y se llama de nuevo a la function se rearranca!!!!!

Documentación y valores de retorno
https://arm-software.github.io/CMSIS_5/RTOS2/html/group__CMSIS__RTOS__TimerMgmt.html

CMSIS-RTOS (Herramientas de configuración)

RTX_Config.h -> Wizard



Permite configurar diversos parámetros del S.O.

Documentación
https://www.keil.com/pack/doc/CMSIS/RTOS2/html/index.html

CMSIS-RTOS (Herramientas de depuración)

RTX RTOS

Property	Value
System	
Threads	
id: 0x200081E8 "osRtxIdleThread"	osThreadRunning, osPriorityIdle, Stack Used: 0%
id: 0x2000822C "osRtxTimerThread"	osThreadBlocked, osPriorityHigh, Stack Used: 18%
id: 0x20000170 "Thread2"	osThreadBlocked, osPriorityNormal, Stack Used: 4%
State	osThreadBlocked
Priority	osPriorityNormal
Attributes	osThreadDetached
Waiting	Message Get, Timeout: osWaitForever
id: 0x20001A20	
Stack	Used: 4% [128]
Flags	0x00000000
id: 0x20000DC8 "Thread1"	osThreadBlocked, osPriorityNormal, Stack Used: 3%
State	osThreadBlocked
Priority	osPriorityNormal
Attributes	osThreadDetached
Waiting	Delay, Timeout: 5272
Stack	Used: 3% [104]
Flags	0x00000000
Timers	
id: 0x20001D68	Running, Tick: 272
State	Running
Type	osTimerPeriodic
Tick	272
Load	1000
Callback	Func: TimerLed_Callback, Arg: 0x20000114
Message Queues	
id: 0x20008164	Messages: 0, Max: 4
id: 0x20001A20	Messages: 0, Max: 16
Messages	0
Max Messages	16
Message size	33
Threads waiting (1)	
id: 0x20000170	Timeout: osWaitForever

View->Watch Windows -> RTX RTOS

Muestra la información del Sistema Operativo: *Threads, timers, Queues*

CMSIS-RTOS (Consideraciones)

- Antes de abordar una aplicación, se diseñará una estructura de la misma, de forma que en la medida de lo posible **cada periférico será gestionado por un módulo software** que estará compuesto por el correspondiente *thread*, señales, colas, y estructuras de datos. Concepto de *"driver software".*
- Las ISRs serán manejadas por la HAL y en las respectivas *Callbacks (poner atención a las Callbacks que se pueden definir con CMSIS-Driver para I2C/SPI y UART)* se enviarán a los distintos *threads* las señales, mensajes necesarios. Serán rutinas cortas y se evitarán bucles. Vigilar que elementos del S.O. se pueden implementar en su interior.
- Prestar especial atención a la sincronización entre *threads.*
- Se reducirá al máximo la utilización de **variables globales**.

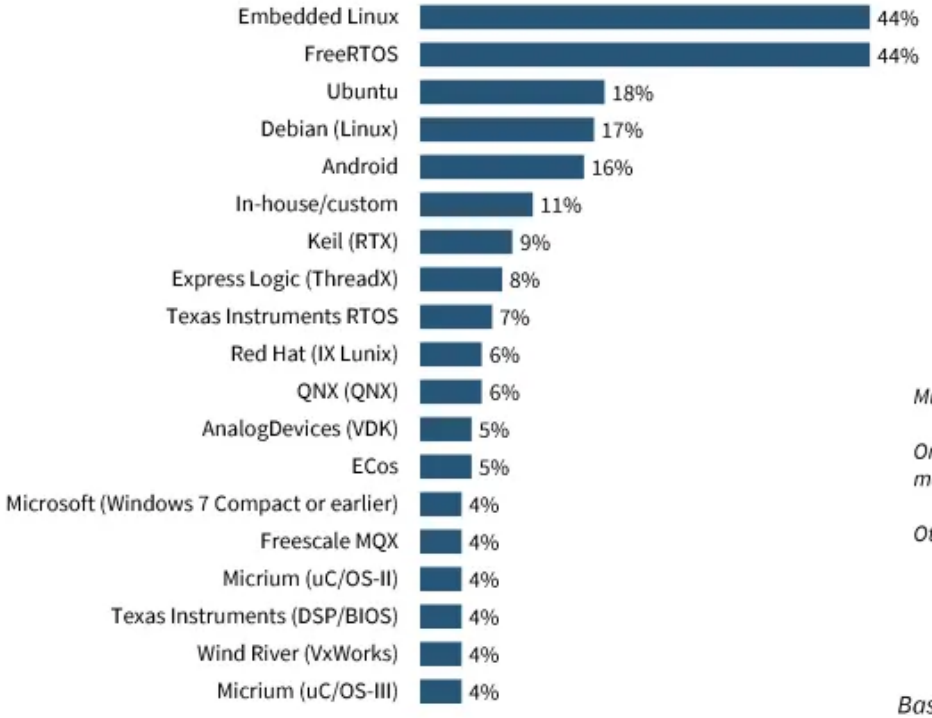
Ejercicios para comprender el uso de CMSIS RTOS V2

- *Disponibles en "moodle"*
- *threads-timer*: ejemplo básico de cómo crear y arrancar dos timer virtuales (software).
- *threads*: ejemplo avanzado de creación de dos threads usando la misma función con paso de parámetros
- *threads-flags*: ejemplo de uso de flags
- *threads-queues*: ejemplo avanzado de uso de queues.

Sistemas operativos mas utilizados en aplicaciones empotradas

Most popular embedded OSs – Embedded Linux, FreeRTOS and Ubuntu

Top 3 OSs are especially popular in APAC, while Embedded Linux is used more in the Americas



Multiple responses allowed

Only those with 4% or more total mentions shown

Other = 7%

Base = Those who will use an OS (566)

embedded survey

35. Please select the operating systems you are currently using or considering using in the next 12 months for a commercial product development project. *(Only include non-RTOS operating systems that you embed into your projects.)*

ASPENCORE | 23