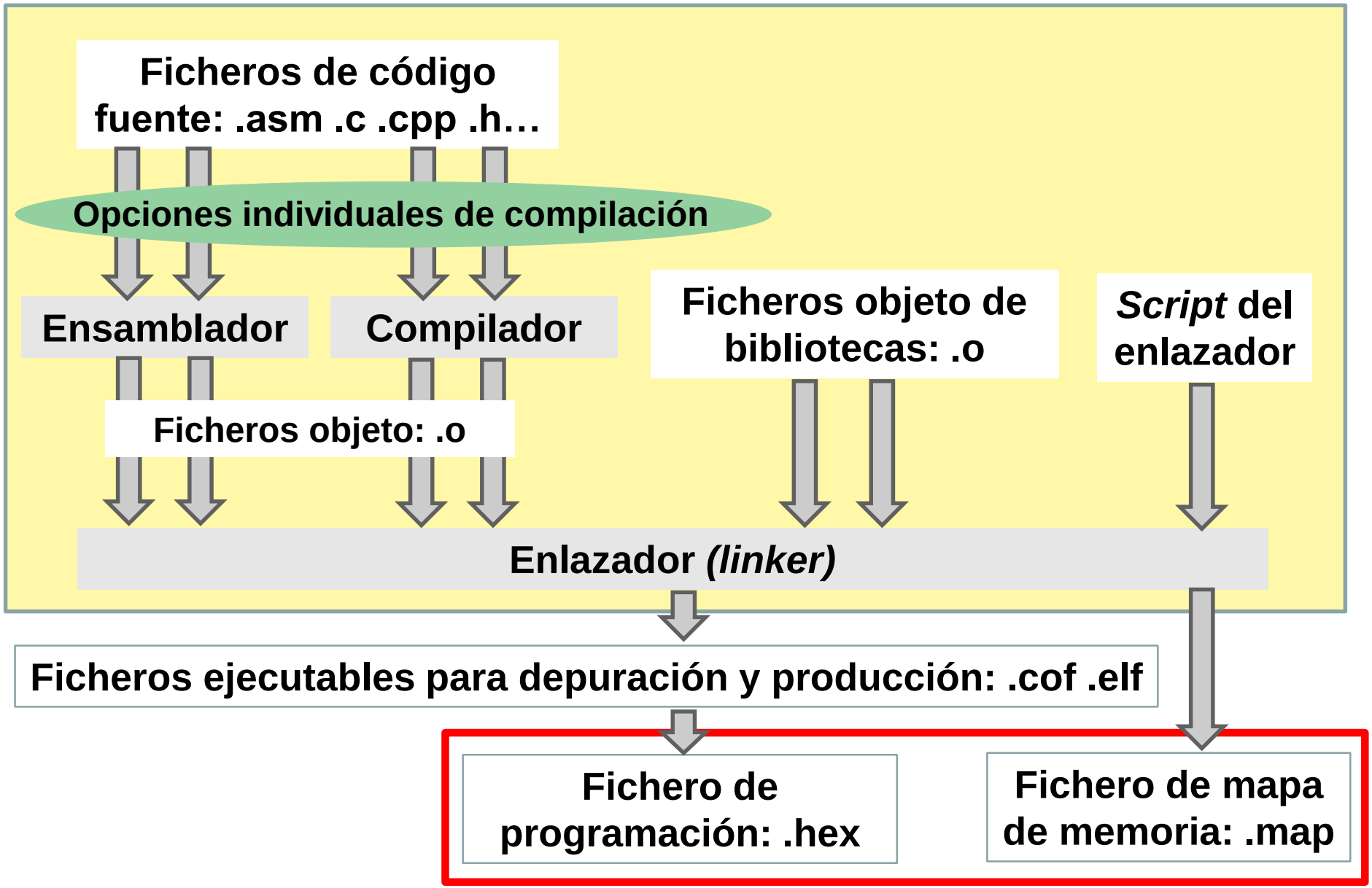
UNIVERSIDAD DE GRANADA

ICAR

Sistemas con Microprocesadores

Construcción de aplicaciones y programación del microcontrolador

Construcción (*build*) de una aplicación



Ejemplo compilación: parpadeo-main.c

```
#include <avr/io.h>
#define F_CPU 16000000UL
//#define __DELAY_BACKWARD_COMPATIBLE__
#include <util/delay.h>

// LED conectado a patilla PB5 en Arduino UNO
#define DDR_PUERTO_LED DDRB
#define PUERTO_LED PORTB
#define BIT_LED  (1 << PB5) // 0b00100000

uint8_t Retardos[] = {1,2,4,6,8};
uint8_t Indice_retardo;

void retardo_x100ms(uint8_t centenas_ms)
{
   uint8_t ret_ind;
   for(ret_ind=0; ret_ind<centenas_ms; ret_ind++)
      _delay_ms(100);
}
```

```
void parpadea(void)
{
   PUERTO_LED = BIT_LED;
   retardo_x100ms(Retardos[Indice_retardo]);
   PUERTO_LED = 0;
   retardo_x100ms(Retardos[Indice_retardo]);

   Indice_retardo++;
   if(Indice_retardo >= sizeof(Retardos))
      Indice_retardo = 0;
}


int main(void)
{
   DDR_PUERTO_LED = BIT_LED;
   Indice_retardo = 2;
   while (1)
      parpadea();
}
```

parpadeo.X.production.map

- Este fichero de texto es útil para comprobar el tamaño ocupado en memoria por variables, constantes y código.
- En este caso el fichero tiene 520 líneas y varias partes:

```
Memory Configuration
Name             Origin             Length             Attributes
text             0x0000000000000000 0x0000000000008000 xr
data             0x0000000000800100 0x0000000000000800 rw !x
eeprom           0x0000000000810000 0x0000000000000400 rw !x
fuse             0x0000000000820000 0x0000000000000003 rw !x
lock             0x0000000000830000 0x0000000000000400 rw !x
signature        0x0000000000840000 0x0000000000000400 rw !x
user_signatures  0x0000000000850000 0x0000000000000400 rw !x
*default*        0x0000000000000000 0xffffffffffffffff
```

- En esta parte se informa de los tamaños de las distintas regiones de memoria, atributos y direcciones de inicio (asumidos por el enlazador):

`text`: almacena código (FLASH)	`data`: almacena variables (RAM)
`eeprom`: espacio de la EEPROM	`fuse`: bits de configuración
`lock`: bits config. bloqueo acces. mem.	`signature`: identifica el dispositivo

parpadeo.X.production.map

- En esta parte se detalla la salida del *script* del enlazador (no mostrada) y cómo se han mapeado variables y código en memoria.
  - Variables colocadas en secciones:

```
Linker script and memory map
[...]
.bss.Indice_retardo
                0x00800105        0x1
 .bss.Indice_retardo
                0x00800105        0x1 [...]/parpadeo-main.o
                0x0000000000800105                Indice_retardo
[...]
.data.retardos  0x00800100        0x5 load address 0x00000158
 .data.retardos
                0x00800100        0x5 [...]/parpadeo-main.o
                0x00800100                retardos
```

`bss`: contiene variables estáticas/globales declaradas sin valor (ocupa RAM)

`progmemx`: contiene constantes (ocuparán solo FLASH)

`data`: contiene variables estátic./glob. declaradas con valor (RAM y FLASH)

parpadeo.X.production.map

- Mapeo del código: Dirección y tamaño de funciones, rutinas y vectores de interrupción:

```
Linker script and memory map
[...]
.text.parpadea  0x000000c8       0x3c
 .text.parpadea
                 0x000000c8       0x3c [...]/parpadeo-main.o
                 0x000000c8            parpadea
[...]
.text.retardo_x100ms
                 0x00000104       0x20
 .text.retardo_x100ms
                 0x00000104       0x20 [...]/parpadeo-main.o
                 0x00000104            retardo_x100ms
[...]
.text.main       0x0000013a       0x10
 .text.main      0x0000013a       0x10 [...]/parpadeo-main.o
                 0x0000013a            main
[...]
```

(Tamaños y direcciones en bytes (no en las palabras de 16 bits de la FLASH)

parpadeo.X.production.hex

- Este tipo de fichero almacena el contenido a programar en microcontroladores, EEPROM, y otros dispositivos.
- Codifica información binaria usando texto.
- Fue diseñado por Intel en 1973.
- Existen otros formatos alternativos. Ej.: el SREC de Motorola.
- Cada línea codifica una serie de bytes en hexadecimal usando el siguiente formato:

```
:<cuenta de bytes><dirección><tipo de registro><datos><suma de control>
```

Campo	Tamaño	Descripción
:	1 carácter	Código de comienzo del registro
cuenta de bytes	1 byte (2 caract.)	Número de bytes en el campo de datos
dirección	2 bytes	Dirección de memoria (relativa) de comienzo
tipo de registro	1 byte	Código entre 0 y 5. 0=Regist. datos 1=Fin de fichero
datos	n bytes	Secuencia de n bytes
suma de control	1 byte	Valor para comprobar que el fichero no tiene errores

parpadeo.X.production.hex

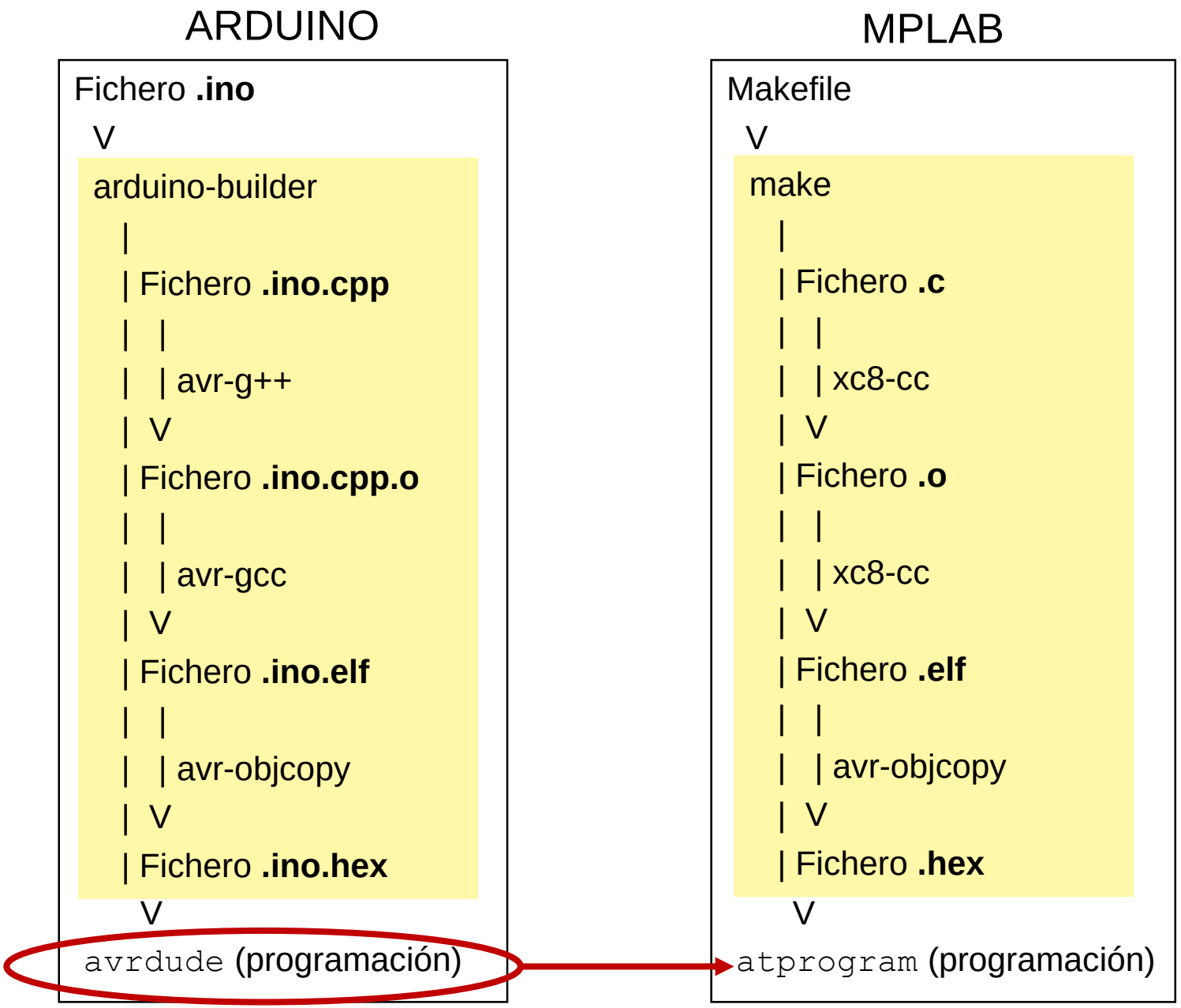
- 29 líneas de texto codifican el binario del programa parpadeo-main.c

```
:<cuenta de bytes><dirección><tipo de registro><datos><suma de control>
```

^-Direcc. en pal. de 8 bits

```
:10000000 0C94 3A00 0C94 A500 0C94 A500 0C94 A500 47 <-| Los 26 "vectores" de
[...]     ^-Instr. de salto (^-direcc. en pal. de 16 bits)  | int. (little-endian)
:10006000 0C94 A500 0C94 A500 0100 0105 0001 5801 A5 <-/
:1000700005010680 11241FBECFEFD8E0DEBFCDBF43 <- Rut.int. tramp. main()
[...]
:1000C800 80E285B9E0910501F0E0E050FF4F8081C2 <-| Función parpadea()
[...]                                           |
:0C00F800 8093050108951092050108950 1          <-/
:10010400 882369F090E02FEF31EE44E02150304035 <-| Fn. retardo_x100ms()
:10011400 4040E1F700C000009F5F8913F4CF0895C9 <-/
[...]
:10013A00 80E284B982E0809305010E946400FDCFC9 <- Función main()
:04014A00 0C940000 11                        <- Rutina atenc. interr.
[...]
:05015800 1020406088D                        <- Valor de var. retardos
:00000001FF                                  <- Regis fin de fichero
```

Construcción de una aplicación



Programación del microcontrolador: avrdude

- Programa de línea de comandos para descargar/cargar a la memoria de microcontroladores AVR. Incluyendo:
  - FLASH, EEPROM, *fuse bytes* y *lock bits*.
  - Parámetros:

`-C <fich-conf>`	Fich. infor. de micros y programadores (avrdude.conf)
`-p <microcont>`	Identificador del microcontrolador (atmega328p)
`-c <programador>`	Identificador del programador (arduino)
`-P <puerto>`	Identificador del puerto paral./serie (virtual) (usb)
`-b <baudios>`	Velocidad del puerto serie (115200)
`-D`	Desactiva el borrado automática inicial de la FLASH
`-U <mem>:<oper>:<fich>:<fmt>`	Especifica la operación <oper> a realizar sobre la memoria <mem> usando el fichero <fich> con formato <fmt> (flash:w:fichero.hex:i)

avrdude

- Ejemplo de ejecución (parámetros copiados de Arduino IDE):
  - Las rutas y el identificador del puerto serie varían según sistema operat.

```
/[...]/avrdude -C [...]/avrdude.conf -p atmega328p -c arduino -P
/dev/cu.usbmodem14101 -b 115200 -D -U flash:w:usart.X.production.hex:i
avrdude: AVR device initialized and ready to accept instructions
Reading | ################################################## | 100% 0.00s
avrdude: Device signature = 0x1e950f (probably m328p)
avrdude: reading input file "usart.X.production.hex"
avrdude: writing flash (12866 bytes):
Writing | ################################################## | 100% 2.08s
avrdude: 12866 bytes of flash written
avrdude: verifying flash memory against usart.X.production.hex:
avrdude: load data flash data from input file usart.X.production.hex:
avrdude: input file usart.X.production.hex contains 12866 bytes
avrdude: reading on-chip flash data:
Reading | ################################################## | 100% 1.65s
avrdude: verifying ...
avrdude: 12866 bytes of flash verified
avrdude: safemode: Fuses OK (E:00, H:00, L:00)
avrdude done.  Thank you.
```

Bits de configuración (*fuse bits*)

- Configuran opciones que la aplicación no suele cambiar.
- En ATmega328P estos bits están contenidos en 3 bytes.
- Estos bits valen 1 por defecto (cuando están sin programar).

Byte de configuración extendido (*Extended fuse byte*):

Bit	Descripción
7	<no usado>
6	<no usado>
5	<no usado>
4	<no usado>
3	<no usado>
2	Nivel de voltaje de activación del *Brown-Out Detector*
1	"
0	"

Bits de configuración (*fuse bits*)

Byte de configuración alto (*High fuse byte*):

Bit	Descripción
7	Desactiva el *reset* externo (a través de la patilla PC6)
6	Habilita la interfaz debugWIRE
5	Habilita la programación y descarga de datos serie (SPI)
4	Deja siempre activo el perro guardián (reinicia el microcontrolador)
3	Conserva la memoria EEPROM durante el borrado del dispositivo
2	Selecciona el tamaño de memoria reservada para caragador arranque (*boot loader)*
1	“
0	Cambia la posición del vector de *reset* en memoria

Cuidado con programar los bits 5 y 7 sin querer: pueden dejar el microcontrolador inutilizable.

Bits de configuración (*fuse bits*)

Byte de configuración bajo (*Low fuse byte*):

- Selecciona el origen de la señal de reloj y detalles sobre su funcionamiento.

Bit	Descripción
7	Activa la división de la frecuencia de la señal de reloj entre 8
6	Activa la salida de la señal de reloj a través de la patilla PB0
5	Tiempo de puesta en marcha del reloj
4	"
3	Selecciona el origen del reloj (oscilador de cristal, oscilador RC…)
2	"
1	"
0	"

Estos bytes de configuración pueden ser leídos y escritos mediante un cable programador.
A través de código en el microcontrolador solo pueden ser leídos.

Bytes de firma (*signature bytes*)

- Todos los microcontroladores Atmel tienen un código de firma de tres bytes que identifica el dispositivo.
- Residen en un espacio de direcciones separado.
- Pueden ser leídos por avrdude o por código en el microcontr.

Para el ATmega328P los bytes de firma son:

Dirección	Valor
0x000	0x1E
0x001	0x95
0x002	0x0F

Otros bytes programables

- *Lock bits*: Limitan el acceso a memoria EEPROM y FLASH.
- *Calibration byte*: Valor de calibración para el oscilador RC interno. Reside en espacio de dir. de bytes de firma (solo lect.)

Comunicación con el PC: usart-main.c

```
#include <avr/io.h>
#define F_CPU 16000000UL
#define BAUD 9600
#include <util/setbaud.h>
#include <util/delay.h>
#include <stdio.h>
void ini_usart(void)
{ // Establece la velocidad
   UBRR0H = UBRRH_VALUE;
   UBRR0L = UBRRL_VALUE;
 #if USE_2X
   UCSR0A |= (1 << U2X0);
 #else
   UCSR0A &= ~(1 << U2X0);
 #endif
    // Activa la transmisión y recepción
   UCSR0B = (1 << TXEN0) | (1 << RXEN0);
   // Configura el carácter a 8 bits y 1 bit d parada
   UCSR0C = (1 << UCSZ01) | (1 << UCSZ00);
}
```

```
void envia_car_usart(char car)
{ // Espera a que se libere el buffer
   loop_until_bit_is_set(UCSR0A, UDRE0);
   UDR0 = car; // Envía el carácter
}
char recibe_car_usart(void)
{ // Espera a que haya un caráct. en el buffer
   loop_until_bit_is_set(UCSR0A, RXC0);
   return(UDR0); // Lee el carácter
}
int envia_car_usart_stream(char car, FILE *s)
{
   if (car == '\n')   envia_car_usart('\r');
   envia_car_usart(car);
   return(0);
}
int recibe_car_usart_stream(FILE *s)
{
   return((int)recibe_car_usart());
}
```

usart-main.c (2)

```
FILE usart_dev = FDEV_SETUP_STREAM(envia_car_usart_stream, recibe_car_usart_stream,
_FDEV_SETUP_WRITE);


int main(void)
{
   ini_usart();
   stdout = &usart_dev;
   stdin = &usart_dev;

   // Configura la patilla del led como salida
   DDRB = (1 << PB5);
   while(1)
   {
      int valor_led = 0;
      printf("Valor para el led (0 o 1): ");
      scanf("%i", &valor_led);
      PORTB = (valor_led==0)? 0 : (1 << PB5);
      _delay_ms(1);
      printf("\nLed a: %x\n", (PINB & (1 << PB5)) != 0);
   }
}
```

```
> screen  /dev/cu.usbmodem14101  9600

Valor para el led (0 o 1):
Led a: 1
Valor para el led (0 o 1):
Led a: 0
Valor para el led (0 o 1):
```