Tema 4:

Diseño del formato de instrucción

Fundamentos de computadores II

José Manuel Mendías Cuadros
Dpto. Arquitectura de Computadores y Automática
Universidad Complutense de Madrid

Contenidos

- ✓ Formatos de instrucción del RISC-V.
- ✓ Codificación de campos.
- ✓ De ensamblador a código máquina.
- ✓ De código máquina a ensamblador.

Transparencias basadas en los libros:

- S.L. Harris and D. Harris. *Digital Design and Computer Architecture. RISC-V Edition.*
- D.A. Patterson and J.L. Hennessy. *Computer Organization and Design. RISC-V Edition.*

Formatos de instrucción

- Los formatos de instrucción determinan la ubicación y codificación de los campos de una instrucción máquina.
  - A mayor regularidad, más simple será el circuito digital que la decodifica.

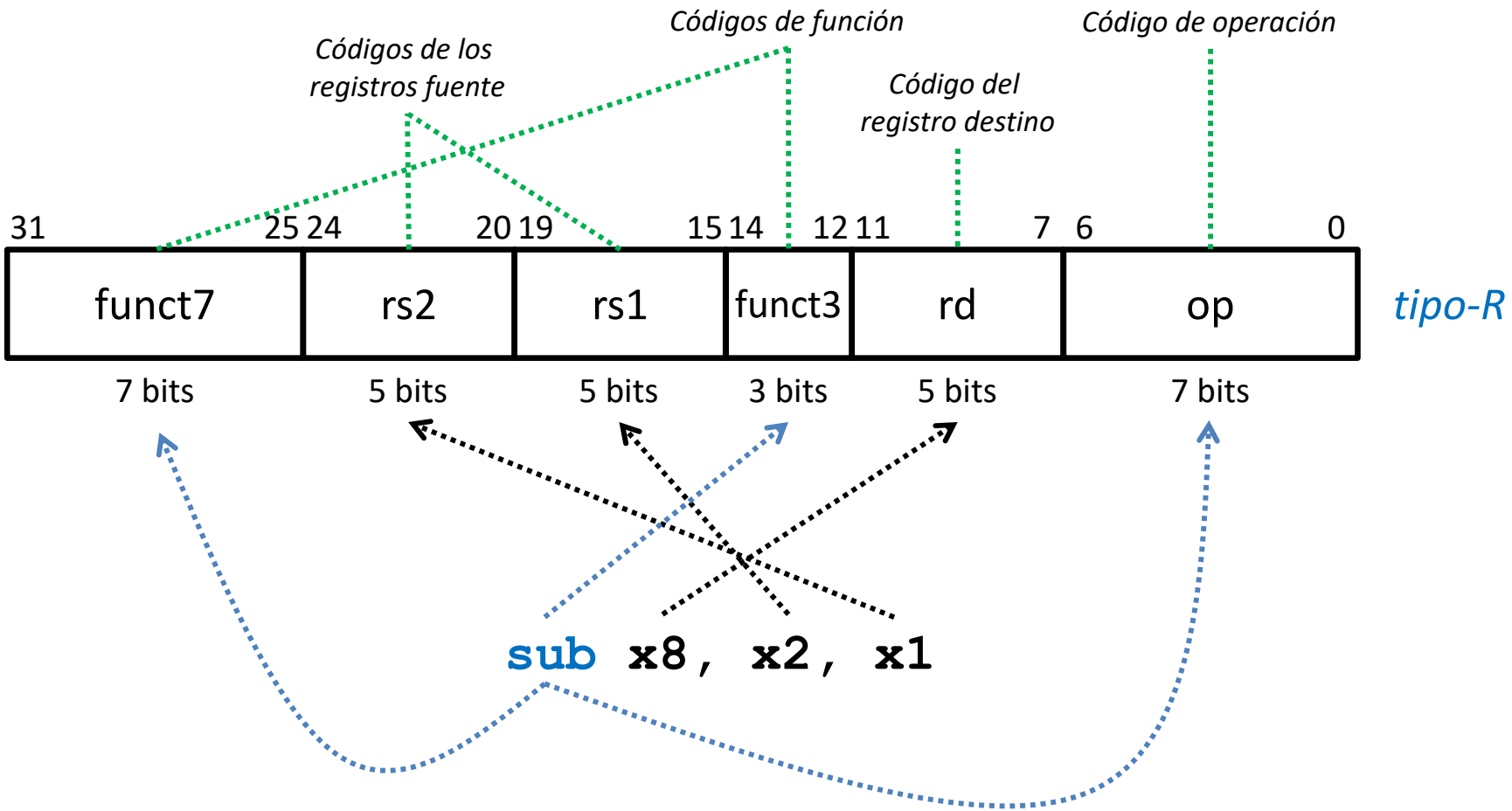
- Los formatos de instrucción del RISC-V tienen los siguientes campos:
  - Código de operación (op): indica la clase de instrucción.
  - Código de función (funct3 y funtc7): determina la instrucción concreta dentro de la clase.
  - Operando en registro (rs1, rs2, rd): codifica un número del registro.
  - Operando inmediato (imm): contiene un valor inmediato que se interpreta en binario puro o C2 según la instrucción.
    - Este campo puede estar fragmentado en 2 porciones distribuidas a lo largo de la instrucción.

Formatos de instrucción

- En RISC-V solo existen 4 tipos de formatos:
  - Tipo-R: para instrucciones con 3 operandos en registros, 2 fuente y 1 destino.
    - Aritmético-lógicas y de desplazamiento.
  - Tipo-I: para instrucciones con 2 operandos en registros, uno fuente y otro destino, y 1 operando fuente inmediato corto (12 bits).
    - Aritmético-lógica y de desplazamiento con operando inmediato, de carga y `jalr`.
  - Tipo-S/B: para instrucciones con 2 operandos fuente en registros y 1 operando inmediato corto (12/13 bits).
    - De almacenamiento (S) y de salto condicional (B).
  - Tipo-U/J: para instrucciones con 1 operando destino en registro y 1 operando inmediato largo (20/21 bits).
    - `lui` (U) , `auipc` (U) y `jal` (J).
- Todos los formatos tiene anchura fija de 32 bits.

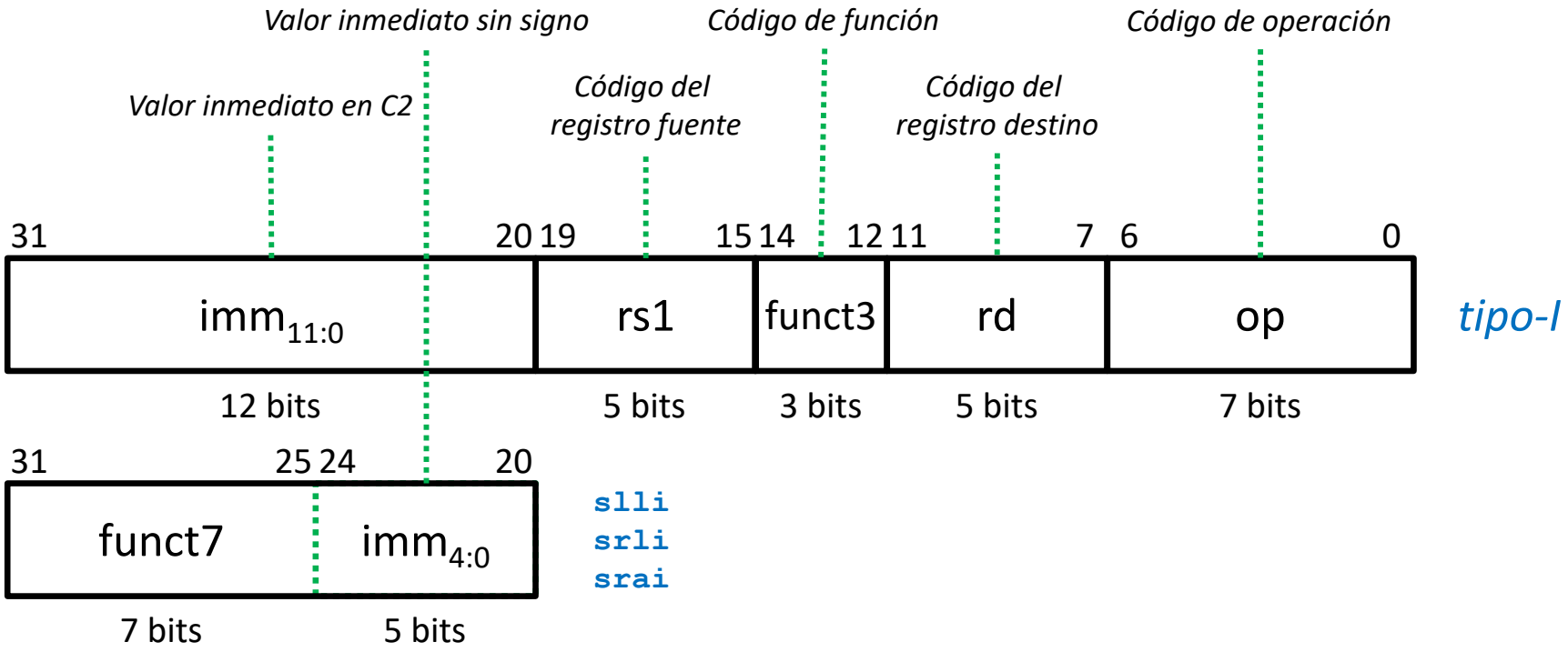
Formato tipo-R

- Usado para codificar instrucciones con 3 operandos en registros, 2 fuente y 1 destino.



Formato tipo-I

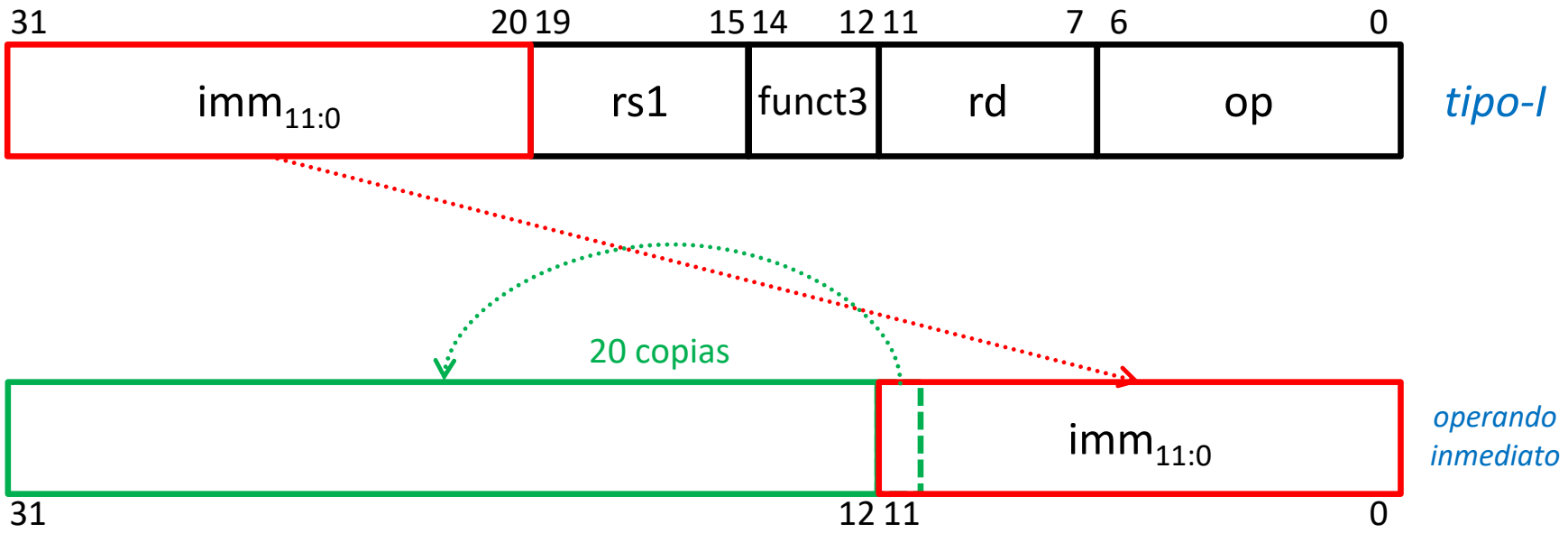
- Usado para codificar instrucciones con 2 operandos en registros, uno fuente y uno destino, y 1 operando fuente inmediato corto (12b)
  - En instrucciones aritméticas, lógicas y de carga de memoria, el signo del valor inmediato se extenderá hasta 32 bits.
  - En las instrucciones de desplazamiento solo se usan los 5 bits inferiores del valor inmediato, los 7 bits superiores se usan como campo de función.



Formato tipo-I

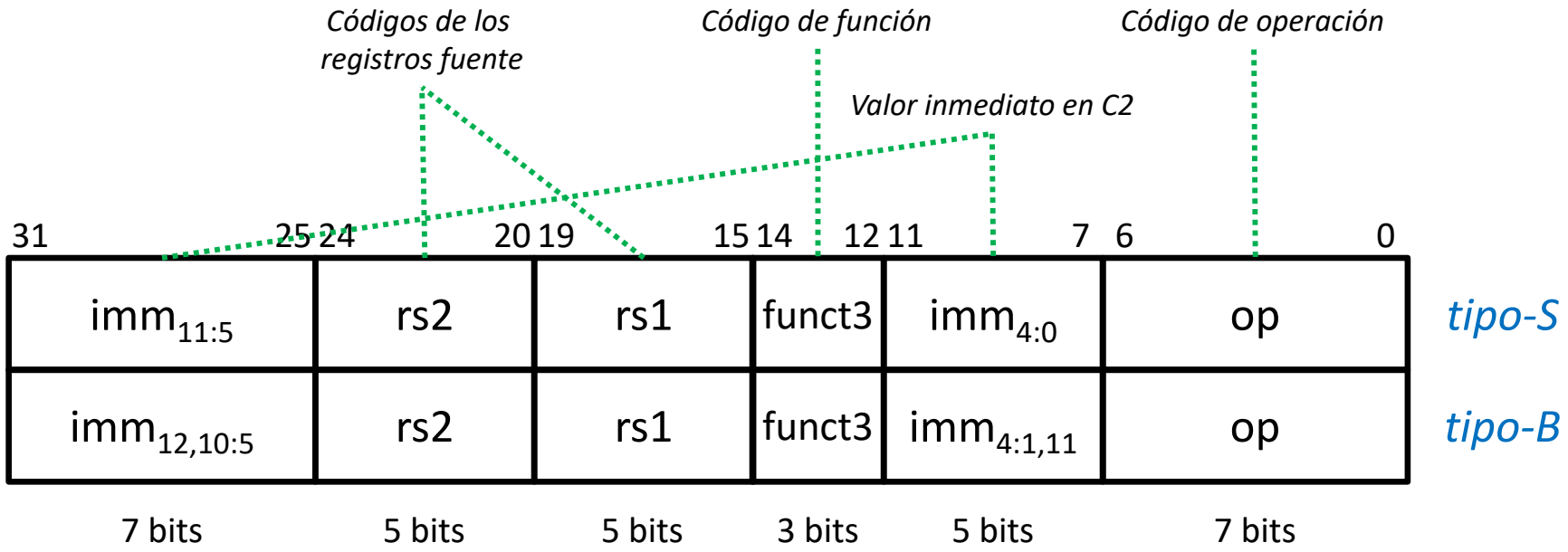
Codificación del operando inmediato

- Para obtener de una instrucción de tipo-I el operando inmediato efectivo de 32b:
  - El signo se extiende 20 bits.



Formato tipo S/B

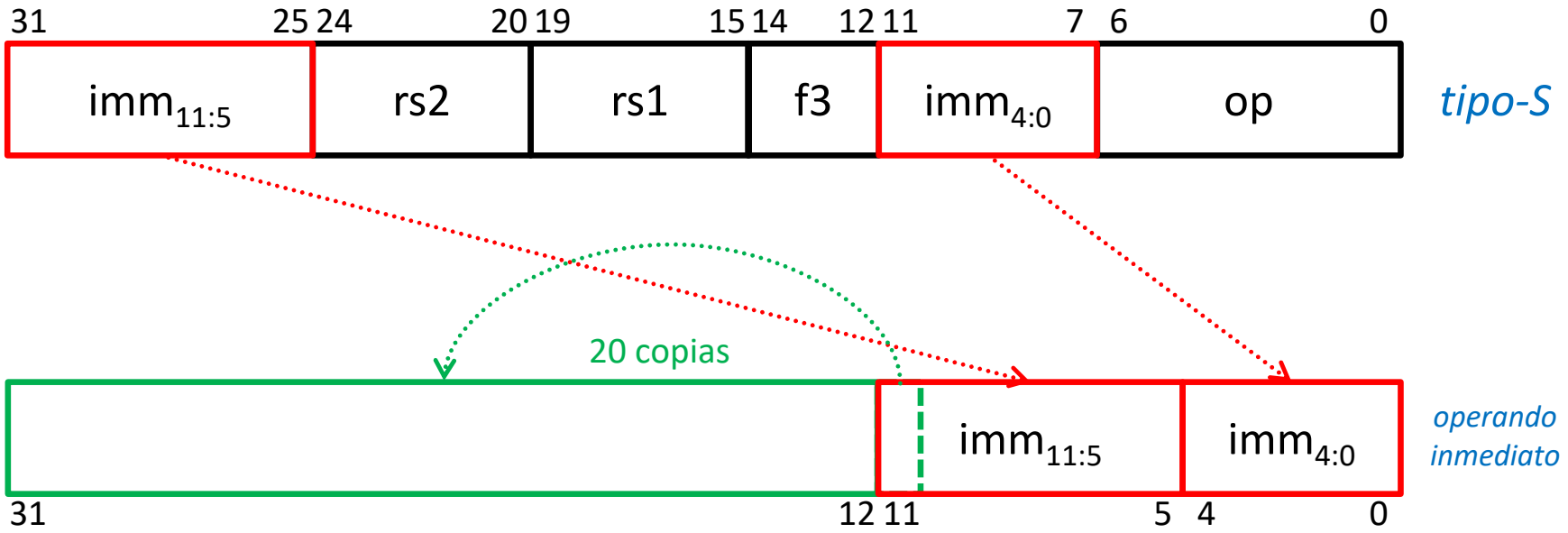
- Usado para codificar instrucciones con 2 operandos fuente en registros y 1 operando fuente inmediato corto (12/13b).
  - En ambos formatos, el valor inmediato está fragmentado en 2 campos y su signo se extenderá hasta 32 bits.
  - En el formato tipo-B, además, de los 13b del valor inmediato solo se almacenan desordenados los 12b superiores.
    - Las instrucciones se ubican en direcciones múltiplos de 4 acabadas en 2 ceros, solo se quita un 0 por compatibilidad con extensión RVC (instrucciones de 16b).



Formato tipo S

Codificación del operando inmediato

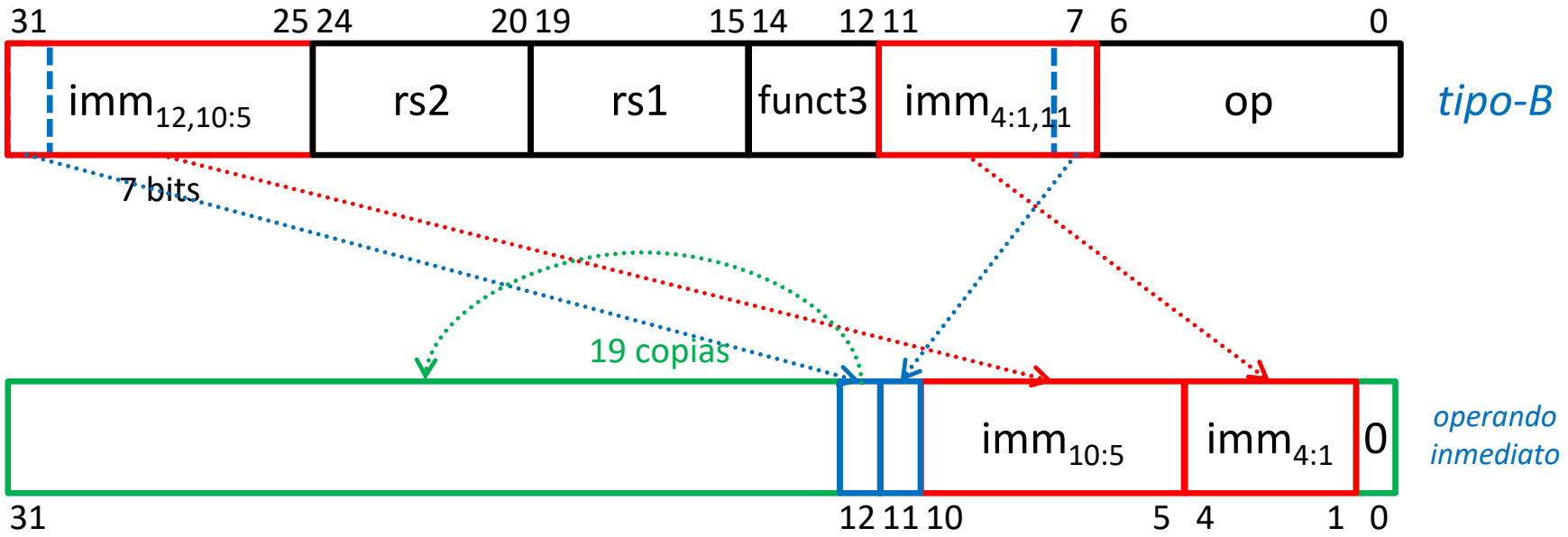
- Para obtener de una instrucción de tipo-S el operando inmediato efectivo de 32 bits:
  - Los campos inmediatos se concatenan.
  - El signo se extiende 20 bits.



Formato tipo B

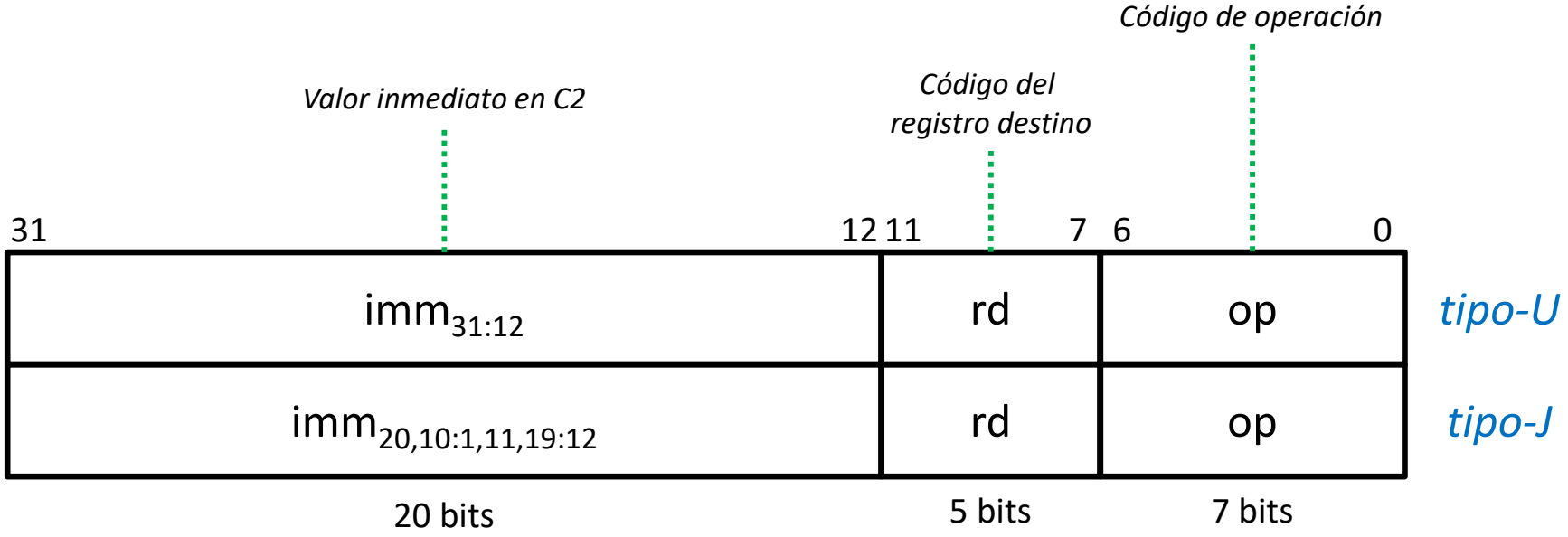
Codificación del operando inmediato

- Para obtener de una instrucción de tipo-B el operando inmediato efectivo de 32 bits:
  - Los campos se deben concatenan.
  - Los campos inmediatos se reordenan.
  - El signo se extiende 19 bits.
  - Se completa con 1 cero por la derecha.



Formatos tipo U/J

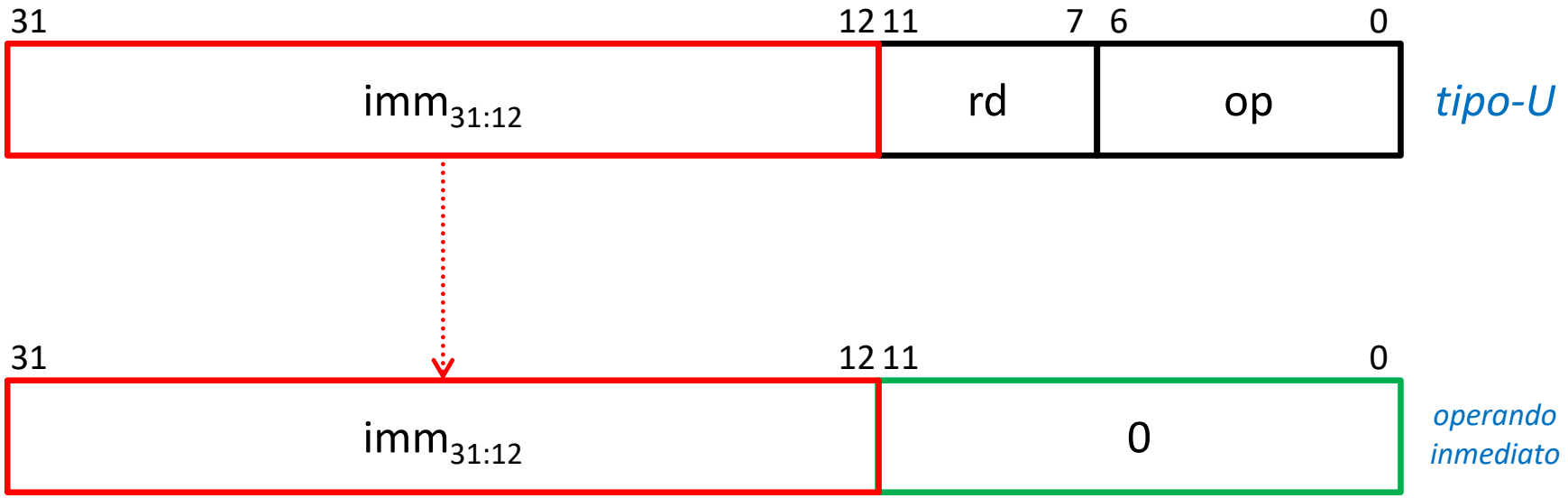
- Usado para codificar instrucciones con 1 operando destino en registro y 1 operando inmediato largo (20/21b).
  - En el formato tipo-U, el valor inmediato se completa con 0 por la derecha hasta 32 bits.
  - En el formato tipo-J, de los 21b del valor inmediato solo se almacenan desordenados los 20b superiores y su signo se extenderá hasta 32 bits.
    - Las instrucciones se ubican en direcciones múltiplos de 4 acabadas en 2 ceros, solo se quita un 0 por compatibilidad con extensión RVC (instrucciones de 16b).



Formato tipo U

Codificación del operando inmediato

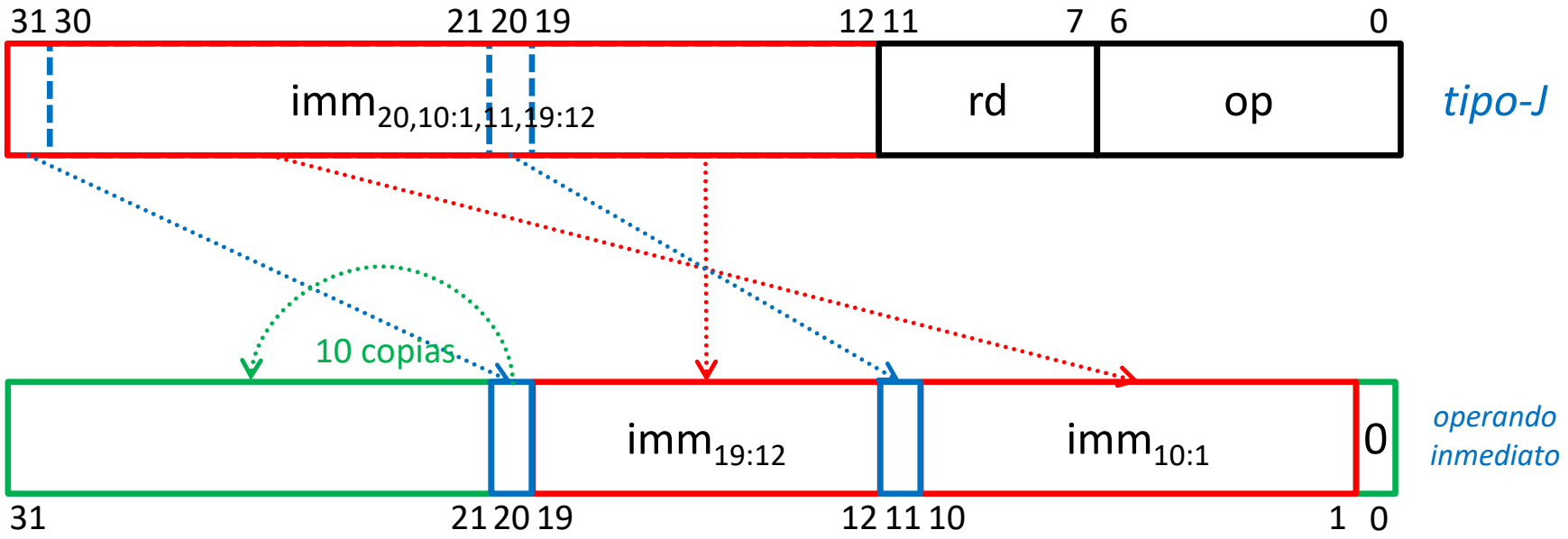
- Para obtener de una instrucción de tipo-U el operando inmediato efectivo de 32 bits:
  - El campo inmediato se completa con 12 ceros por la derecha.



Formato tipo J

Codificación del operando inmediato

- Para obtener de una instrucción de tipo-J el operando inmediato efectivo de 32 bits:
  - El campo inmediato se reordena.
  - El signo se extiende 10 bits.
  - Se completa con 1 cero por la derecha.



Formatos de instrucción

Resumen (i)

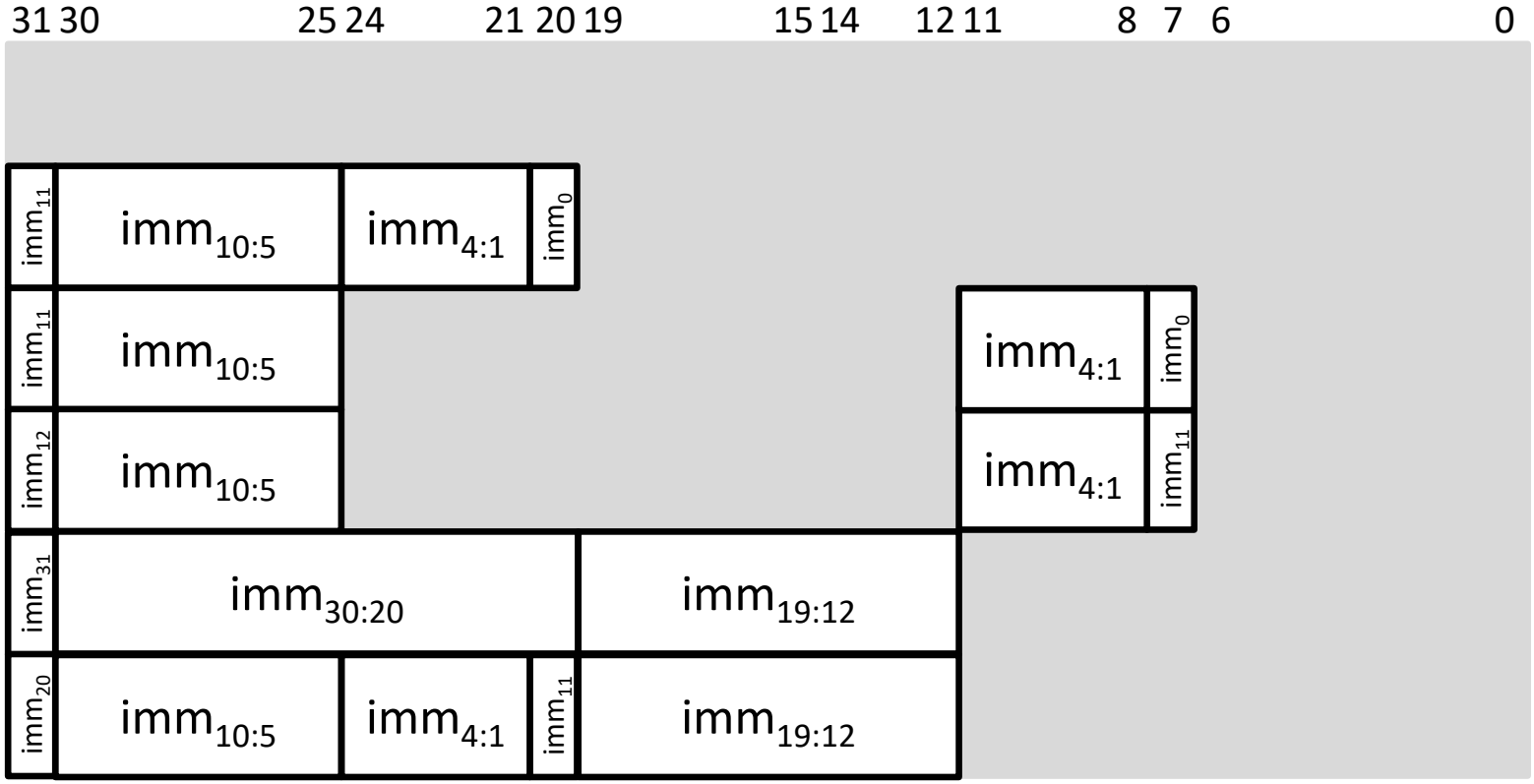
- Los formatos del RSIC-V son extremadamente regulares:
  - Los mismos campos siempre ocupan la misma posición.
  - Los campos no usados se reutilizan para otros propósitos.
  - El signo del valor inmediato siempre está en la posición 31 de la instrucción.

31 25	24 20	19 15	14 12	11 7	6 0	
funct7	rs2	rs1	funct3	rd	op	*tipo-R*
$imm_{11:0}$		rs1	funct3	rd	op	*tipo-I*
$imm_{11:5}$	rs2	rs1	funct3	$imm_{4:0}$	op	*tipo-S*
$imm_{12,10:5}$	rs2	rs1	funct3	$imm_{4:1,11}$	op	*tipo-B*
$imm_{31:12}$				rd	op	*tipo-U*
$imm_{20,10:1,11,19:12}$				rd	op	*tipo-J*

Formatos de instrucción

Resumen (ii)

- La ubicación de los operandos inmediatos está ideada para simplificar la lógica de extensión de signo.
  - Los mismos fragmentos suelen ocupar la misma posición.
  - Si no, se distribuyen en el menor número de posiciones diferentes posible.
  - Ubicar constantes es enrevesado, pero no es común ensamblar a mano.



Codificación de campos

Códigos de operación

op	Clase de instrucción	Tipo
0000011	carga de memoria	I
0010011	aritmético-lógicas y de desplazamiento con operando inmediato	I
0010111	**`auipc`**	U
0100011	almacenaje en memoria	S
0110011	aritmético-lógicas y de desplazamiento con operandos en registros	R
0110111	**`lui`**	U
1100011	salto condicional	B
1100111	**`jalr`**	I
1101111	**`jal`**	J

Codificación de campos

Códigos de función (i)

Instrucciones de carga de memoria

op	funct3	Instrucción	Tipo
0000011	000	`lb`	I
	001	`lh`	I
	010	`lw`	I
	011	`lbu`	I
	100	`lhu`	I

Instrucciones de almacenaje en memoria

op	funct3	Instrucción	Tipo
0100011	000	`sb`	S
	001	`sh`	S
	010	`sw`	S

Codificación de campos

Códigos de función (ii)

Instrucciones aritmético-lógicas y de desplazamiento con operando inmediato

op	funct3	funct7*	Instrucción	Tipo
0010011	000	-	**addi**	I
	001	0000000*	**slli**	I
	010	-	**slti**	I
	011	-	**sltiu**	I
	100	-	**xori**	I
	101	0000000*	**srli**	I
	101	0100000*	**srai**	I
	110	-	**ori**	I
	111	-	**andi**	I

*Codificados en los 7 bits superiores del campo imm

Codificación de campos

Códigos de función (iii)

Instrucciones aritmético-lógicas y de desplazamiento con operandos en registros

op	funct3	funct7	Instrucción	Tipo
0110011	000	0000000	`add`	R
	000	0100000	`sub`	R
	001	0000000	`sll`	R
	010	0000000	`slt`	R
	011	0000000	`sltu`	R
	100	0000000	`xor`	R
	101	0000000	`srl`	R
	101	0100000	`sra`	R
	110	0000000	`or`	R
	111	0000000	`and`	R

Codificación de campos

Códigos de función (iv)

Instrucciones* de multiplicación y división

op	funct3	funct7	Instrucción	Tipo
0110011	000	0000001	`mul`	R
	001	0000001	`mulh`	R
	010	0000001	`mulhsu`	R
	011	0000001	`mulhu`	R
	100	0000001	`div`	R
	101	0000001	`divu`	R
	110	0000001	`rem`	R
	111	0000001	`remu`	R

*Definidas en la extension RVM

Codificación de campos

Códigos de función (v)

Instrucciones de salto condicional

op	funct3	Instrucción	Tipo
1100011	000	`beq`	B
	001	`bne`	B
	100	`blt`	B
	101	`bge`	B
	110	`bltu`	B
	111	`bgeu`	B

Codificación de campos

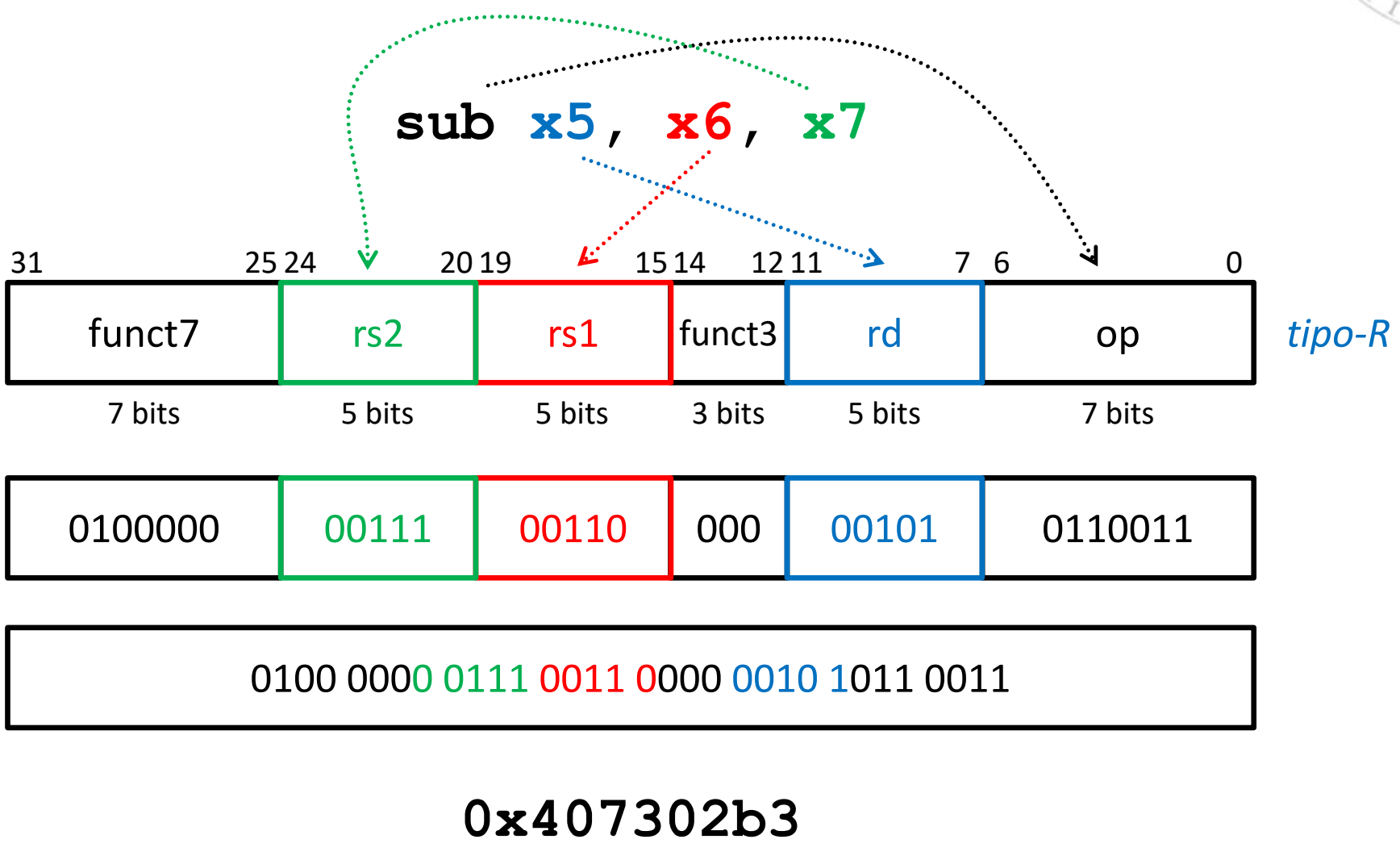
Códigos de registro

Nombre	Número	Código
zero	x0	00000
ra	x1	00001
sp	x2	00010
gp	x3	00011
tp	x4	00100
t0	x5	00101
t1	x6	00110
t2	x7	00111
s0/fp	x8	01000
s1	x9	01001
a0	x10	01010
a1	x11	01011
a2	x12	01100
a3	x13	01101
a4	x14	01110
a5	x15	01111

Nombre	Número	Código
a6	x16	10000
a7	x17	10001
s2	x18	10010
s3	x19	10011
s4	x20	10100
s5	x21	10101
s6	x22	10110
s7	x23	10111
s8	x24	11000
s9	x25	11001
s10	x26	11010
s11	x27	11011
t3	x28	11100
t4	x29	11101
t5	x30	11110
t6	x31	11111

De ensamblador a código máquina

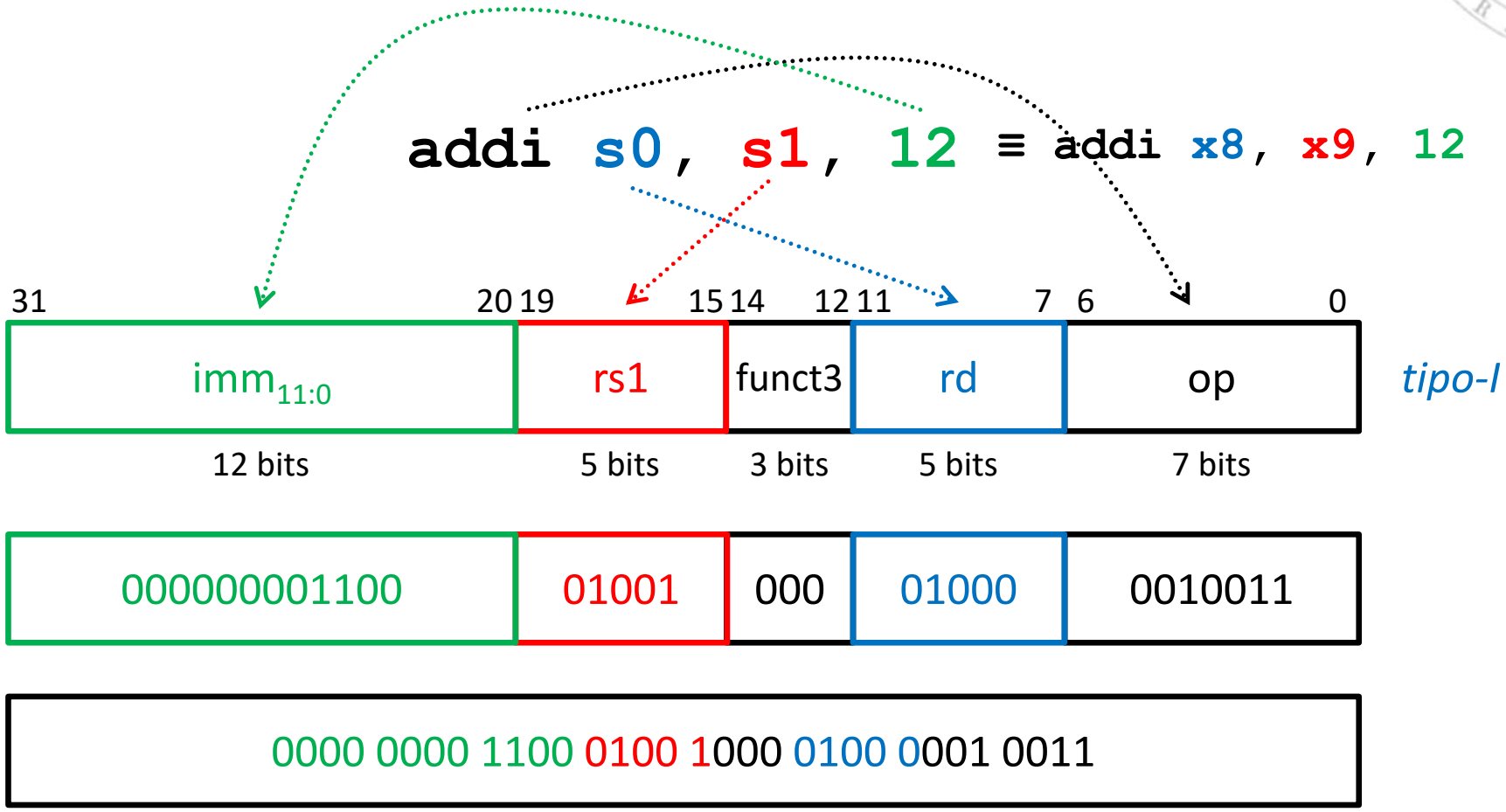
Ejemplo: instrucción tipo-R



0x407302b3

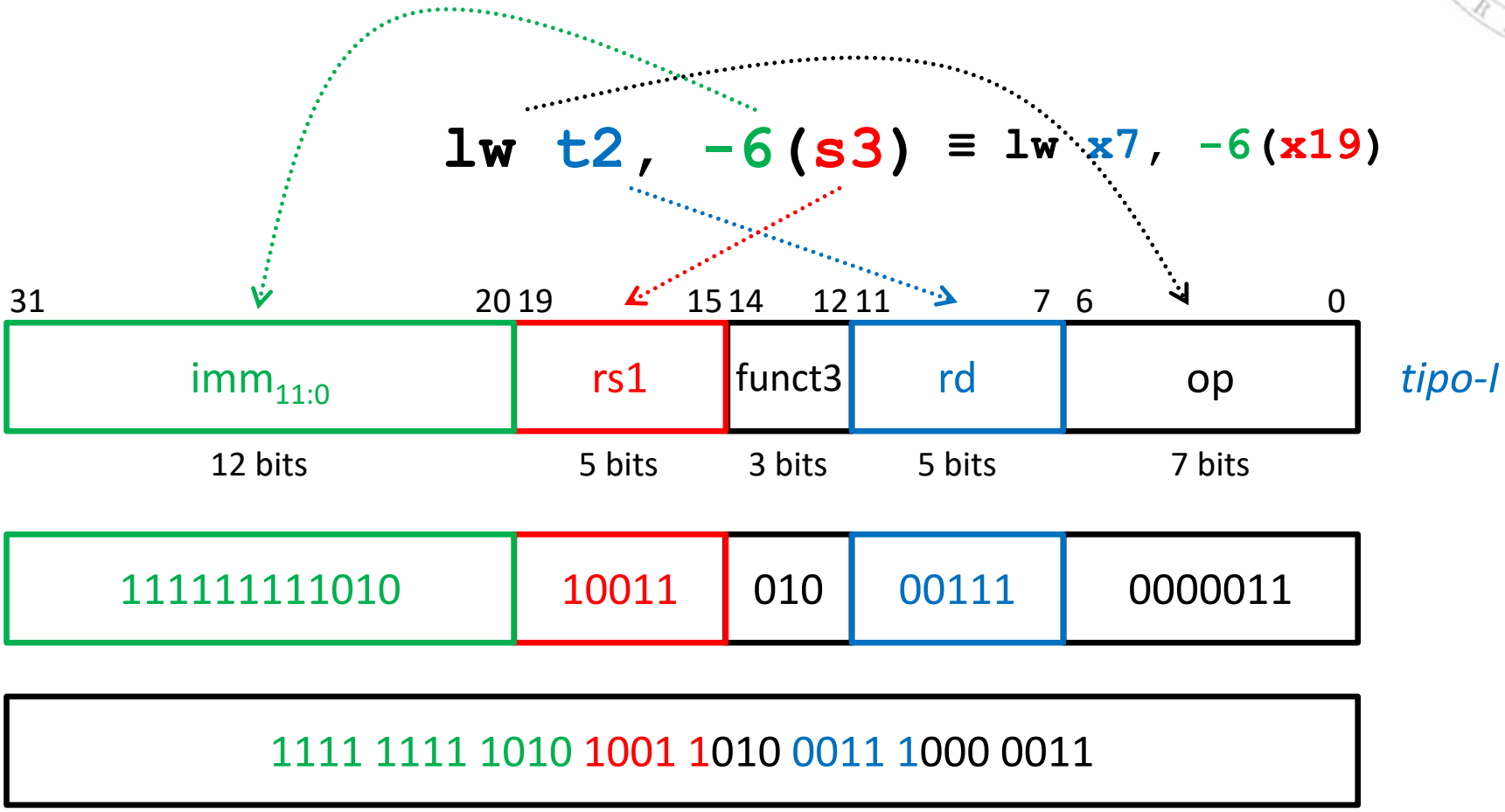
De ensamblador a código máquina

Ejemplo: instrucción tipo-I (i)



De ensamblador a código máquina

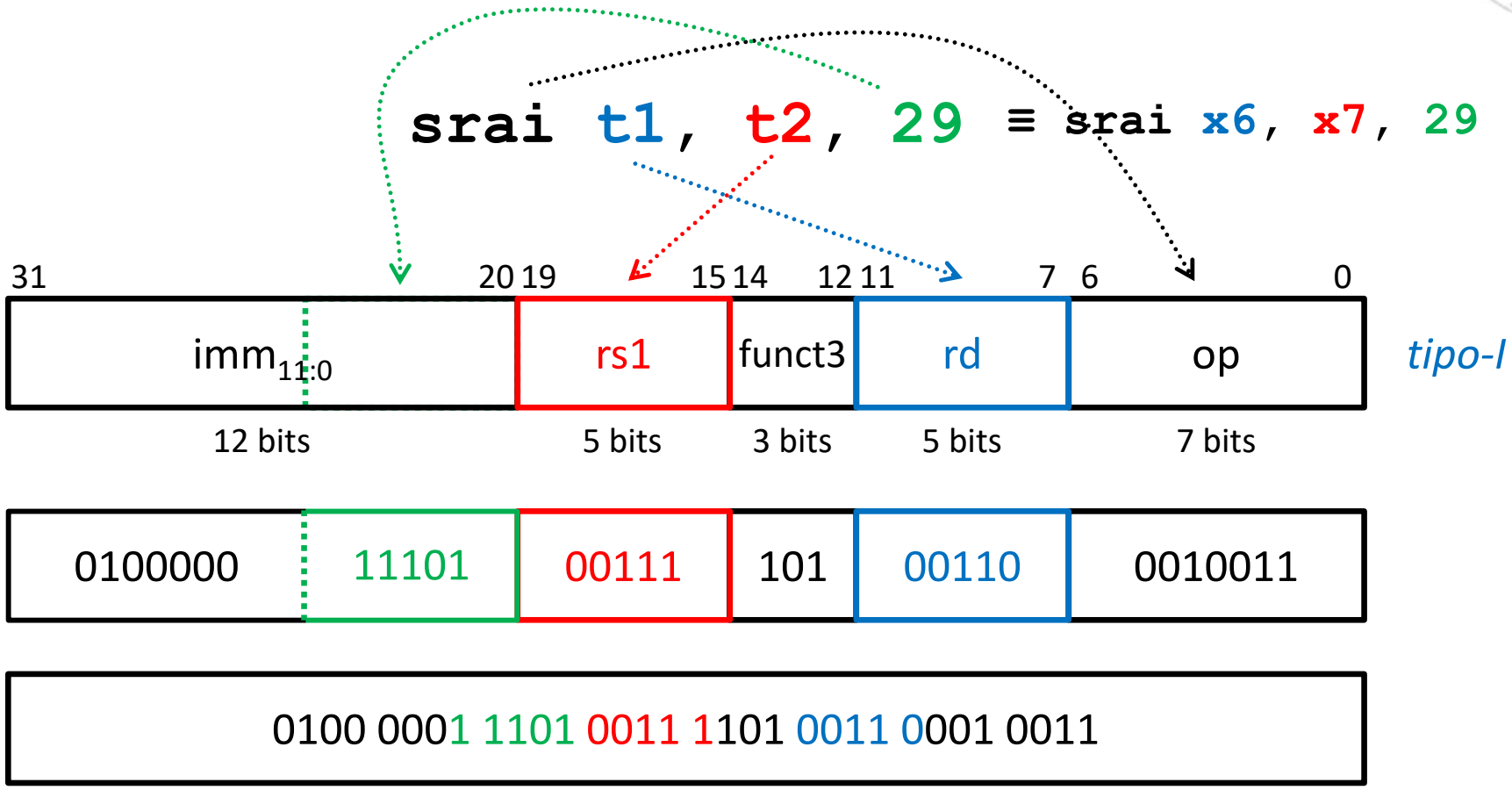
Ejemplo: instrucción tipo-I (ii)



0xffa9a383

De ensamblador a código máquina

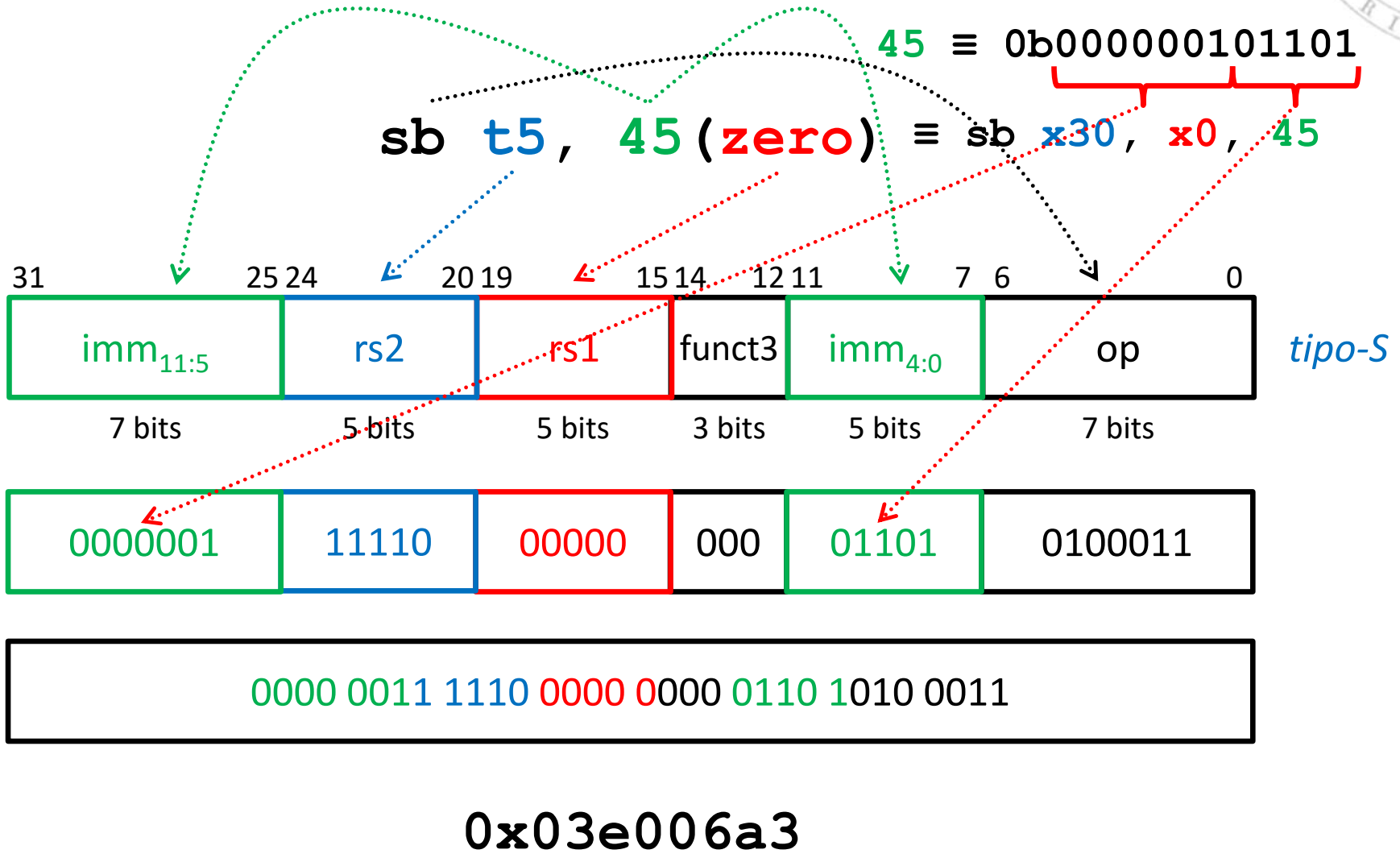
Ejemplo: instrucción tipo-I (iii)



0x41d3d313

De ensamblador a código máquina

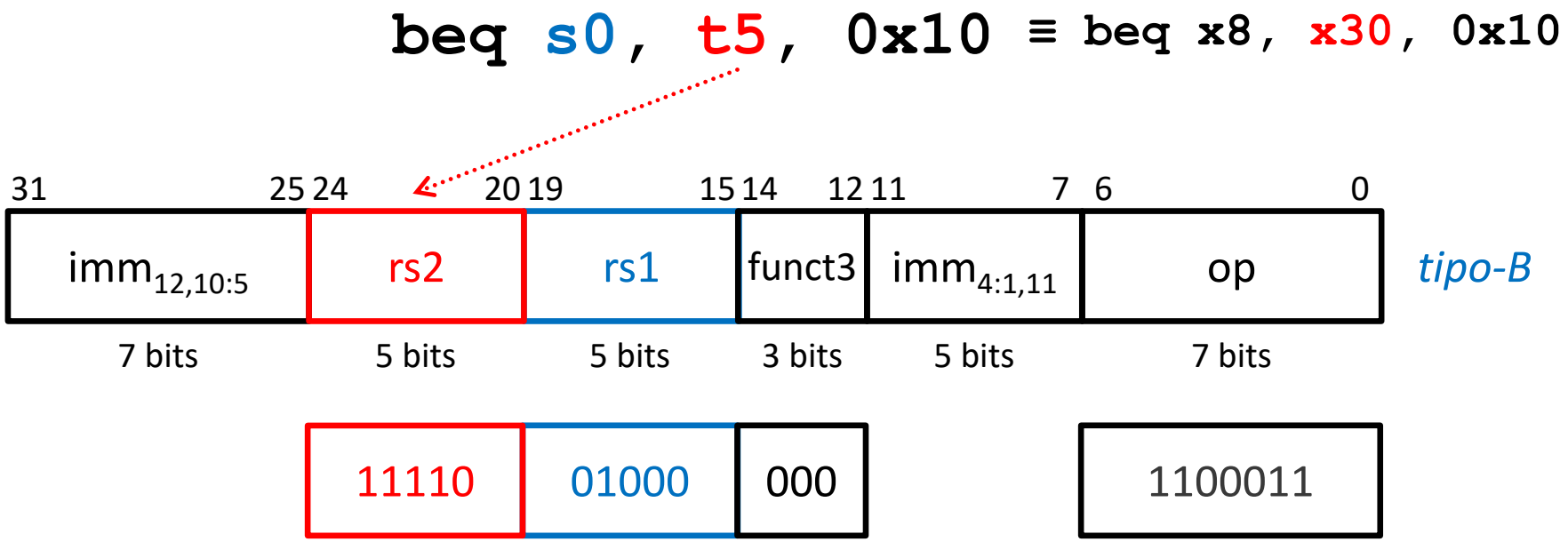
Ejemplo: instrucción tipo-S



0x03e006a3

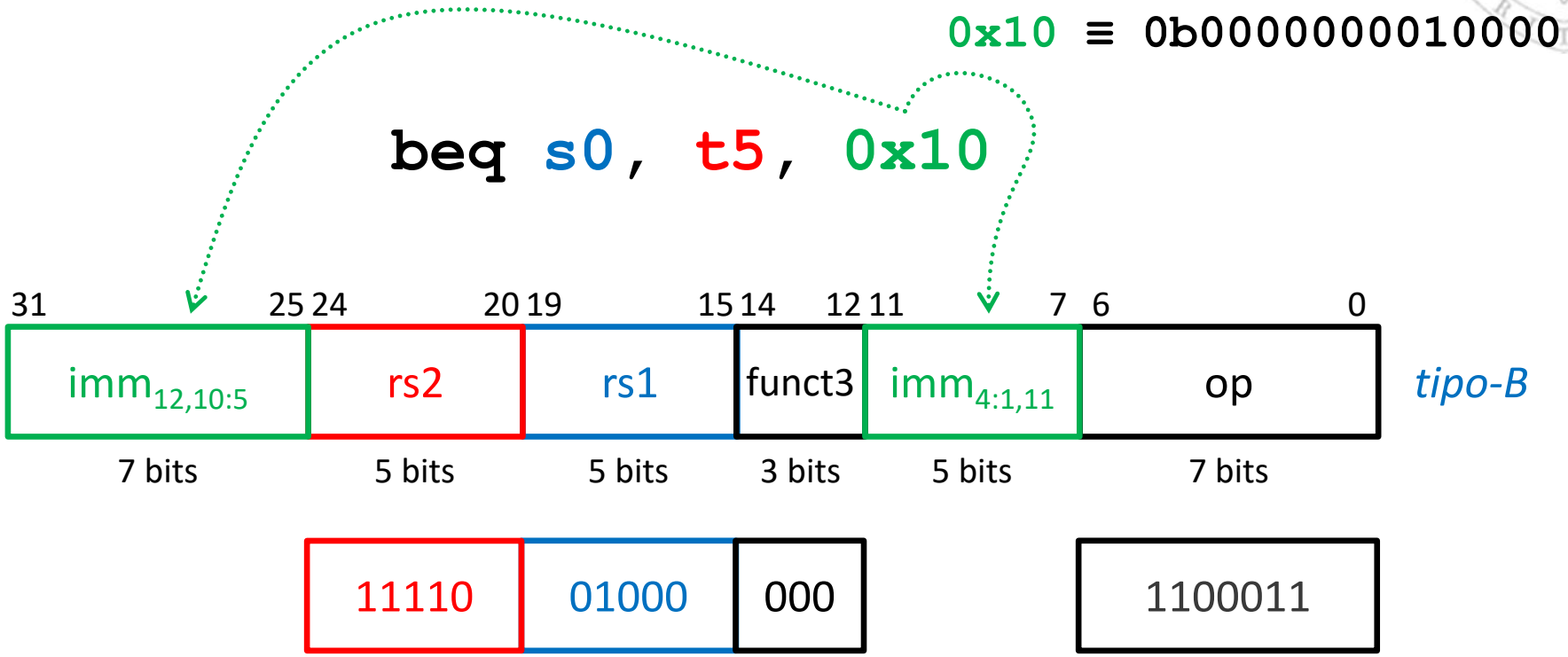
De ensamblador a código máquina

Ejemplo: instrucción tipo-B



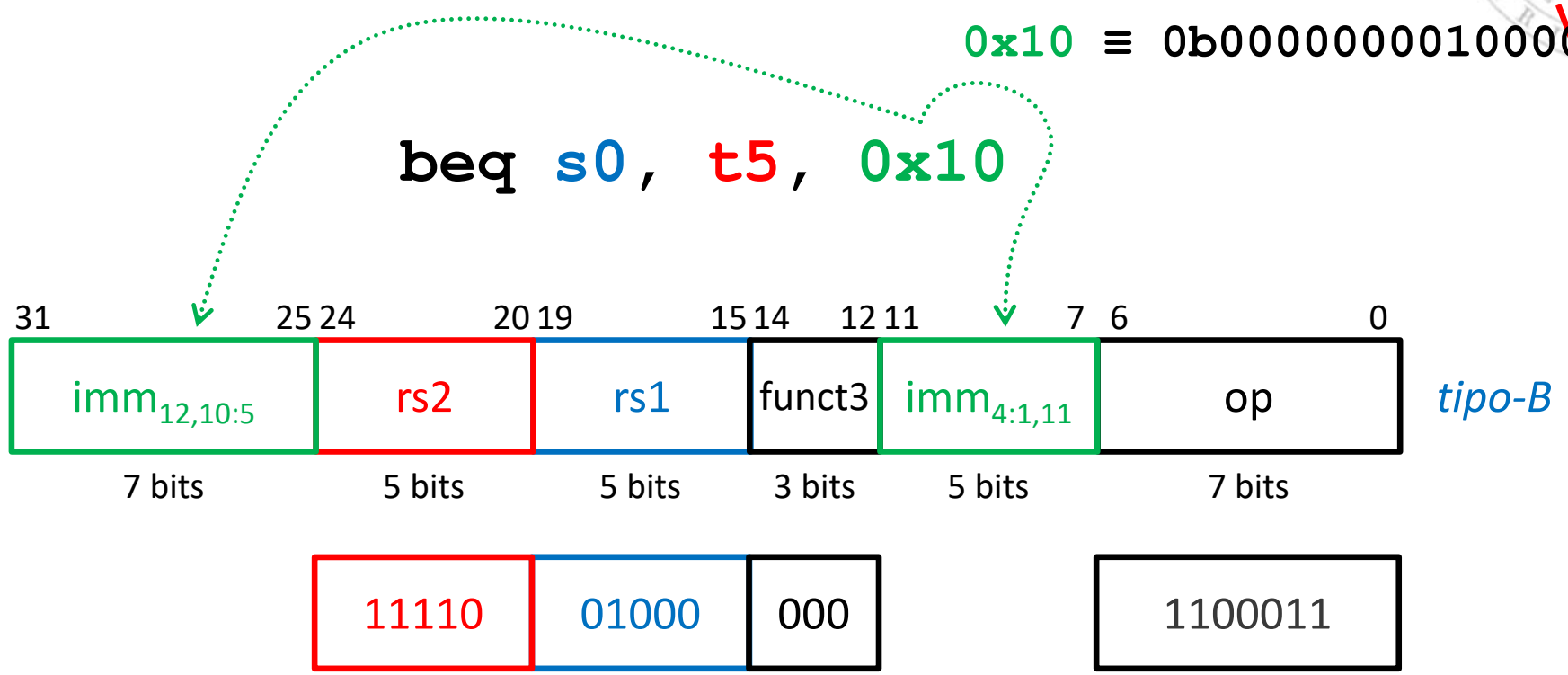
De ensamblador a código máquina

Ejemplo: instrucción tipo-B



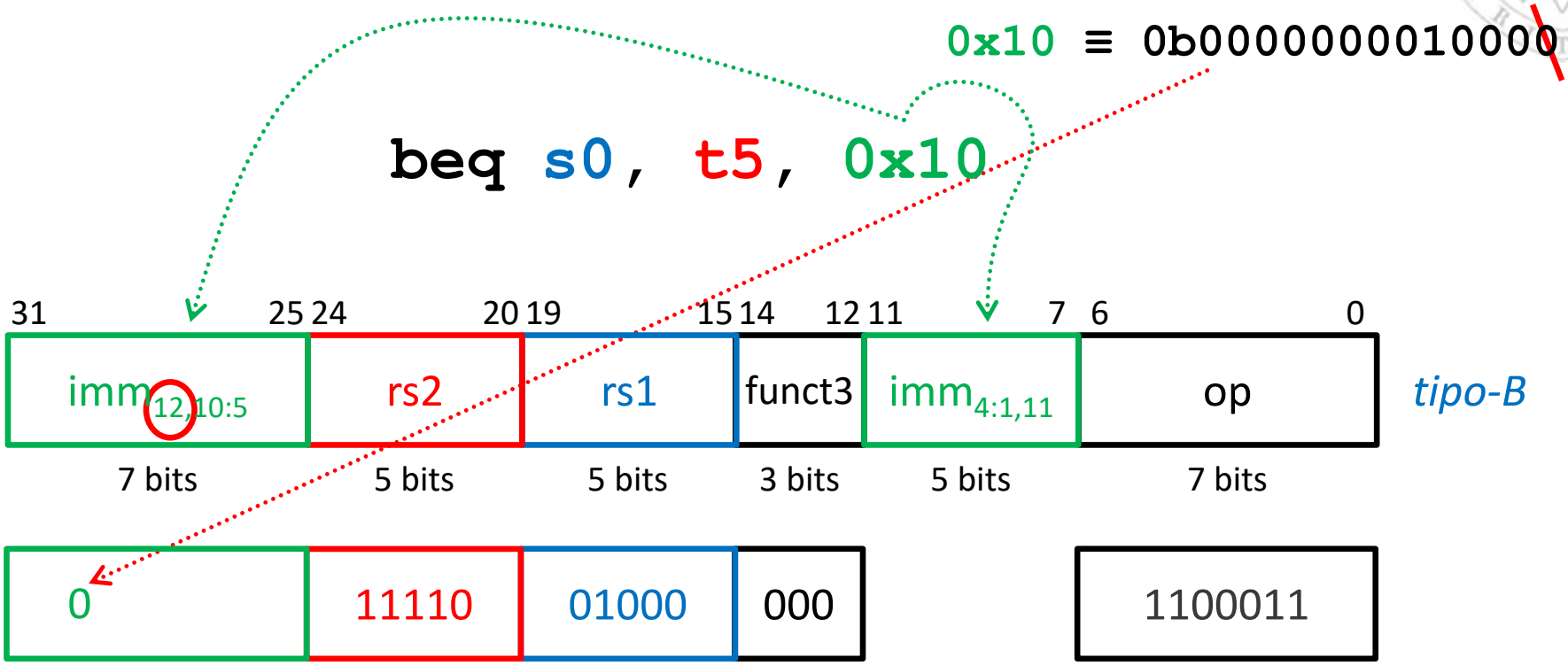
De ensamblador a código máquina

Ejemplo: instrucción tipo-B



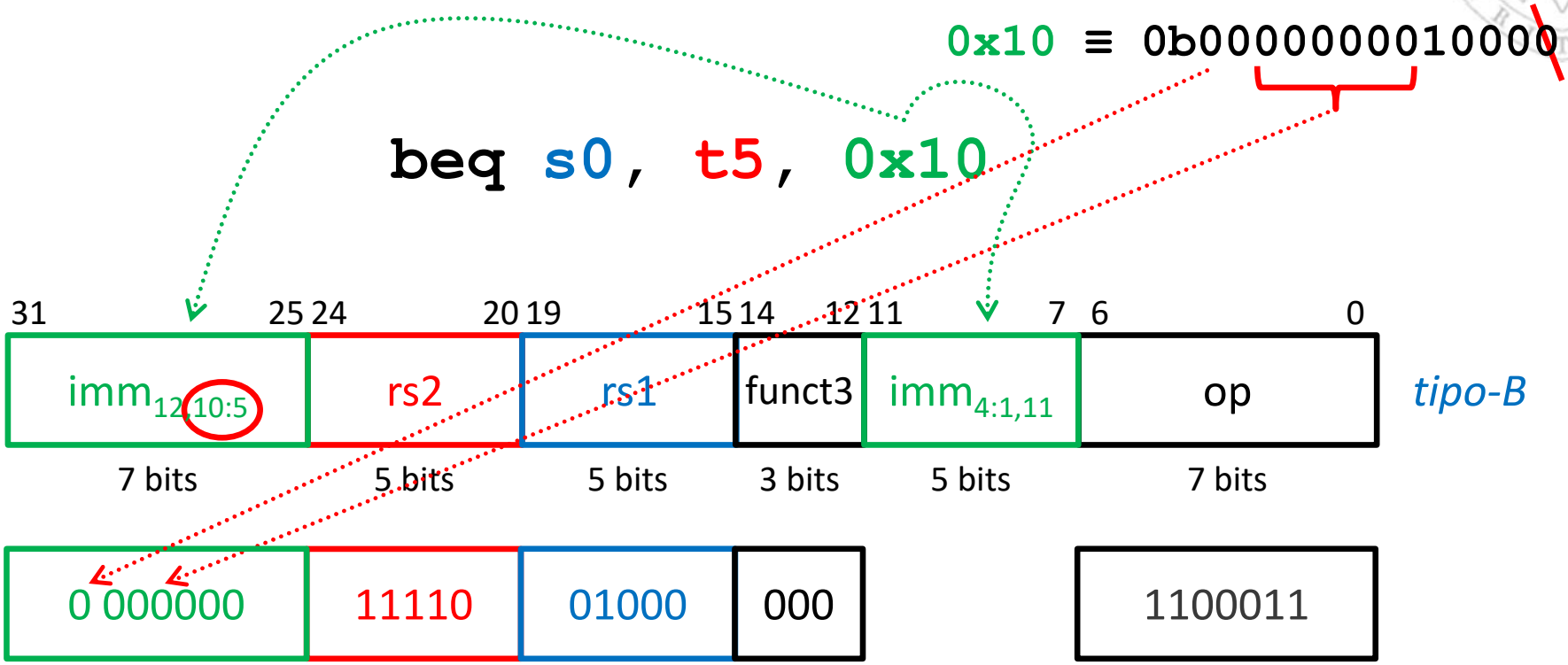
De ensamblador a código máquina

Ejemplo: instrucción tipo-B



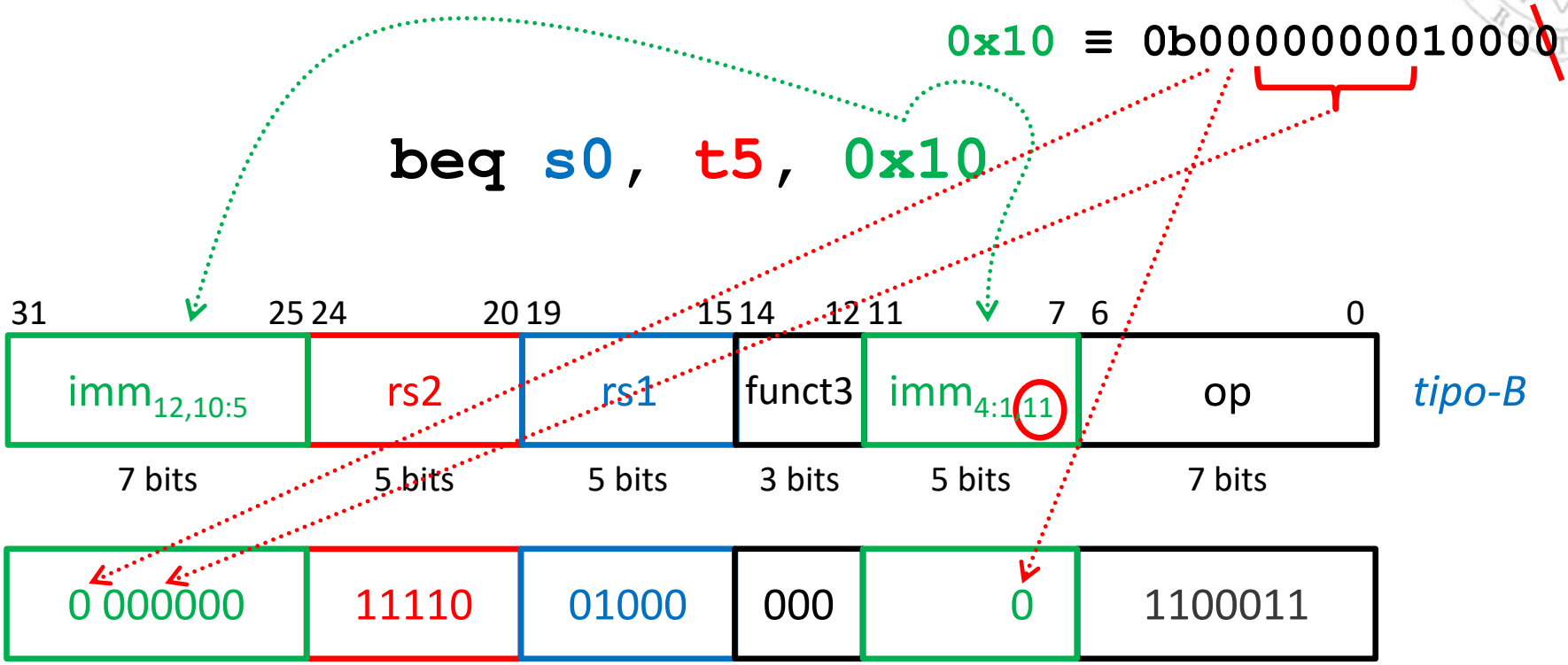
De ensamblador a código máquina

Ejemplo: instrucción tipo-B



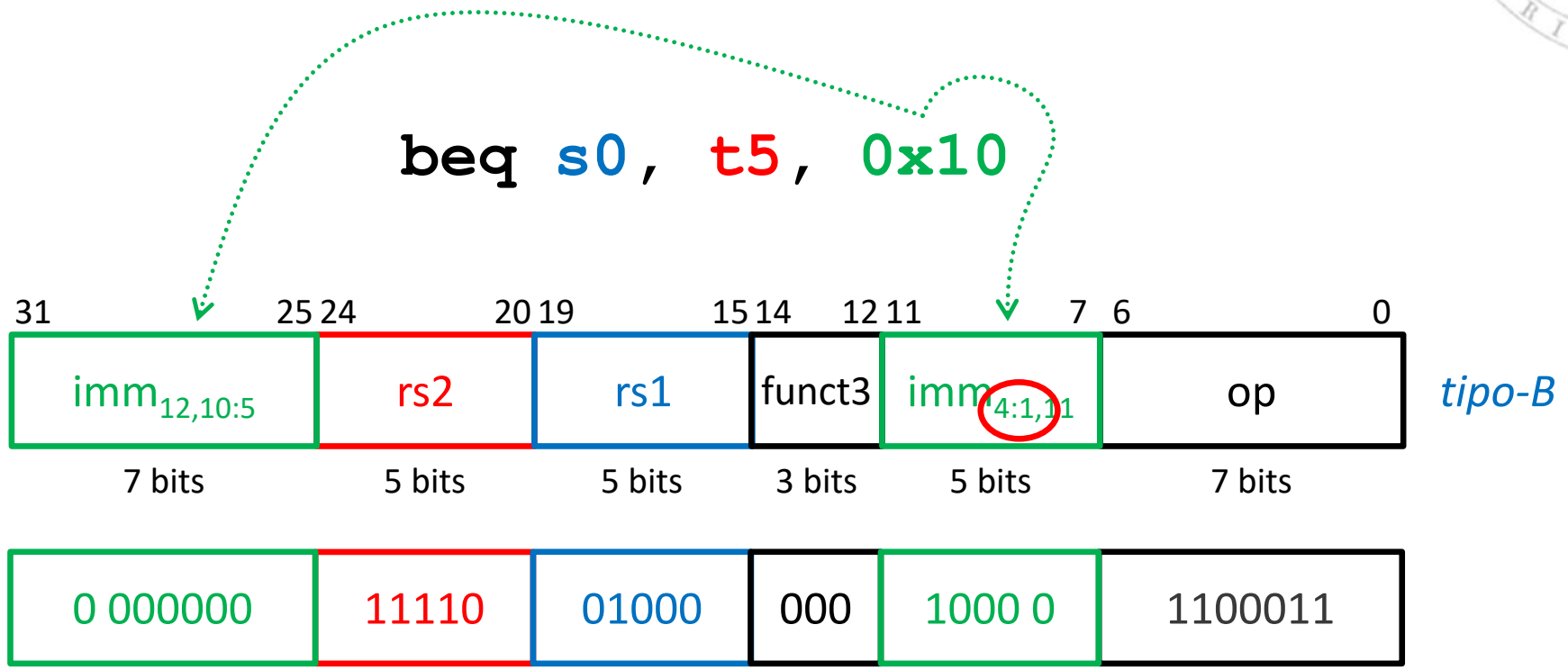
De ensamblador a código máquina

Ejemplo: instrucción tipo-B



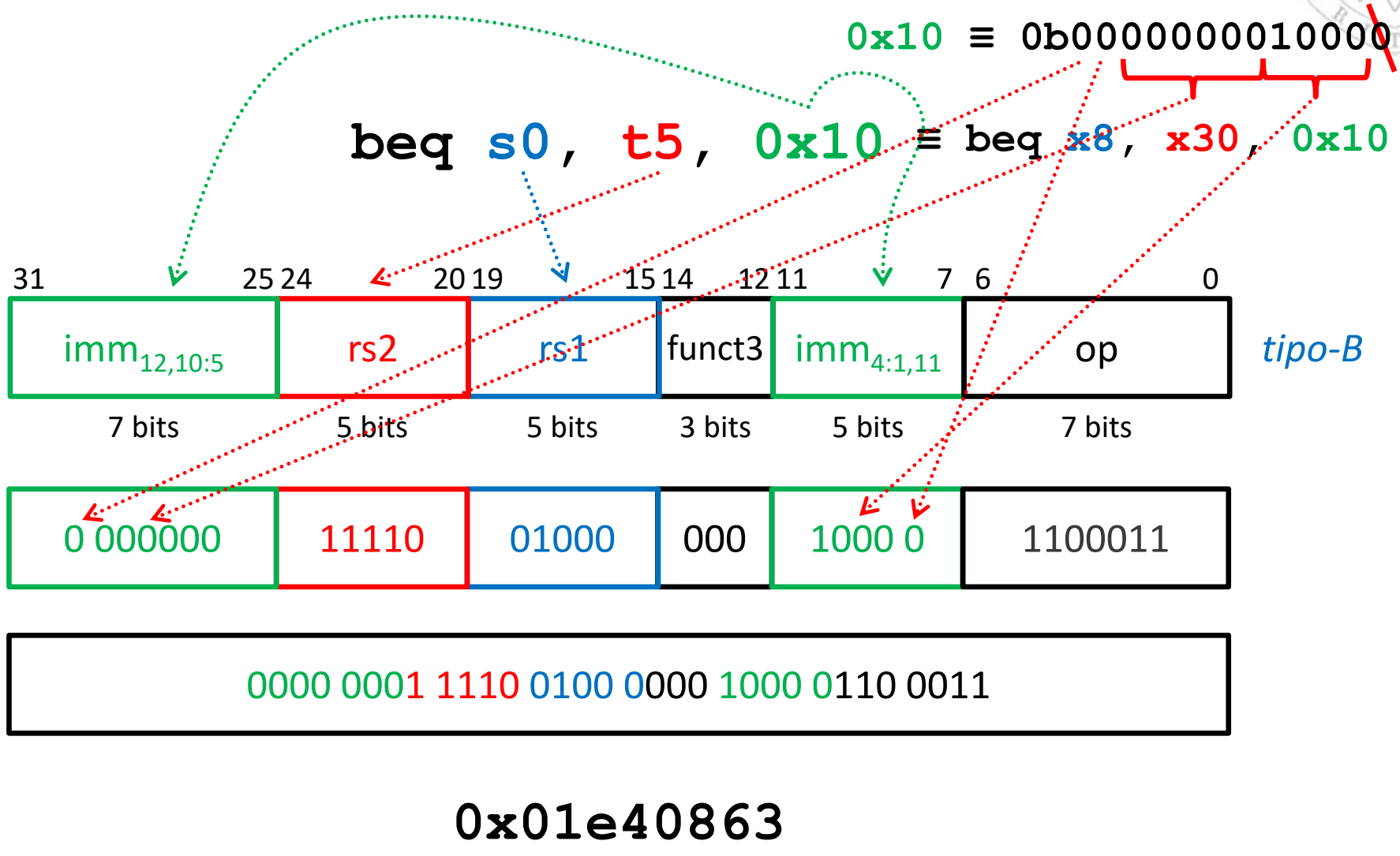
De ensamblador a código máquina

Ejemplo: instrucción tipo-B



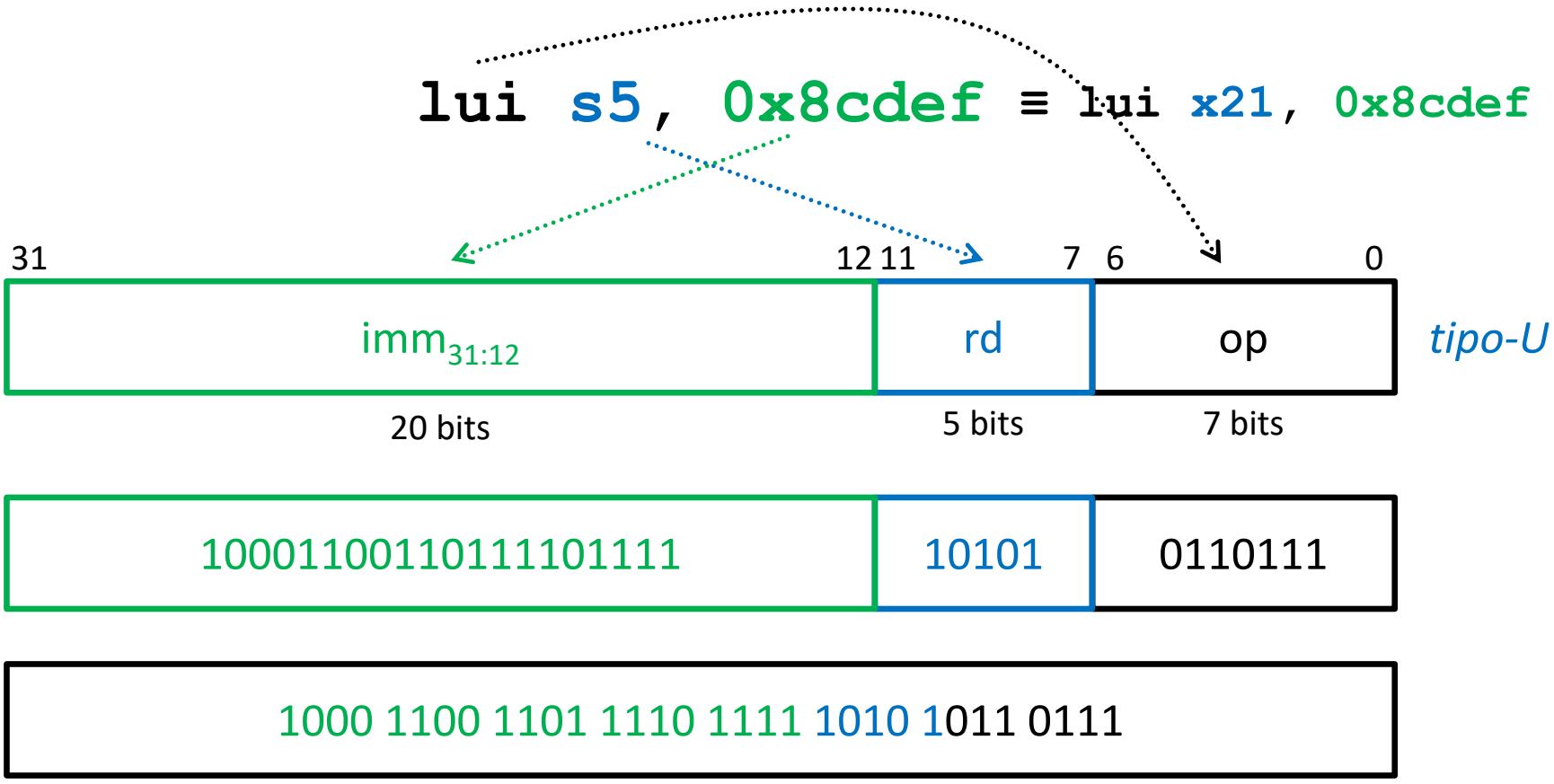
De ensamblador a código máquina

Ejemplo: instrucción tipo-B



De ensamblador a código máquina

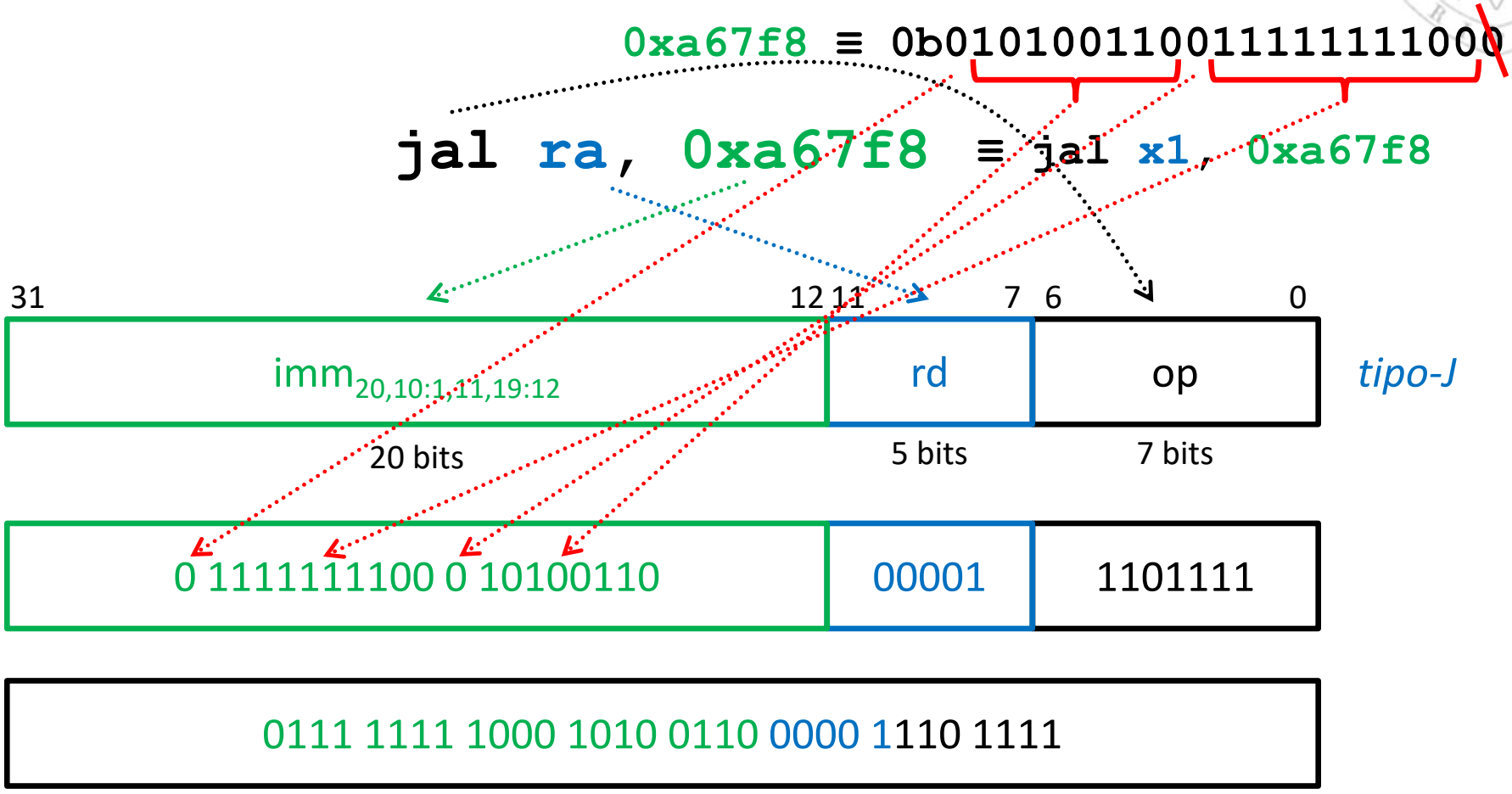
Ejemplo: instrucción tipo-U



0x8cdefab7

De ensamblador a código máquina

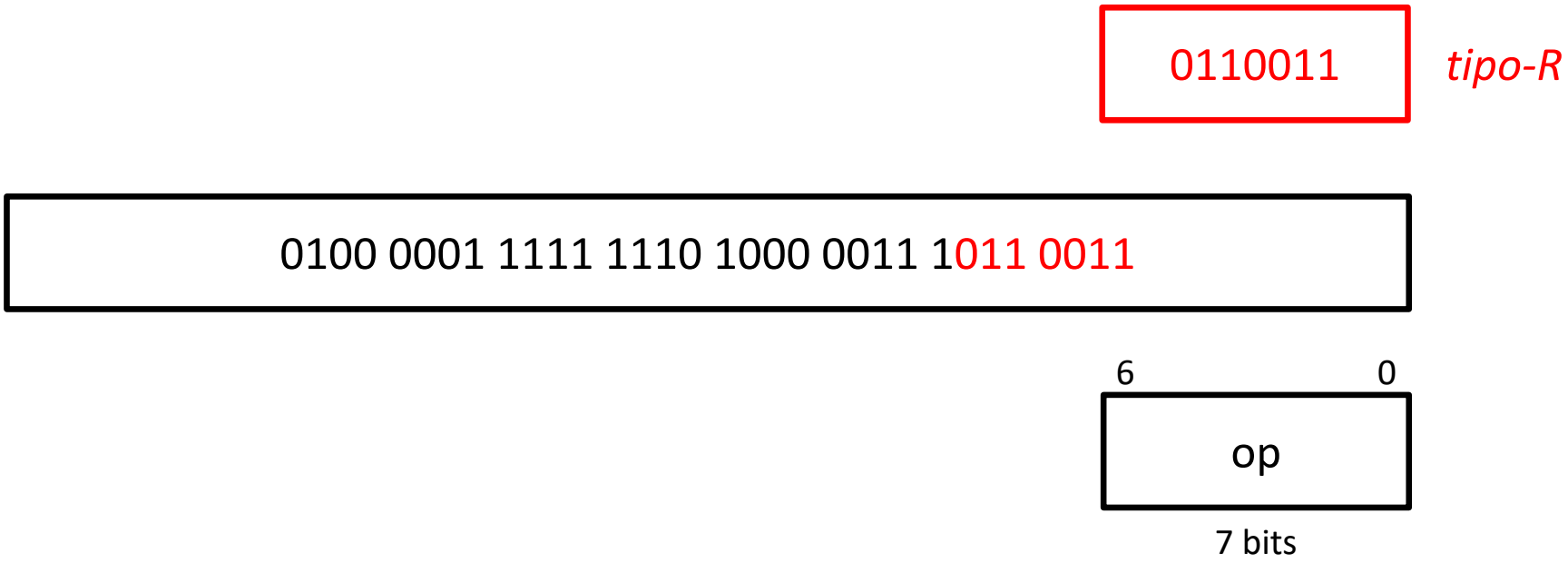
Ejemplo: instrucción tipo-J



0x7f8a60ef

De código máquina a ensamblador

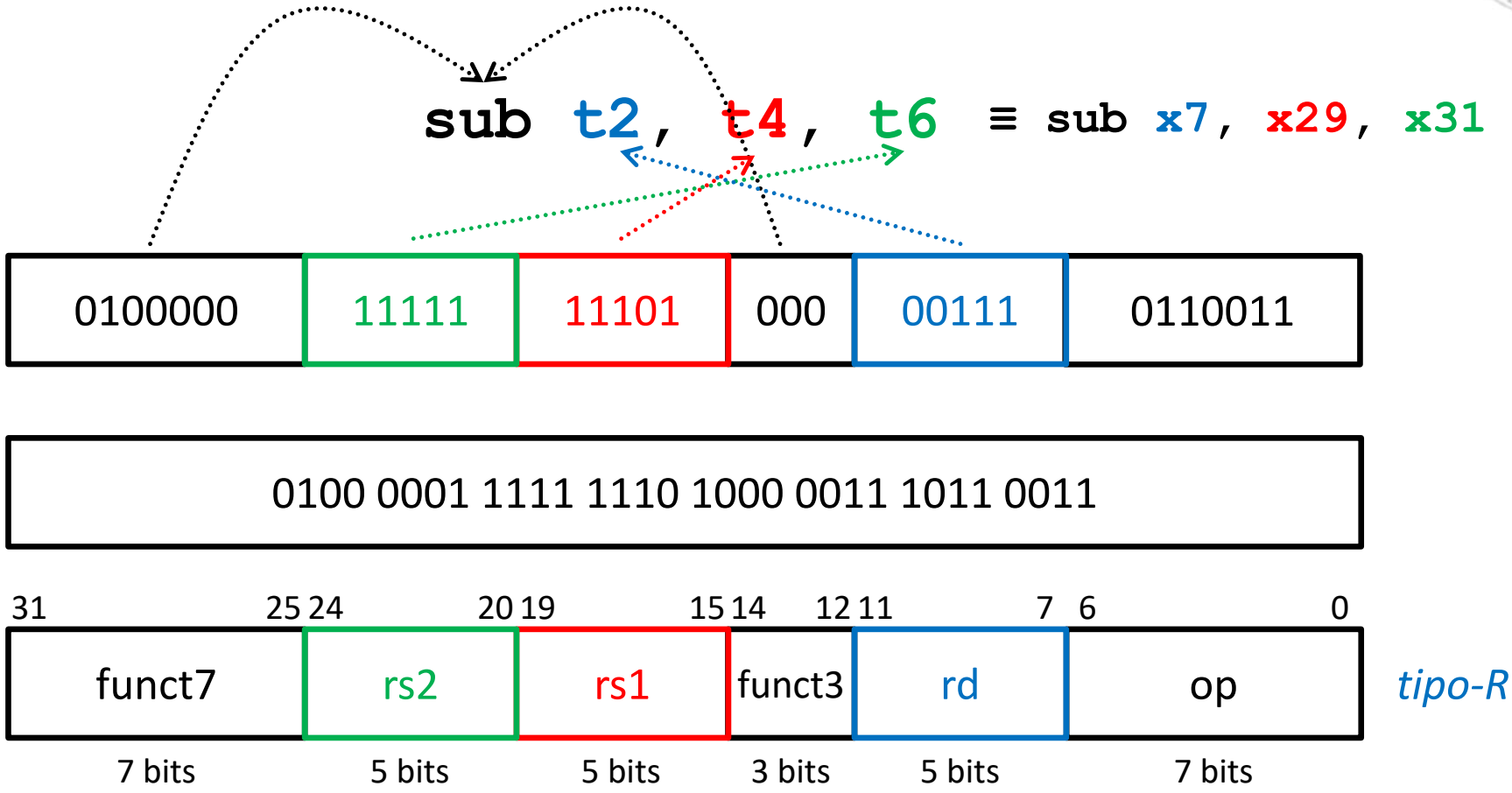
Ejemplo (i)



0x41fe83b3

De código máquina a ensamblador

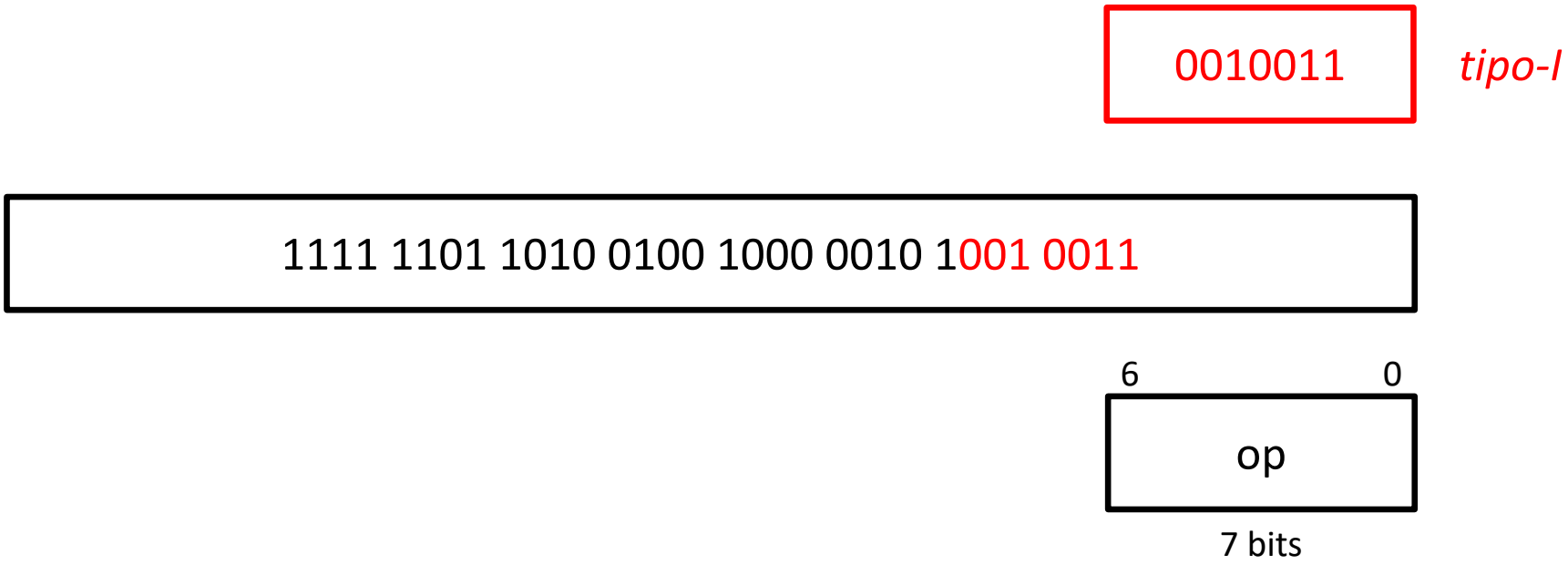
Ejemplo (i)



0x41fe83b3

De código máquina a ensamblador

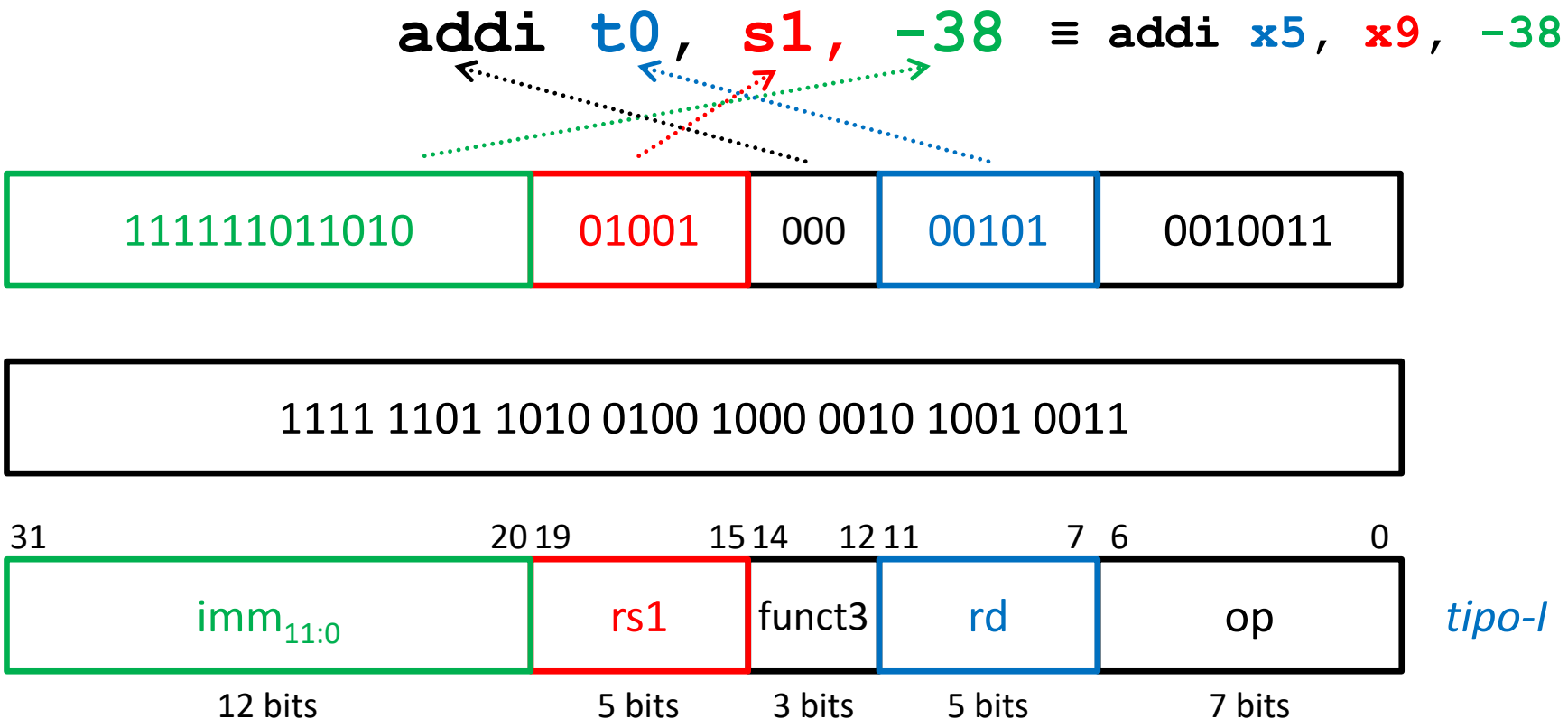
Ejemplo (ii)



0xfda48293

De código máquina a ensamblador

Ejemplo (ii)



0xfda48293

Acerca de *Creative Commons*

- Licencia CC (Creative Commons)
  - Ofrece algunos derechos a terceras personas bajo ciertas condiciones. Este documento tiene establecidas las siguientes:

Reconocimiento (*Attribution*):
En cualquier explotación de la obra autorizada por la licencia hará falta reconocer la autoría.

No comercial (*Non commercial*):
La explotación de la obra queda limitada a usos no comerciales.

Compartir igual (*Share alike*):
La explotación autorizada incluye la creación de obras derivadas siempre que mantengan la misma licencia al ser divulgadas.

Más información: https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/