Administración y Organización de Computadores

Curso 2014-2015

Práctica: *Procesamiento de imágenes en ensamblador*

El principal objetivo de esta práctica es completar una aplicación de procesamiento de imágenes, escrita en *C++* sobre Linux, a través de la implementación en ensamblador de las diferentes operaciones que debe proporcionar el programa. La integración de los dos lenguajes se llevará a cabo mediante las facilidades de ensamblado en línea proporcionadas por el compilador *gcc*. La programación en ensamblador se realizará considerando la arquitectura de un procesador Intel o compatible de 32 bits.

A continuación, se detallan diferentes aspectos a tener en cuenta para el desarrollo de esta práctica.

Descripción de la aplicación

El código que deberá ser completado estará incluido en una aplicación *C++*, disponible como proyecto de Qt. La siguiente figura muestra una captura de pantalla en un instante de ejecución de la aplicación:

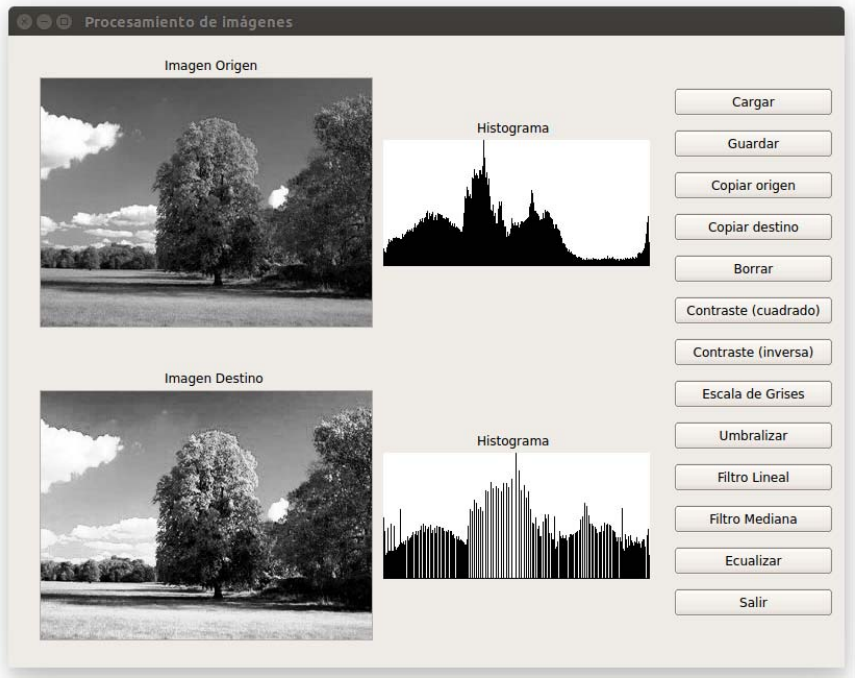


Figura 1: interfaz principal de la aplicación

¿Qué es Qt?

Qt es un marco de desarrollo de aplicaciones que, entre otras aportaciones, proporciona herramientas y librerías de clases para la creación de interfaces de usuario en entornos de escritorio.

Puesta en marcha del proyecto

El fichero que contiene la descripción del proyecto (*pracaoc.pro*) se encuentra disponible en la carpeta principal de la aplicación. Dicho fichero puede ser utilizado para importar el proyecto desde diferentes entornos de desarrollo. No obstante, se recomienda trabajar con Qt Creator (paquete *qtcreator*). Es necesario instalar además los paquetes *libqt4-dev* y *qt4-dev-tools*, en sistemas de 32 bits, o *libqt4-dev:i386* y *qt4-dev-tools:i386* en sistemas de 64 bits.

Funcionamiento de la aplicación

La interfaz principal (figura 1) está compuesta por dos ventanas de imagen, dos histogramas y una serie de botones a través de los cuales es posible ejecutar las diferentes operaciones que proporciona la aplicación. Las dos ventanas de imagen se corresponden con la imagen origen (ventana superior) y la imagen destino (ventana inferior). La imagen origen es la imagen sobre la que se realizan la mayoría de las operaciones de procesamiento. El resultado de cada una de estas operaciones se almacena en la imagen destino. Las imágenes procesadas por el programa tienen una resolución de 320x240 (320 columnas y 240 filas) y cada píxel está representado por un nivel de gris (0-negro, 255-blanco). A la izquierda de cada ventana se muestra el histograma de la imagen correspondiente. El histograma de una imagen representa la frecuencia de aparición de cada nivel de gris en la imagen. Se trata de un vector de 256 entradas, una por cada nivel de gris. Cada elemento $h[i]$ contiene el número de píxeles de imagen con nivel de gris i.
Se describen a continuación las opciones incluidas en la aplicación:

- ***Cargar***: carga, en la imagen origen, la imagen del fichero indicado. Si la imagen del fichero tiene una resolución superior a la soportada por el programa, ésta es recortada. Además, es posible cargar imágenes en color. En tal caso, esta opción se encarga de transformar la imagen a escala de grises.
- ***Guardar***: guarda, en el fichero indicado, la imagen destino.
- ***Copiar origen***: copia la imagen origen en la imagen destino.
- ***Copiar destino***: copia la imagen destino en la imagen origen.
- ***Borrar***: borra el contenido de la imagen destino poniendo a 0 cada uno de sus píxeles.
- ***Contraste (cuadrado)***: Amplia la distancia entre niveles de gris de la imagen aplicando la función cuadrada. Si suponemos que *imgO* contiene la imagen origen e *imgD* la imagen destino, para un determinado píxel situado en la posición (f, c), el procedimiento realizaría el siguiente cálculo: $imgD[f,c] = (imgO[f,c])^2/255$.

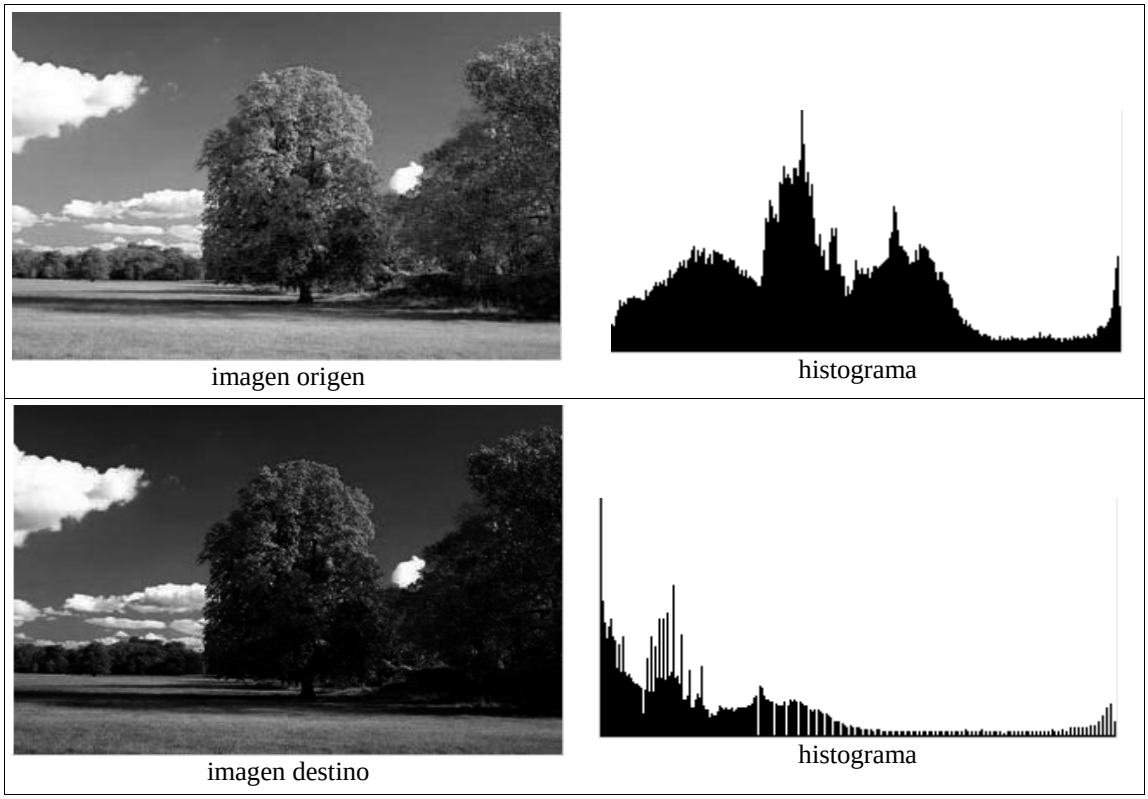


Figura 2: ejecución de la opción *Contraste (cuadrado)*.

- ***Contraste (inversa)***: El nivel de gris de cada píxel de la imagen origen es invertido (255 – nivel de gris) y almacenado en la imagen destino: *imgD*[*f*,*c*] = 255 – *imgO*[f,*c*].

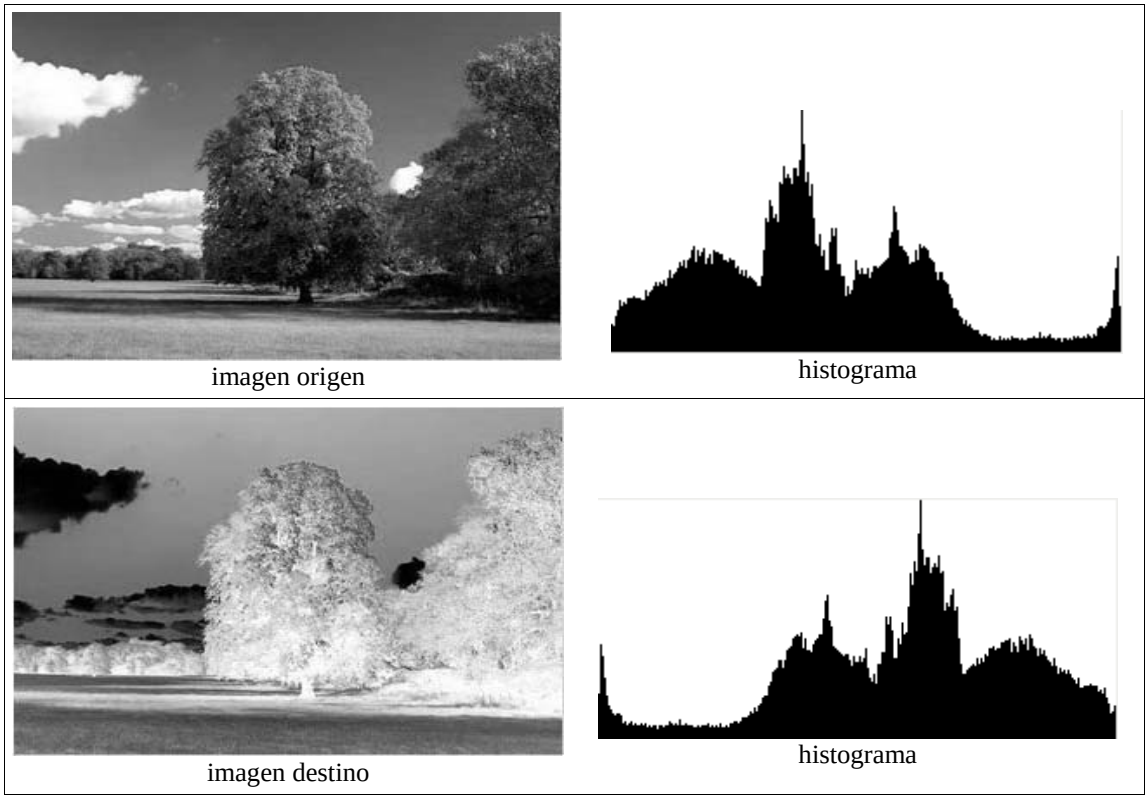


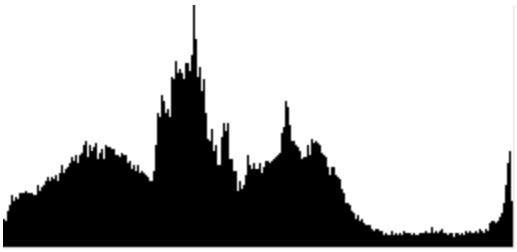
Figura 3: ejecución de la opción *Contraste (inversa)*.

- ***Escala de grises***: Modifica el mínimo y máximo nivel de gris de la imagen según los valores seleccionados a través del diálogo de la figura 4. Siendo *mO* y *MO* el mínimo y máximo nivel de gris de la imagen origen y *mD* y *MD* el mínimo y máximo nivel de gris seleccionado, cada píxel de la imagen origen sufriría la siguiente transformación:

$$imgD[f,c] = ((\ imgO[f,c] - mO)*(MD-mD))/(MO-mO) + mD$$

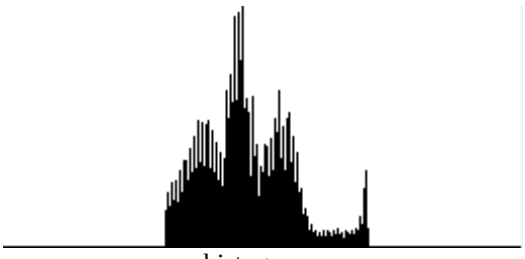
Figura 4: diálogo de selección de escala de la opción *Escala de grises*.

imagen origen



histograma

imagen destino



histograma

Figura 5: ejecución de la opción *Escala de grises*.

- ***Umbralizar***: permite clasificar los píxeles de la imagen en 3 tipos distintos definidos por los rangos de niveles de gris establecidos por un umbral mínimo y un umbral máximo. Los píxeles cuyo nivel de gris superen el umbral máximo, tomarán el valor 255. Asimismo, aquellos píxeles con nivel de gris inferior al umbral mínimo, tomarán el valor 0. Los píxeles cuyo nivel de gris se encuentre entre los dos umbrales, cambiarán su valor a 127.

Cuando se activa esta opción, aparece un diálogo como el de la figura 6 a través del cual el usuario deberá seleccionar el valor de los dos umbrales. Una vez que pulse la opción “aceptar”, se llevará a cabo el proceso descrito sobre la imagen origen y se almacenará el resultado en la imagen destino.

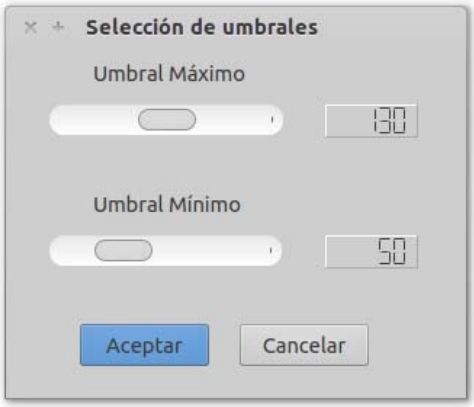


Figura 6: diálogo de selección de umbrales de la opción *Umbralizar*.

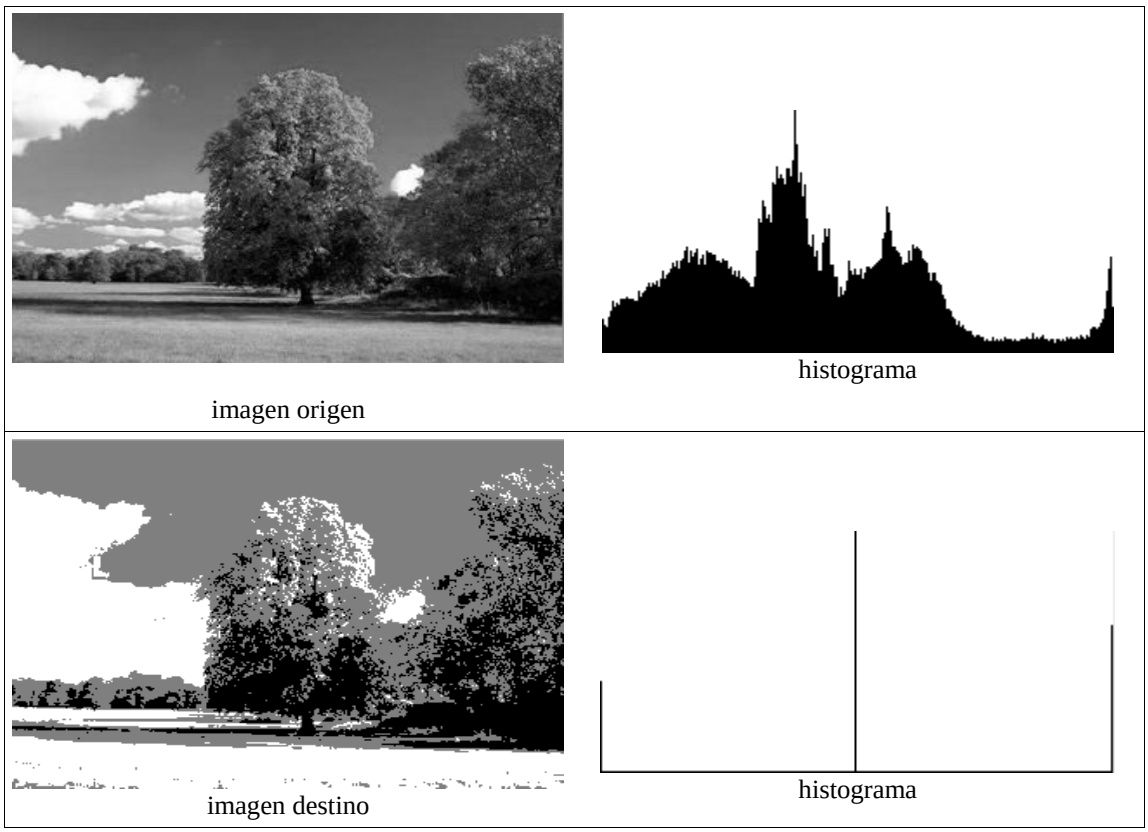


Figura 7: ejecución de la opción *Umbralizar*.

- ***Filtro lineal***: el filtrado lineal de una imagen se realiza aplicando una operación de convolución entre la imagen y una matriz constante denominada máscara (*kernel*). Esta operación se utiliza, por ejemplo, como método de suavizado de imágenes y de detección de bordes. Para el caso de una máscara *K* de tamaño 3x3, cada píxel situado en la posición (*f*, *c*) de la imagen origen se obtendría como:

$$imgD[f,c] = \sum_{i=-1}^{1} \sum_{j=-1}^{1} imgO[f+i,c+j] \cdot K[i+1, j+1]$$

Para mantener los valores resultantes de la operación anterior dentro de los rangos adecuados, es posible aplicar un factor de normalización (*n*). Incluyendo esta normalización, la operación a realizar sería:

$$imgD[f,c] = \frac{\sum_{i=-1}^{1}\sum_{j=-1}^{1} imgO[f+i,c+j] \cdot K[i+1, j+1]}{n}$$

En la aplicación que deberá ser completada en esta práctica, el usuario podrá indicar la máscara a utilizar así como el factor de normalización a través del diálogo de la figura 8. Como resultado, el programa deberá construir la imagen destino siguiendo la operación anterior.

Figura 8: diálogo de selección de máscara asociado a la opción *Filtro Lineal.*

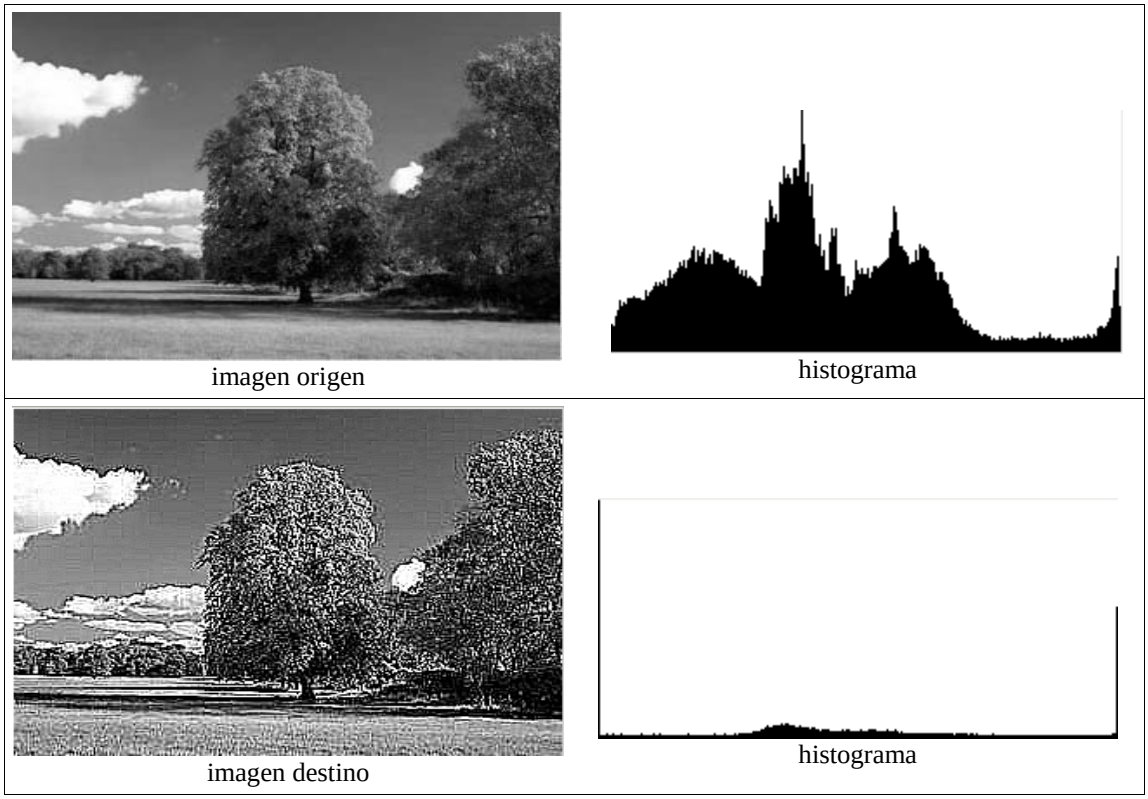


Figura 9: ejecución de la opción *Filtro lineal*.

- ***Filtro mediana***: este tipo de filtros se utiliza como método de eliminación de ruido en imágenes. Por cada píxel de la imagen origen, se calcula la mediana en un entorno del píxel y el resultado se almacena en la posición correspondiente de la imagen destino. Para el caso concreto de esta práctica el entorno tendrá un tamaño de 3x3. Esto implica que por cada píxel situado en una posición (*f, c*) de la imagen origen deberá calcularse la mediana entre los píxeles: *imgO*[*f*-1,*c*-1], *imgO*[*f*-1,*c*], *imgO*[*f*-1,*c*+1], *imgO*[*f*,*c*-1], *imgO*[*f*,*c*], *imgO*[*f*,*c*+1], *imgO*[*f*+1,*c*-1], *imgO*[*f*+1,*c*] e *imgO*[*f*+1,*c*+1]. Tras ordenar estos valores, la mediana se obtendrá como el valor situado en la posición central de la lista ordenada resultante.

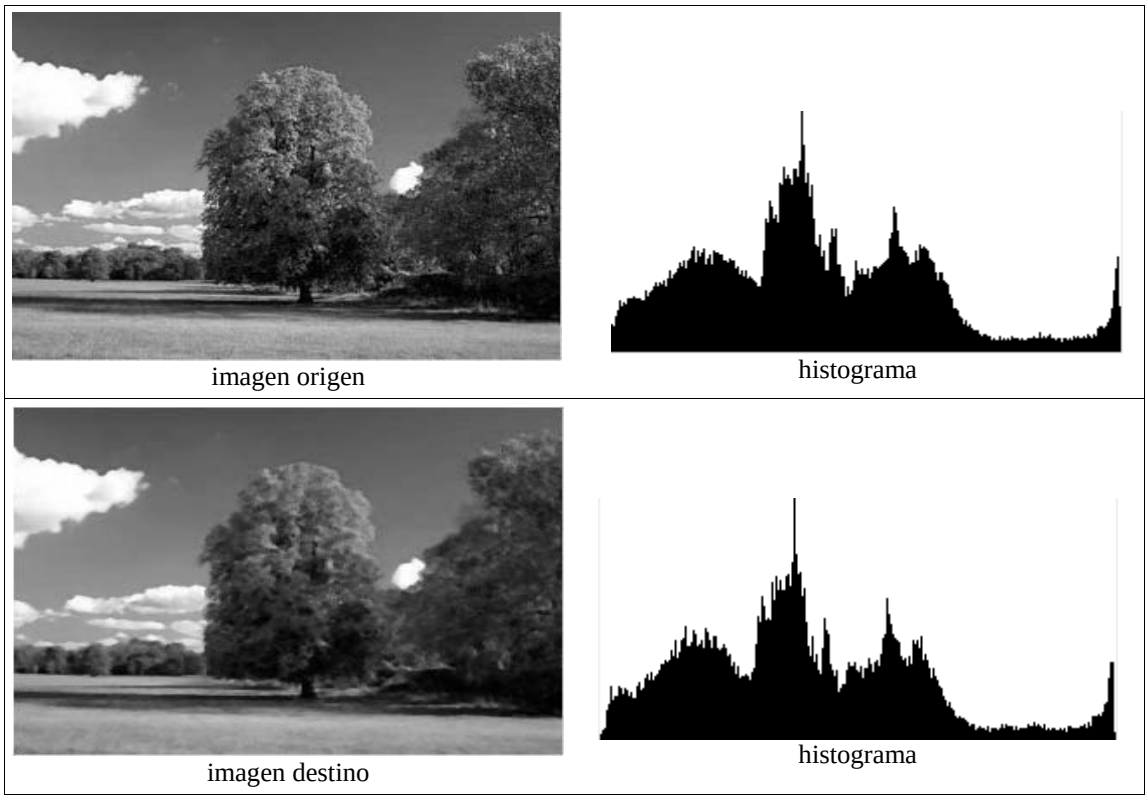


Figura 10: ejecución de la opción *Filtro mediana*.

- ***Ecualizar***: la ecualización del histograma es una operación que trata de aproximar el histograma de una imagen a un histograma plano en el que cada nivel de gris tenga aproximadamente el mismo número de píxeles. Para llevar a cabo este proceso, se utiliza el histograma acumulado:

$$H[i] = \sum_{k=0}^{i} h[k]$$

A partir de *H* se calcula, para cada nivel de gris *i* de la imagen origen, qué nivel de gris *i'* le correspondería en la imagen destino:

$$i' = \frac{256}{W \cdot H} H[i] - 1$$

siendo *W* y *H* el ancho y alto de la imagen.

Para no tener que realizar la operación anterior por cada píxel de la imagen, el proceso de ecualización se realiza en dos fases. En una primera fase, se genera una tabla

conocida como tabla LUT (tabla de consulta - *Look Up Table*). La tabla LUT asocia un nivel de gris de la imagen origen con el correspondiente en la imagen destino:

$$LUT[i]=i'=\frac{256}{W \cdot H} H[i]-1$$

En la segunda fase, se genera la imagen destino utilizando la tabla anterior. Así, por cada píxel *imgO*[*f*,*c*] de la imagen origen, se obtiene el píxel correspondiente *imgD*[*f*,*c*] de la imagen destino accediendo a la entrada de la tabla LUT que corresponda:

i = *imgO*[*f*,*c*]
imgD[*f*,*c*] = *LUT*[*i*]

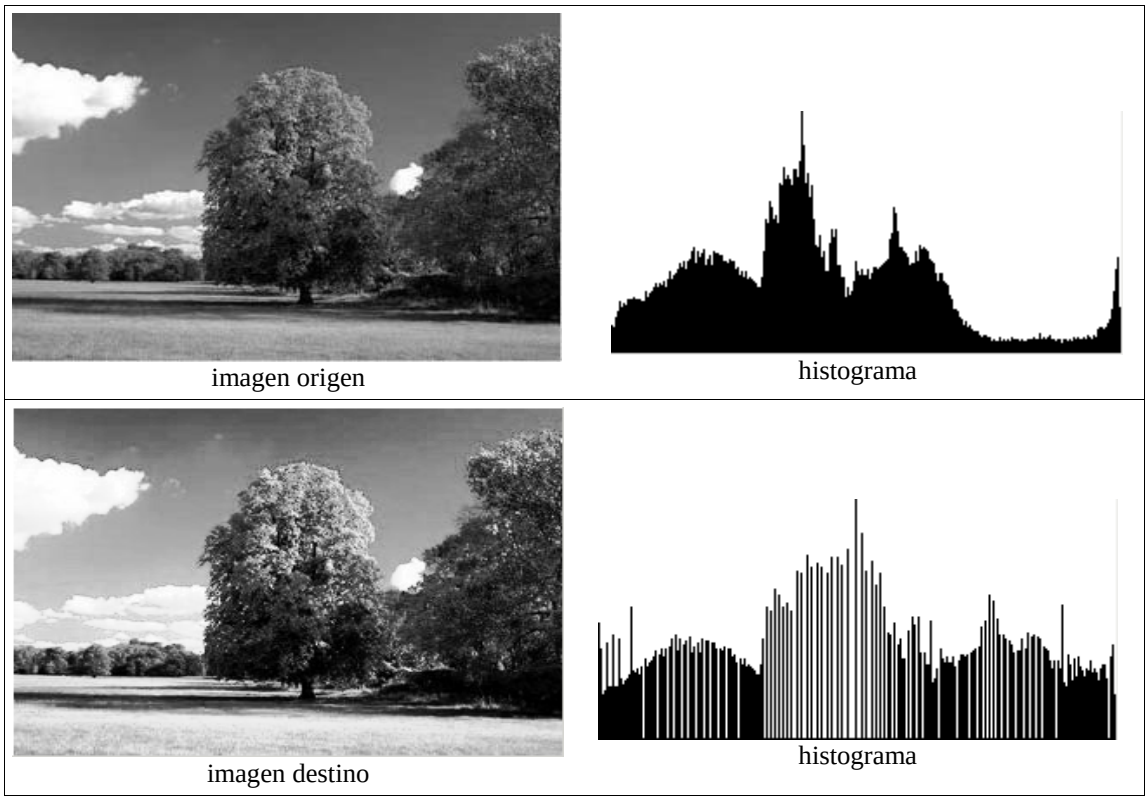


Figura 11: ejecución de la opción *Ecualizar*.

Componentes de la aplicación

El código fuente de la aplicación está formado por 5 ficheros: *main.cpp*, *pracoc.cpp*, *pracoc.h*, *imageprocess.cpp* e *imageprocess.h*. Además, se incluyen cuatro formularios de QT (*mainForm.ui*, *escalaForm.ui*, *filtroForm.ui* y *umbralForm.ui*) y el fichero de descripción del proyecto (*pracaoc.pro*). El contenido de cada fichero fuente es el siguiente:

- *main.cpp*: contiene el procedimiento principal que permite lanzar la aplicación, así como crear y mostrar la ventana principal que actúa como interfaz entre el usuario y la aplicación.
- *pracaoc.h*: fichero que contiene la definición de la clase principal de la aplicación (*pracAOC*). Esta clase contiene los elementos principales de gestión de la aplicación. Entre los atributos, se encuentran las definiciones de las interfaces de usuario incluidas en el programa, así como de las variables que permiten almacenar la información de las imágenes origen y destino utilizadas en las opciones de procesamiento de la aplicación. Estas variables son *imgO* e *imgD*. Ambas están definidas como un array de tipo uchar (unsigned char) de 320x240 elementos. La imagen dentro de cada uno de estos arrays se encuentra almacenada por filas. Esto implica que el acceso a un determinado píxel

situado en una fila *f* y una columna *c* de imagen se realiza a través de la posición del array *f*320+c*.

- *pracaoc.cpp*: Incluye la implementación de los métodos de la clase *pracAOC*. En su mayoría, estos métodos se encargan de responder a los distintos eventos de las interfaces de usuario incluidas en el programa y de llamar a las funciones de procesamiento de imagen que correspondan en cada caso (disponibles en *imageprocess.cpp* e *imageprocess.h*).
- *imageprocess.h*: contiene la definición de las funciones implementadas en el fichero *imageprocess.cpp*.
- *imageprocess.cpp*: implementación de las funciones de procesamiento de imagen que se ejecutan a través de las distintas opciones de la aplicación. La mayoría de estas funciones contienen una implementación vacía. El objetivo de esta práctica es completarlas para que el funcionamiento de la aplicación sea el descrito anteriormente.

Dentro del fichero *imageprocess.cpp*, se ha incluido la implementación de la primera función (*copiar*) a modo de ejemplo. Dicha implementación se detalla a continuación. La función *copiar* es la única función de *imageprocess.cpp* que se encuentra implementada. Como ya se ha comentado anteriormente, la implementación de las restantes es objeto de esta práctica.

```
void imageprocess::copiar(uchar * imgO, uchar * imgD)
{
	asm volatile(
		"movl %0, %%esi \n\t"
		"movl %1, %%edi \n\t"
		"movl $320*240, %%ecx \n\t"
	"bcopia: \n\t"
		"movb (%%esi), %%al \n\t"
		"movb %%al, (%%edi) \n\t"
		"incl %%esi \n\t"
		"incl %%edi \n\t"
	"loop bcopia \n\t"
		:
		: "m" (imgO), "m" (imgD)
		: "%eax", "%ecx", "%esi", "%edi", "memory"

	);
}
```

La función *copiar* es invocada en la ejecución de las opciones “Copiar Origen” y “Copiar Destino” para copiar la imagen origen en la destino y viceversa. Esta función incluye como parámetros un array que contiene la imagen a copiar (*imgO*) y un segundo array que especifica la imagen donde se debe realizar la copia (*imgD*). Ambos parámetros son tratados como operandos de entrada del bloque de código en ensamblador (la lista de operandos de salida está vacía). El motivo para que esto sea así es que en ningún caso se van a modificar estos parámetros, puesto que su contenido es la dirección de comienzo de los bloques de memoria donde se encuentran las dos imágenes. Lo que sí se va a modificar es el contenido del bloque de memoria apuntado por *imgD*, pero esto no afecta a la dirección almacenada en dicho parámetro.

Tras la definición de los operandos, se incluye la lista de registros utilizados dentro del código. Además de los registros indicados, dado que la memoria es modificada, la lista incluye también la palabra “memory”.

Una vez aclaradas estas definiciones, analicemos a continuación paso a paso el código ensamblador incluido en el procedimiento:

- Las dos primeras instrucciones se encargan de copiar las direcciones iniciales de memoria de las dos imágenes, indicadas por los dos operandos (%0=imgO, %1=imgD), en dos registros, *esi* y *edi*, para su posterior direccionamiento. Así, a través del registro *esi* podremos acceder a cada uno de los píxels de *imgO* y, mediante el registro *edi*, tendremos acceso a los píxeles de *imgD*.
- La copia de cada píxel de *imgO* en la imagen *imgD* se realiza mediante un bucle con tantas iteraciones como indica el tamaño de las imágenes (320x240). Este bucle se lleva a cabo mediante la instrucción *loop*, por lo que, lo siguiente que hace el procedimiento es inicializar el registro *ecx* con el total de iteraciones.
- Una vez inicializado *ecx*, comienza el bucle de copia. Cada iteración consiste en la copia del píxel actual de *imgO* – (*%%esi*) – en el píxel correspondiente de *imgD* – (*%%edi*) –. Dicha copia se lleva a cabo a través del registro al, puesto que no es posible indicar los dos elementos de memoria como operandos de la instrucción *mov*. Tras esta operación y antes de pasar a la siguiente iteración del bucle, los índices *esi* y *edi* son incrementados para que apunten a los siguientes elementos de *imgO* e k.

Especificación de los objetivos de la práctica

El principal objetivo de esta práctica es completar el código de la aplicación descrita para que su funcionamiento sea el que se detalla en la sección "*Funcionamiento de la aplicación"*, incluida es esta documentación. Para ello, se deberán implementar, en lenguaje ensamblador, los procedimientos "vacíos" del módulo "imageprocess.cpp". Estos procedimientos están asociados con las opciones del programa. Para cada uno de ellos, se proporciona la estructura inicial del bloque ensamblador, en la que se ha incluido la definición de operandos que afectan a la implementación. La lista de registros utilizados incluye únicamente la palabra "memory", ya que en todos los casos la memoria es modificada. La inclusión de registros dentro de esta lista dependerá de la implementación que se desarrolle en cada caso, por lo que, será necesario completarla para cada uno de los procedimientos.

Se describe a continuación la funcionalidad de cada uno de los procedimientos a completar. Para todos ellos, los parámetros *imgO* e *imgD* contienen, respectivamente, la dirección de los bloques de memoria que almacenan el contenido de las imágenes origen y destino. Para una descripción más detallada de estas funciones, se recomienda revisar la sección "*Funcionamiento de la aplicación"*.

- *void imageprocess::**borrar**(uchar * **imgD**)*: borra todos los píxeles de *imgD*, asignándoles un valor 0 (negro) a cada uno de ellos. Es invocado cuando el usuario selecciona la opción "*Borrar*".
- *void imageprocess::**cambiarContrasteFCuadrada**(uchar * **imgO**, uchar * **imgD**)*: modifica el contraste de cada píxel de *imgO* aplicando la función cuadrada. Devuelve el resultado en *imgD*. Es invocado cuando el usuario selecciona la opción "*Contraste (cuadrado)*".
- *void imageprocess::**cambiarContrasteFInversa**(uchar * **imgO**, uchar * **imgD**)*: invierte el nivel de gris de cada píxel de *imgO* y devuelve el resultado en *imgD*. Es invocado cuando el usuario selecciona la opción "*Contraste (inversa)*".
- *void imageprocess::**cambiarEscalaGrises**(uchar * **imgO**, uchar * **imgD**, uchar **minO**, uchar **maxO**, uchar **minD**, uchar **maxD**)*: modifica la escala de grises de *imgO* a partir de los valores indicados en *minO*, *maxO*, *minD* y *maxD*. Devuelve el resultado en *imgD*. Es invocado cuando el usuario selecciona la opción "*Escala de Grises*".
- *void imageprocess::**umbralizar**(uchar * **imgO,** uchar * **imgD,** uchar **uMax,** uchar **uMin**):* aplica los umbrales máximo y mínimo, indicados en *uMax* y *uMin*, a la imagen almacenada en *imgO* y devuelve el resultado en *imgD*. Este procedimiento es invocado al seleccionar la opción "*Umbralizar*".
- *void imageprocess::**filtroLineal**(uchar * **imgO**, int * **kernel**, int norm, uchar * **imgD**)*: aplica un filtro lineal a partir de la máscara indicada en el parámetro *kernel* a la imagen

almacenada en *imgO*. Devuelve el resultado de la operación en *imgD*. Este procedimiento es invocado cuando el usuario ejecuta la opción "*Filtro Lineal"*.

- *void imageprocess::**filtroMediana**(uchar * **imgO**, uchar * **imgD**)*: aplica un filtro mediana a la imagen almacenada en *imgO* y devuelve el resultado en *imgD*. Este procedimiento es invocado cuando el usuario ejecuta la opción "*Filtro Mediana"*.
- *void imageprocess::**ecualizarHistograma**(int * **histoOrig**, uchar * **tablaLUT**)*: genera una tabla LUT ecualizando el histograma almacenado en *histoOrig*. Devuelve el resultado en *tablaLUT*. Junto con el siguiente procedimiento, este procedimiento es invocado cuando el usuario ejecuta la opción "*Ecualizar*".
- *void imageprocess::**aplicarTablaLUT**(uchar * **imgO**, uchar * **tablaLUT**, uchar * **imgD**)*: genera una imagen, que devuelve en *imgD*, aplicando la tabla LUT almacenada en el parámetro *tablaLUT* a la imagen indicada en *imgO*. Es invocado cuando el usuario ejecuta la opción "*Ecualizar*" para completar el ecualizado de la imagen tras haber obtenido la tabla LUT correspondiente por el procedimiento anterior.

La implementación de los procedimientos *filtroMediana*, *ecualizarHistograma* y *aplicarTablaLUT* será opcional. La nota máxima que podrá obtenerse sin la realización de dichos procedimientos será de NOTABLE(8).

Nota: la práctica se realizará de manera individual.
Fecha de entrega de la práctica: 22 de enero de 2015.
Entrega: la entrega se realizará a través de la subida al aula virtual de la asignatura de un archivo .zip que contenga el proyecto completo.