

# Capítulo 6

## Conclusiones

A partir de los resultados de las simulaciones podemos concluir que la utilización de codificación convolucional sí incrementó la robustez de la marca de agua. El hecho de codificar la marca de agua incrementa el número de bits que se insertan en las bandas *contourlet*. Dado que utilizamos un código convolucional de tasa 1/3, se insertan 3 veces el número de bits que se insertarían al no usar la codificación. Sin embargo, realizando la comparación entre el sistema propuesto que contempla la codificación convolucional con el algoritmo que no la utiliza, resulta que la codificación incrementa la robustez de la marca de agua para un mismo valor de SSIM, o de PSNR. Es decir, para la misma alteración perceptual de la imagen marcada se incrementa la robustez usando codificación convolucional.

Para el sistema de marcado de agua propuesto se obtuvo una menor tasa de errores en la marca de agua recuperada utilizando decisión suave en el decodificador de Viterbi, respecto al caso de decodificación con decisión dura. Utilizando decisión suave fue posible recuperar la marca de agua en imágenes con PSNR hasta 2.5dB mayores, que la PSNR de una imagen utilizando decisión dura para una misma tasa de errores. Esto implica que utilizando decisión suave se puede alcanzar una misma robustez alterando menos perceptualmente la imagen, respecto al caso de la decisión dura.

De acuerdo a los resultados de las simulaciones, el conocimiento de las características del sistema visual humano ayudó a reducir la alteración perceptual de la imagen marcada mediante una adecuada selección de subbandas *contourlet*. En las simulaciones donde cada procedimiento correspondía a una selección de subbandas, no fue el mismo procedimiento el que obtuvo la menor tasa de bits en error para todos los ataques en la marca de agua recuperada. Para el caso de ataque mediante compresión JPEG y filtrado pasobajas el

procedimiento más robusto fue el número 1 mientras que para ruido Gaussiano, ruido *salt & pepper* y recortes, los procedimientos más robustos fueron los 2 y 3.

Comparando la entropía de la imagen marcada y la imagen original se observa que el hecho de incrustar la marca de agua aumenta la entropía de la imagen; es decir, añadir la información de la marca de agua incrementa la información promedio de la variable aleatoria “nivel de gris” de la imagen. La diferencia en la entropía está relacionada con la existencia de diferencias entre los histogramas de la imagen sin marcar, y el histograma de la imagen que porta la marca de agua.

La capacidad de nuestro sistema de marcado de agua está limitada por la distorsión que se introduce en la imagen al añadir los bits en las bandas *contourlet*. Conforme aumenta el tamaño de la marca de agua decrece la calidad de la imagen marcada. Es por ello que se debe hacer un balance entre robustez, capacidad y alteración perceptual de la imagen. Dependiendo del tipo de ataque esperado para la imagen podemos realizar la selección de subbandas *contourlet* que hagan a la marca de agua más robusta a ese tipo de ataque. De acuerdo a las pruebas que realizamos, para una marca de agua de 2048 bits de capacidad incrustada utilizando un factor  $\gamma > .15$  y considerando a los tipos de marca de agua descritos en el capítulo 2, podemos clasificar nuestro procedimiento de inserción de marca de agua como robusto, pues es resistente a ataques no maliciosos, comunes en el procesamiento digital de imágenes tales como la compresión JPEG, el ruido Gaussiano, ruido *salt & pepper*, filtrado pasobajas y recorte de la imagen.

### **6.1 Trabajo futuro**

Los algoritmos implementados de inserción y recuperación de marca de agua constituyen un sistema de marcado de agua robusto. Sin embargo para aplicaciones en las que se requiere de una marca de agua segura, la alteración perceptual de la imagen, utilizando los algoritmos presentados en este trabajo, degradan considerablemente la imagen marcada.

En este trabajo, la inserción de la marca de agua se realizó en el dominio *contourlet*. En futuros trabajos se podría probar la inserción de la marca de agua utilizando técnicas híbridas que inserten los bits de la marca de agua tanto en el dominio espacial como en el dominio transformado explotando las ventajas de cada una de ellas. Por ejemplo, del dominio transformado, explotar la robustez que brinda incrustar la marca de agua utilizando espectro disperso, y del dominio espacial se pueden aprovechar diversas características del sistema visual humano para disminuir la alteración perceptual de la imagen. Una de ellas es el hecho de que las perturbaciones son menos visibles en áreas oscuras o muy brillantes de la imagen. Por lo tanto, se pueden conjuntar técnicas de espectro disperso con técnicas de inserción de la marca de agua en los píxeles de mayor y de menor valor en el dominio espacial.

En la presente tesis se demostró que la codificación convolucional de la marca de agua aumenta la robustez de la misma para un mismo valor del factor de multiplicación y para una misma alteración perceptual de la imagen marcada respecto al algoritmo que no realiza la codificación. En un trabajo futuro se podría buscar aumentar la robustez utilizando otros códigos correctores de errores como los códigos Reed-Solomon o los turbocódigos, aunque con el correspondiente aumento de complejidad.

