

# **Súper – Resolución aplicada a Imágenes Satelitales**

**Paula M. Tristán, Ruben S. Wainschenker, Jorge H. Doorn**

INTIA, Facultad de Ciencias Exactas, Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires, Paraje Arroyo Seco, Campus Universitario (7000) Tandil Argentina.

e-mail: {ptristan, rfw, jdoorn}@exa.unicen.edu.ar

## Resumen:

La resolución espacial de las imágenes satelitales se ha ido mejorando con la puesta en órbita de plataformas con instrumentos de medición más precisos. No obstante, este aspecto también puede ser abordado utilizando métodos numéricos y aprovechando otras propiedades de las imágenes.

Recientemente se ha desarrollado una técnica denominada Súper Resolución (*Hyper – Resolution*) relacionada con el aumento del nivel de definición de las imágenes. Esta técnica está basada en la utilización del movimiento de objetos dentro del cuadro en una secuencia de imágenes. Se ha utilizado principalmente con secuencias de video de baja resolución para lograr, por ejemplo reconocer rostros en grabaciones obtenidas con cámaras de seguridad.

Este trabajo presenta una alternativa de *Súper - Resolución* como un intento de mejorar la resolución espacial de imágenes satelitales. Se aprovecha aquí, el hecho de que una superficie representada por un píxel en una imagen satelital aparecerá repartida en varios píxeles de otra imagen adquirida en otra circunvalación. Esta alternativa utiliza básicamente el concepto de auto-correlación de objetos que no cambian con el tiempo presentes en diferentes imágenes satelitales.

## **Palabras Clave:**

Resolución espacial, Súper - Resolución, Teledetección, Sensores Remotos.

## **Workshop :**

III Workshop on Graphics Computing, Images and Visualization

## **Introducción:**

El desarrollo de la teledetección<sup>1</sup> ha crecido vertiginosamente en los últimos 50 años, y se espera aún un mayor crecimiento en el futuro. Existen numerosas aplicaciones basadas en el análisis de imágenes satelitales que abarcan campos científicos muy variados como cartografía, agricultura, forestación y logística militar, búsqueda y exploración de petróleo entre otros.

Actualmente la globalidad de los problemas requiere complementar la escala y la cobertura tradicional de los estudios de campo con nuevas herramientas, que permitan observar territorios más amplios y más frecuentemente.

En efecto, la teledetección contribuye a entender lo concreto desde la globalidad. Esto hace que una imagen satelital permita visualizar una porción amplia de territorio (del orden de cientos de kilómetros). No obstante, cuando se pretende utilizar este tipo de imágenes para algún estudio que requiera algún nivel de detalle se presenta el problema del análisis e interpretación de las escenas.

Es sabido que, cualquier sistema de teledetección activo esta compuesto por: el sensor, el objeto observado y por el flujo energético que permite poner a ambos en relación. Ese flujo generalmente proviene por reflexión de la luz solar. Entre el sol y la superficie terrestre; y entre la superficie terrestre y el sensor se interpone la atmósfera, que interfiere de formas diversas con el flujo radiante y por ende afecta en forma considerable las escenas resultantes.

Independientemente de los inconvenientes que trae la interacción atmosférica en el proceso de teledetección existen otros problemas adicionales. Una vez capturada la radiación emitida por la superficie terrestre se debe discretizar y plasmar dicha información en una matriz de píxeles. El valor numérico de cada píxel se define en función de la radiancia recibida por el sensor para esa porción de terreno para una banda espectral, el cual se denomina nivel digital (ND).

Uno de los inconvenientes que poseen algunos sistemas de teledetección es la resolución espacial. La resolución espacial hace referencia al tamaño de la mínima unidad discriminable sobre la imagen. Este concepto, se relaciona con el tamaño del píxel y por consiguiente con la escala con la cual se representan las imágenes [Chuvienco1994].

A primera vista se puede aseverar que aquellos elementos por debajo del tamaño representado por píxel no serán, en principio, discriminables en la imagen, lo que supone una cuestión fundamental en la selección del sensor más conveniente para cada objetivo de estudio. Cuanto mayor sea la resolución, mejor podrá definirse un píxel, ya que será más susceptible de albergar una única cubierta. Por el contrario, si el tamaño del píxel es grande, la señal detectada resulta frecuentemente de varios tipos de cubiertas, haciendo mucho más compleja su interpretación.

## **La técnica propuesta:**

Cuando se cuenta con una secuencia donde la información contenida en una imagen es aproximadamente la misma a la siguiente, se puede obtener una imagen cuyo nivel de detalle o resolución espacial sea mayor. Esto se logra mediante una técnica denominada Súper – Resolución la cual se basa en aprovechar la información no redundante de una secuencia de imágenes de forma tal de construir una nueva imagen que posea una mayor definición que las originales [Federico2004].

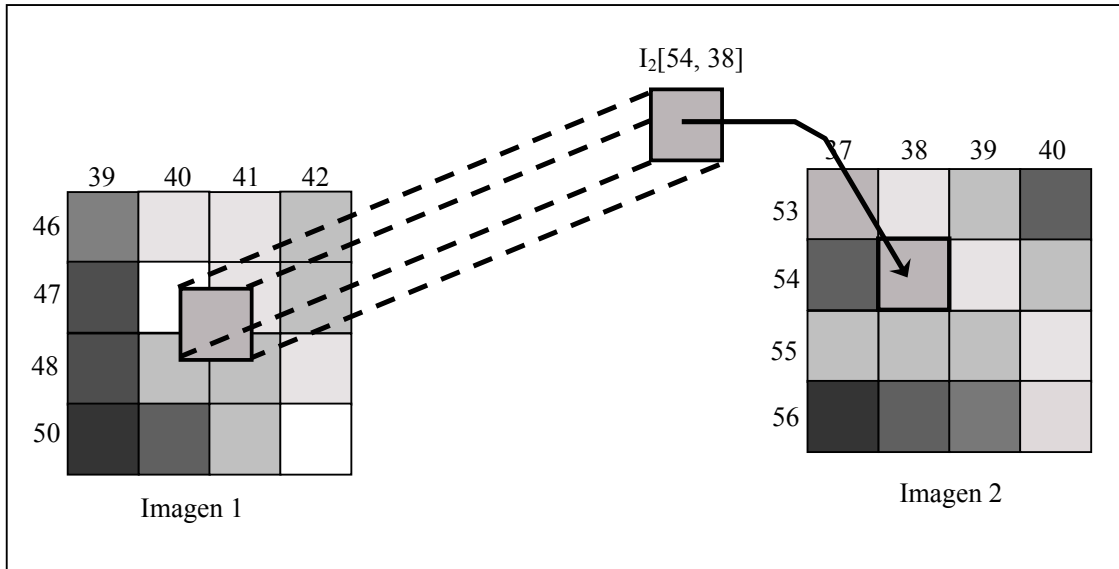
Cada satélite de los utilizados, tiene una órbita tal que el plano que la contiene forma un ángulo con el eje de rotación terrestre, si tenemos en cuenta la rotación de la tierra, el sensor tomará

---

<sup>1</sup> Se define como aquella técnica que permite obtener información a distancia de los objetos situados sobre la superficie terrestre.

imágenes que cubrirán toda la superficie terrestre y al cabo de cierto tiempo repetirá el recorrido. Esto significa que, luego de un periodo fijo el satélite pasará por un mismo lugar pudiéndose obtener entonces, una secuencia de imágenes de la misma zona adquiridas en diferentes fechas.

Como se dijo anteriormente, debido a cuestiones tales como la discretización de la energía capturada por el sensor en una matriz fija y a los movimientos propios del satélite, la superficie representada por un píxel en una imagen no se corresponderá exactamente con ese mismo píxel en una imagen posterior.



Figural.- Sector de una imagen hipotética en la que se muestra la correspondencia de píxeles entre ambas.

La Figura 1 muestra dos cuadrículas que representan sectores de dos imágenes capturadas en diferentes momentos, Imagen 1 e Imagen 2 respectivamente, en ella se puede observar que el píxel  $I_2[54, 38]$ , representa una porción de territorio de 30 m. x 30 m. cuya intensidad representa la energía recibida desde esa porción de territorio en esa fecha. La imagen  $I_1$  muestra una posible distribución de píxeles en donde  $I_1[47, 40]$ ,  $I_1[47, 41]$ ,  $I_1[48, 40]$  y  $I_1[48, 41]$  recibirán cada uno parte proporcional de la energía emitida por la superficie correspondiente al píxel  $I_2[54, 38]$  de la imagen  $I_2$  mas otra parte correspondiente a la porción de terreno adyacentes a este debidas, por ejemplo a pequeños movimientos de alabeo y cabeceo del satélite.

Esto se puede interpretar como una traslación de una imagen digital respecto de otra de diferente fecha, y esta traslación es a nivel menor que el píxel.

La Figura 2 muestra la traslación sub - píxel existente entre dos imágenes. El vector traslación esta definido los valores  $\alpha$  y  $\beta$ , donde  $\alpha$  define el desplazamiento del píxel en sentido horizontal y  $\beta$  define el desplazamiento del píxel en sentido vertical.

Una de las dificultades en este problema esta ahora claro, y se basa en encontrar la traslación sub - píxel entre las imágenes.

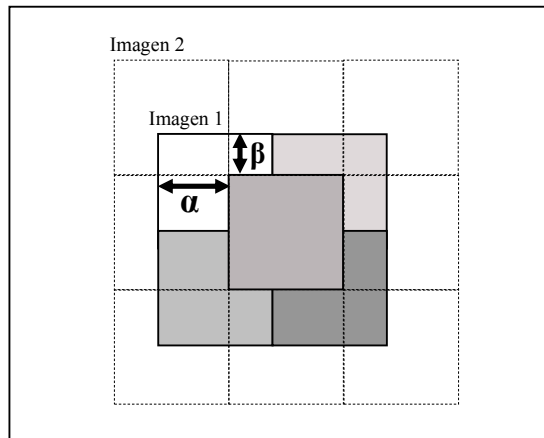


Figura 2.- Desplazamiento a nivel sub - pixel en ambos sentidos.

El algoritmo propuesto para esta tarea utiliza el concepto de correlación entre imágenes. Esto es, buscar la mejor representación de la traslación, iterando con un  $\Delta = 0.1$ , sobre un muestreo predefinido de forma tal que  $\alpha$  y  $\beta$  sean aquellos valores que permitan maximizar la auto-correlación entre dos imágenes.

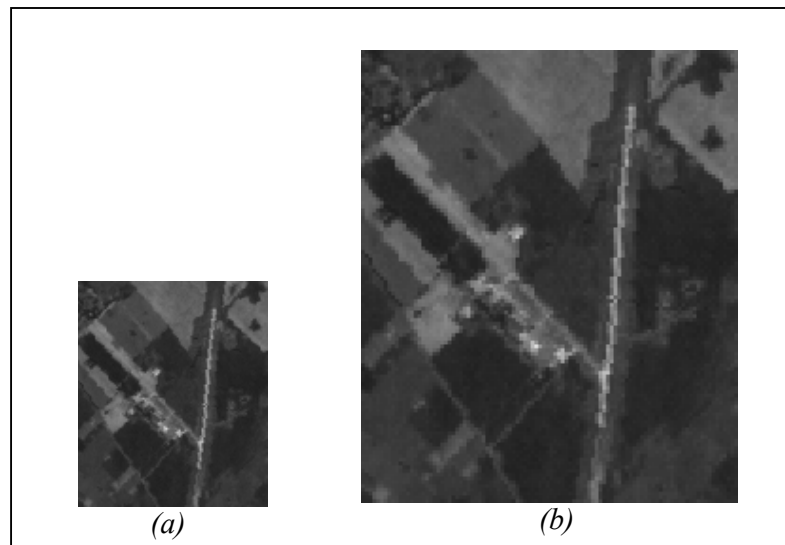


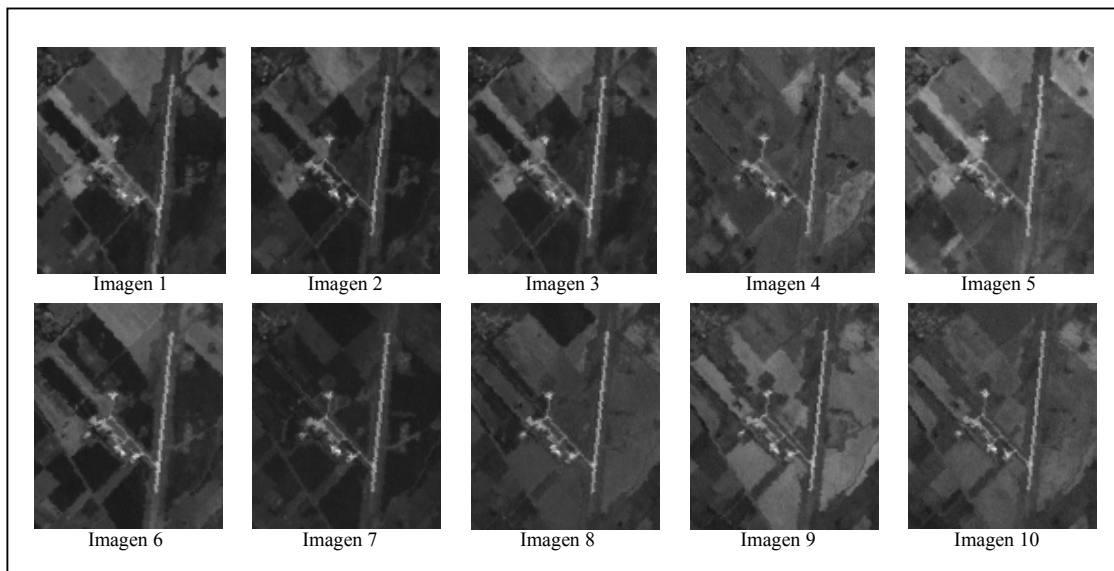
Figura 3.- Presentación en distintas escalas de los muestreos diferentes para las imágenes. (a) Muestreo original de una imagen Landsat 7. (b) Muestreo 1:4 de la original.

Este proceso se aplica a partir de una imagen tomada como original y se “trasladan” respecto de ella todas las imágenes restantes llevadas al nuevo muestreo, así hasta obtener la imagen de salida con una resolución mayor a la de las imágenes utilizadas durante este proceso.

### Aplicación a un caso de estudio:

Se ha probado la técnica para varios objetos temporalmente invariantes de diferentes imágenes satelitales. Aquí se muestra un sector que corresponde a la pista de aterrizaje, hangares y

alrededores de la “VI Brigada” dependiente de la Fuerza Aérea Argentina en la ciudad de Tandil, provincia de Buenos Aires. La *Figura 4* muestra todas las imágenes que fueron utilizadas para el ejemplo mostrado.



*Figura 4.-* Imágenes satelitales correspondientes a diferentes fechas obtenidas para el mismo sector.

Cada cubierta posee ciertas características cuantificables en cada banda del espectro que la diferencian de otras. Como cada material posee bandas de absorción diferentes de acuerdo a su composición química, la energía solar reflejada será la complementaria a la incidente más la virtualmente emitida por la propia superficie. En consecuencia, el espectro electromagnético de un objeto detectado a bordo de un sistema sensor será una señal prácticamente inequívoca de la composición del mismo, lo que se conoce como firma espectral de la cubierta.

Hay cubiertas que no cambian su comportamiento espectral con el correr del tiempo como rutas o construcciones, a diferencia de otras superficies, como pueden ser los cultivos los cuales cambian significativamente. Estas últimas traen aparejados algunos problemas al momento de tratar de maximizar las correlaciones entre diferentes imágenes, por esta causa nos centramos solamente en sectores donde las cubiertas no cambian significativamente con el tiempo.

En este caso se probó la técnica en las diferentes bandas espectrales y se comprobó que no existen diferencias en los resultados para los objetos inspeccionados, con lo cual se optó mostrar aquí el proceso para una de ellas, las cuales además, han sido previamente expandidas digitalmente tratando así que todas se representen de una misma forma.

La *Figura 5* muestra la secuencia de imágenes donde cada una muestra el resultado que se obtiene al incorporar una nueva imagen a la resultante del paso anterior. En esta figura, a simple vista, se puede observar claramente las mejoras obtenidas dentro de la secuencia.

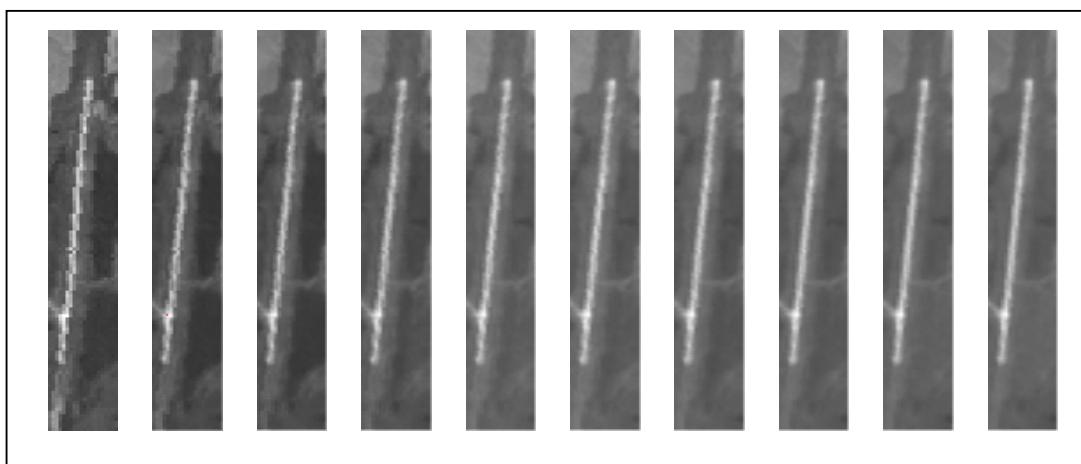


Figura 5.- Resultados incrementales al aplicar súper resolución a la pista de aterrizaje y sus alrededores.

### Cuantificación de los resultados:

Una vez obtenidos los resultados de la técnica de súper - resolución a imágenes satelitales utilizando el fundamento de correlación de imágenes surge el problema de medir estos resultados de forma de corroborar lo que visualmente queda más que claro.

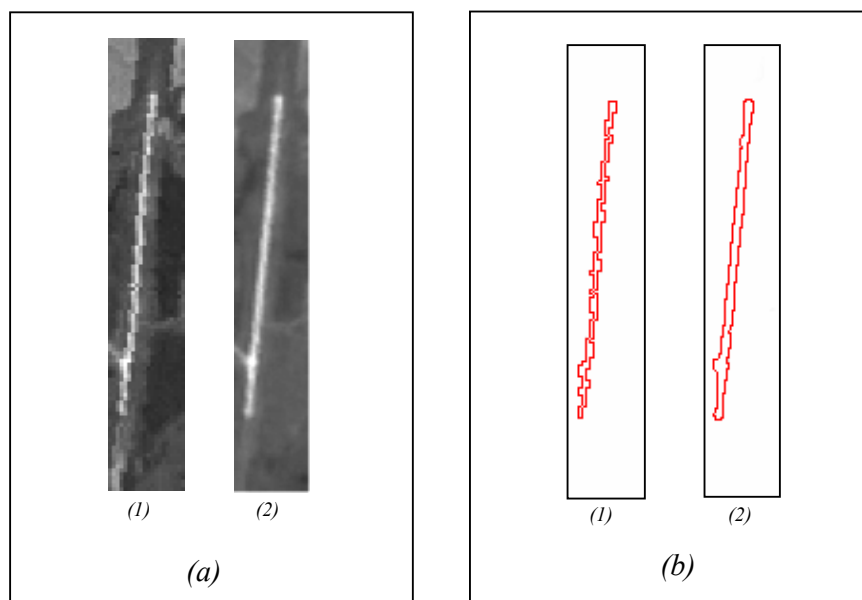


Figura 6.- (a) Muestra la imagen original (1) y la imagen resultante (2). (b) Muestra los bordes de las imágenes mostradas en (a).

Para tratar de cuantificar esta mejora se ha utilizado el borde de la pista en la secuencia y se ha estudiado la evolución del cálculo del perímetro.

La comparación de las Figuras 6(a) 1 y 2 presentan la mejora obtenida. En la imagen a la cual se le aplicó la súper resolución se puede observar como se obtuvo una mejora considerable en

la definición, a diferencia de la imagen original con el nuevo muestreo. El borde de la pista se ve claramente más recto, es decir no se visualiza el escalonamiento que se percibe claramente en la original.

Las imágenes originales utilizadas (escala 1:1) tienen una resolución espacial de 30 x 30 m<sup>2</sup>. mientras que la imagen obtenida como resultado fue construida a partir de píxeles de 15 x 15 m<sup>2</sup>., lo que en la práctica significa una cuasi duplicación de la resolución.

Se concluye que las mejoras en la calidad de la imagen son evidentes con la sola observación de los resultados. La cuantificación de la mejora corrobora los resultados.

	Perímetro SR (m)	Perímetro Real (m)	Error Relativo	Error (%)
salida 1	5713,41	5196	0,099578522	9,96
salida 2	5724,33	5196	0,101680139	10,17
salida 3	5623,41	5196	0,082257506	8,23
salida 4	5619,77	5196	0,081556967	8,16
salida 5	5511,57	5196	0,060733256	6,07
salida 6	5518,85	5196	0,062134334	6,21
salida 7	5461,87	5196	0,051168206	5,12
salida 8	5469,15	5196	0,052569284	5,26
salida 9	5423,08	5196	0,043702848	4,37

Tabla 1.- Muestra los valores de la longitud del perímetro de la pista para todos los resultados intermedios.

En la *Tabla 1* se puede observar la evolución del perímetro calculado con la imagen mejorada en cada etapa. Se observa que el error relativo del mismo disminuye con cada paso. Cabe acotar que la comparación con el perímetro real es desventajosa para el método ya que nunca se podrá obtener salvo que la resolución espacial sea muy superior

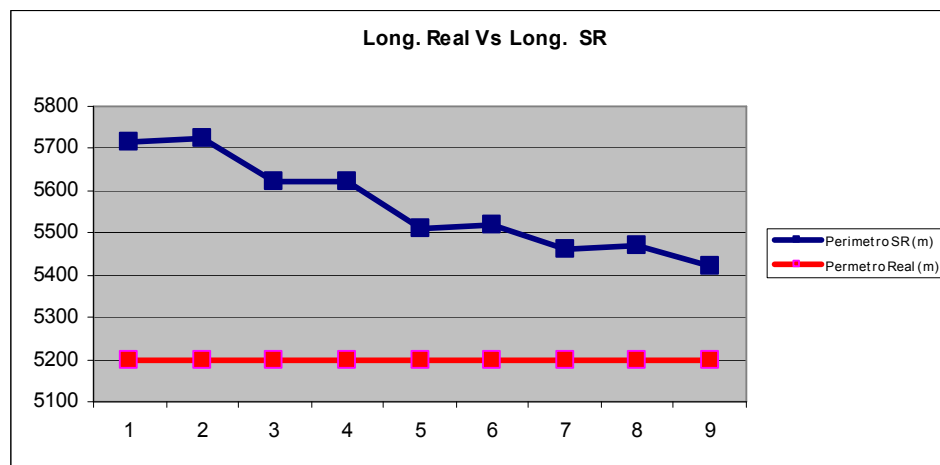


Grafico1- Muestra la mejora progresiva de la longitud del perímetro de la pista a medida que se agregan nuevas imágenes a la solución.

## Conclusiones:

Se ha confirmado lo sugerido por diferentes autores, esto es, la súper resolución se puede aplicar con éxito a Imágenes Satelitales.

Se ha comprobado también que existen particularidades en el algoritmo a la hora de tratar con imágenes satelitales en vez de una secuencia de video.

Por ultimo es importante resaltar que la mejora lograda es notable y se percibe a simple vista aunque tiene una limitación debido a que la cantidad de imágenes satelitales disponibles habitualmente es menor a la cantidad de imágenes existentes en unos pocos segundos de una secuencia de video.

## Referencias:

[Akgun2004] Toygar Akgun, Yucel Altunbasak, Russell Mersereau. “Super-resolution Reconstruction of Hyperspectral Images”

[Alvarez2004] Alvarez, L.D., J.Mateos, R. Molina, A.K. Katsaggelos “*Observabilidad y Predictibilidad en la Super -Resolución* ”

[Molina2004] Molina, Rafael. “*Super – Resolution From Images and Video*”

[Federico2004] Cristina Federico, Oscar Bria, Claudia Russo. “*Generación de Imágenes de Alta Resolución Utilizando Secuencias de vides de Baja Resolución*”. CACIC 2004

[Mateos2003] Javier Mateos. “*Aplicaciones de los algoritmos de restauración de imágenesmulticanal a problemas de Super - Resolución*”

[Segall2003] C.A. Segall, R. Molina, and A. K. Katsaggelos “*High Resolution Images from a Sequence of Low Resolution and Compressed Observations: A Review*”

[Kin2003] Kwan In Kin, Matthias Franz, Bernhard Scolkpöf. “*Kernel Hebbian Algorithm for Image Hyperresolution*”.

[Molina2001] Rafael Molina. “*Extracción de imágenes y secuencias de videos de alta resolución a partir de secuencias de video comprimidas de baja resolución*”.

[Borman1998] Sean Borman, Robert Stevenson. “*Spatial Resolution Enhancement of Low Resolution Images Sequences. A Comprehensive Review with Directions for future Research*”

[Chuvieco1994] Emilio Chuvieco. “*Fundamentos de la Teledetección Espacial*”.