

Técnicas de deconvolución y otras herramientas avanzadas con PixInsight

Jordi Gallego

V Seminario de Astrofotografía
Digital de Cielo Profundo
Madrid, 31 de Octubre 2009

Técnicas avanzadas con PixInsight

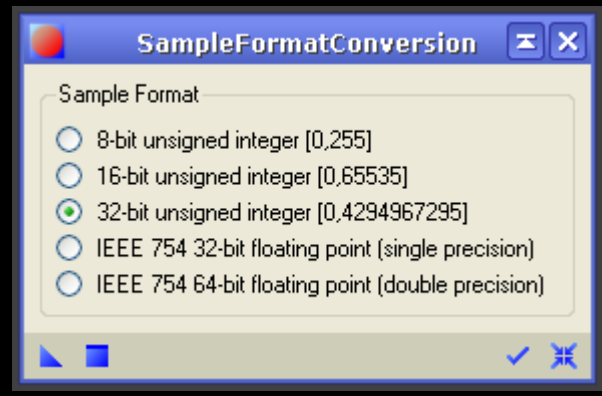
1. Consideraciones previas
   - Formatos de archivo

2. Herramientas avanzadas I (Módulos)
   - **Deconvolución**
   - HDRWT
   - Registro de imágenes: Star Alignment
   - Otros módulos de interés:
     - A trous wavelets
     - Combinación de tomas: ImageIntegration
     - Reducción de ruido: ACDNR
     - Calibración de color: ColorCalibration
     - PixelMath

3. Herramientas avanzadas II (Scripts)
   - Masked Strech (visto en presentación Técnicas RGB)
   - HDR composition
   - Dark Structure Enhance
   - Otros Scripts de interés (utilidades):
     - Preview agregator (visto su uso en presentación Técnicas RGB)
     - DeconvolutionPreview (visto en Deconvolución)
     - Aberration spotter (Visto en StarAlignment)

1. Consideraciones previas:

- Formatos de datos
  - La aplicación soporta de forma transparente, funcionando para todas las herramientas, 5 tipos de datos:
    - 8 bits entero
    - 16 bits entero
    - 32 bits entero
    - 32 bits punto flotante
    - 64 bits punto flotante



  - Cuando se aplican a la imagen técnicas que implican procesos numéricos muy complejos, como es el caso de los algoritmos de deconvolución, es conveniente escoger un tipo de datos que permita minimizar los errores por redondeo o truncamiento.
  - El formato de 32 bits entero nos permite trabajar en rango numérico muy amplio (2^{32}) suficiente para la mayor parte este tipo de trabajos
  - En casos en los que se sume una problemática de un elevado rango dinámico, otra posibilidad es el formato de 64 bits IEEE 754 *floating point* (el formato IEEE de 32 bits punto flotante proporciona menos de 10^7 valores discretos: también se puede usar pero un rango numérico mayor es siempre preferible)

2. Herramientas avanzadas I (Módulos): Deconvolución

- Deconvolución: conceptos generales
- Deconvolución en PixInsight core (v 1.5)
- Ejemplos de aplicación:
  - Cielo profundo: Trío de Leo
  - Planetaria: imagen de la Luna

Deconvolución: conceptos generales

- La deconvolución es un proceso que intenta restaurar a su condición original una señal (imagen en nuestro caso) que ha sufrido una degradación.
- La degradación de nuestra imagen es producida por dos causas:
  - Convolución de la imagen antes de su registro, y
  - Ruido incorporado a la misma durante su registro
- En astrofotografía, la turbulencia atmosférica, la óptica que empleamos y las inestabilidades mecánicas de nuestro equipo son los principales responsables de la convolución de la señal antes de su registro
- El ruido en el detector causa también degradación de la imagen, básicamente ruido de lectura y error de cuantización

- En términos matemáticos la imagen obtenida se puede escribir así:

$$O = (I \otimes P) + N$$

  - O = Imagen obtenida
  - I = Imagen “original” (la obtenida en condiciones ideales de óptica y seeing)
  - Θ = Convolución
  - P = Point Spread Function PSF (en condiciones ideales: disco de Airy)
  - N = Ruido en la imagen obtenida

Deconvolución: conceptos generales

Puntos clave a tener en cuenta:

- **Ruido: Relación Señal/Ruido**. En la formula anterior se ve claramente la importancia de disminuir N. Por tanto las imágenes candidatas a aplicar algoritmos de deconvolución:
  - deben estar correctamente calibradas y
  - deben tener una elevada relación S/R
- **Ruido: Amplificación de ruido**. El algoritmo de deconvolución puede interpretar el ruido existente, por ejemplo en zonas de fondo de cielo, como detalle que ha sido convolucionado y tratar de "arreglarlo" con resultados nefastos. Para evitar o minimizar esto:
  - Emplear algoritmos regularizados
  - Controlar el número de iteraciones
- **Point Spread Function.**
  - La estimación de la PSF es un factor clave en el proceso (más en ejemplo cielo profundo)
- **Imágenes lineales.**
  - La deconvolución debería aplicarse a imágenes lineales (más en ejemplo cielo profundo)
- **Círculos oscuros alrededor de las estrellas (efecto Gibbs o *ringing*).** Uno de los efectos de todo algoritmo de deconvolución es reducir el tamaño de las estrellas, el resultado final de este proceso, en virtud del efecto Gibbs, es un oscurecimiento del fondo del cielo alrededor de las estrellas.

Deconvolución en PixInsight

- Texto transcrito de la información oficial del programa:

"La herramienta Deconvolution es nuestra implementación de las deconvoluciones de Richardson-Lucy y Van Cittert con regularización basada en wavelets y algoritmos de deringing. La deconvolución regularizada trabaja separando en cada iteración estructuras significativas de la imagen del ruido. Las estructuras significativas se mantienen y el ruido se descarta o se atenúa. Esto permite deconvolución y reducción de ruido simultáneos que proporcionan resultados mejorados con relación a métodos tradicionales o implementaciones menos sofisticadas"

- Comentario propio:

La deconvolución es un proceso que siempre me ha atraído como método necesario para mejorar mis imágenes. Sin embargo los ensayos efectuados con CCDSoft, CCDSharp, ImagesPlus y CCDStack me dieron resultados no totalmente satisfactorios y muchas veces impredecibles.
Por eso la incorporación de la herramienta de Deconvolution a PixInsight en la versión 1.0 me causó una gran satisfacción. Su uso representó una mejora muy notable respecto a las aplicaciones mencionadas, pero debo reconocer que me costaba mucho conseguir proteger correctamente todas las estrellas.

Deconvolución en PixInsight v 1.5

La característica nueva más importante de esta versión es una mejora significativa en la herramienta de deconvolución consistente en un mecanismo de *deringing* completamente rediseñado.

(El desarrollador del programa informa que este nuevo mecanismo es similar al ya implementado en las herramientas ATrousWaveletTransform, UnsharpMask y RestorationFilter)

Vamos a ver un ejemplo de aplicación de esta última versión con una imagen RGB de la zona del trío de Leo:

- Takahashi TOA-150 @ f/7.3 (Flattener 67)
- SBIG STL-11000M @ -20ºC
- Filtros RGB Baader
- 9 h de exposición acumulada
- Àger, Marzo 2009

Ejemplo Deconvolución: cielo profundo

Posible proceso de trabajo para aplicar deconvolución a una imagen de cielo profundo en PixInsight:

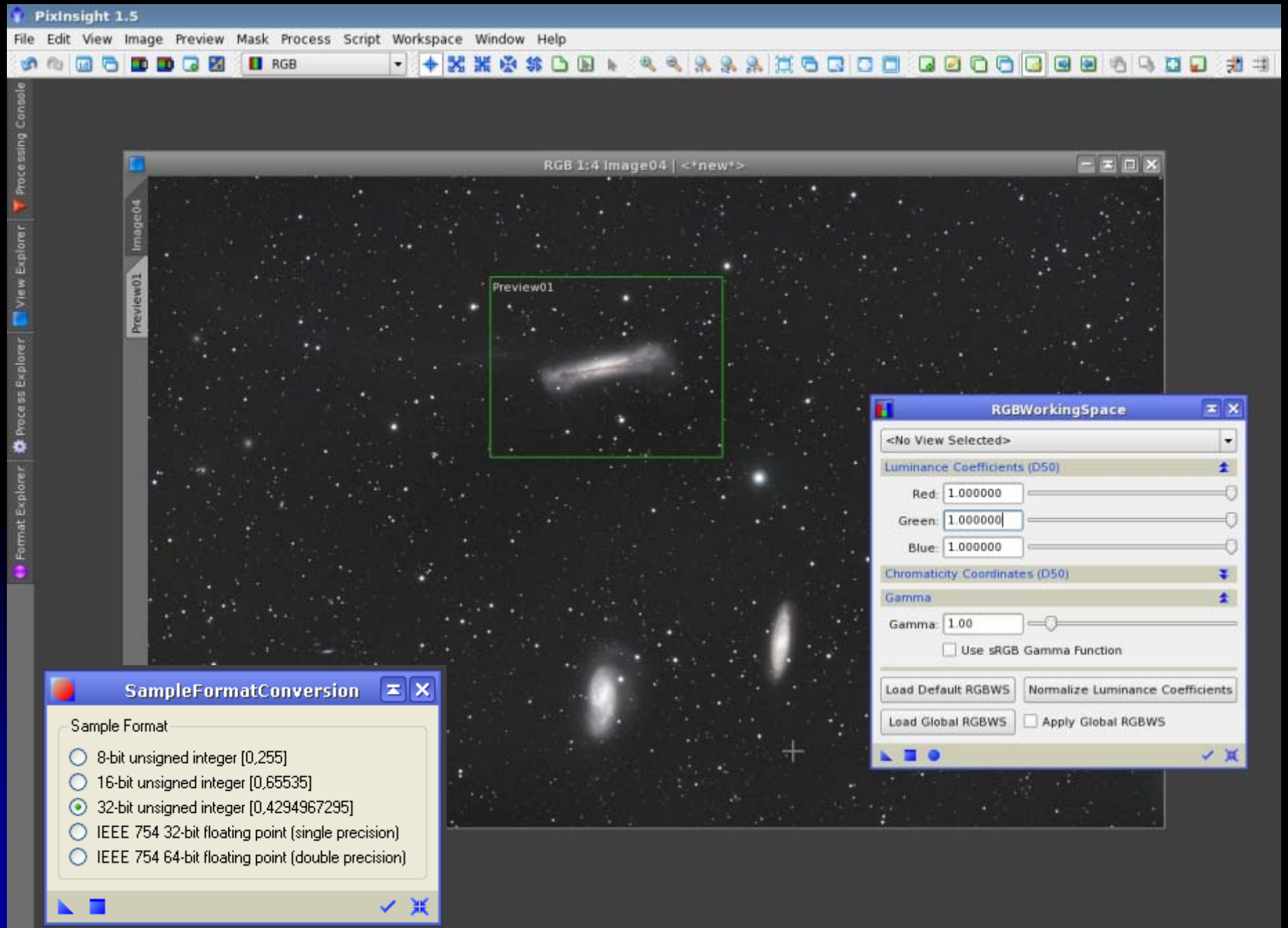
Pasos previos

- Definir un espacio de trabajo (RGBWS): lineal y uniforme
- Establecer un formato de datos adecuado: p.e. 32 bit entero
- Definir una o varias previsualizaciones (PreviewAgregator) en zonas de interés
- Seleccionar el algoritmo de deconvolución: Richardson-Lucy regularizado

Work flow

1. Establecer los parámetros de la PSF. Esto se puede hacer a partir de:
    1. Medida directa del tamaño de estrellas en la imagen
    2. Medición precisa del *seeing* durante la adquisición de la imagen
    3. Método de prueba y error (Con apoyo del script DeconvolutionPreview)
2. Aplicar con soporte de deringing global: ajustar sus parámetros
3. Aplicar con soporte de deringing global y local (máscara de estrellas): ajustar los parámetros de este último
4. Refinar los parámetros de deringing global
5. Ajustar el número de iteraciones
6. Aplicar a toda la imagen

Pasos previos



Pasos previos

En la pantalla anterior, hemos visto que hemos definido un espacio de trabajo RGB (RGBWS) lineal y uniforme:

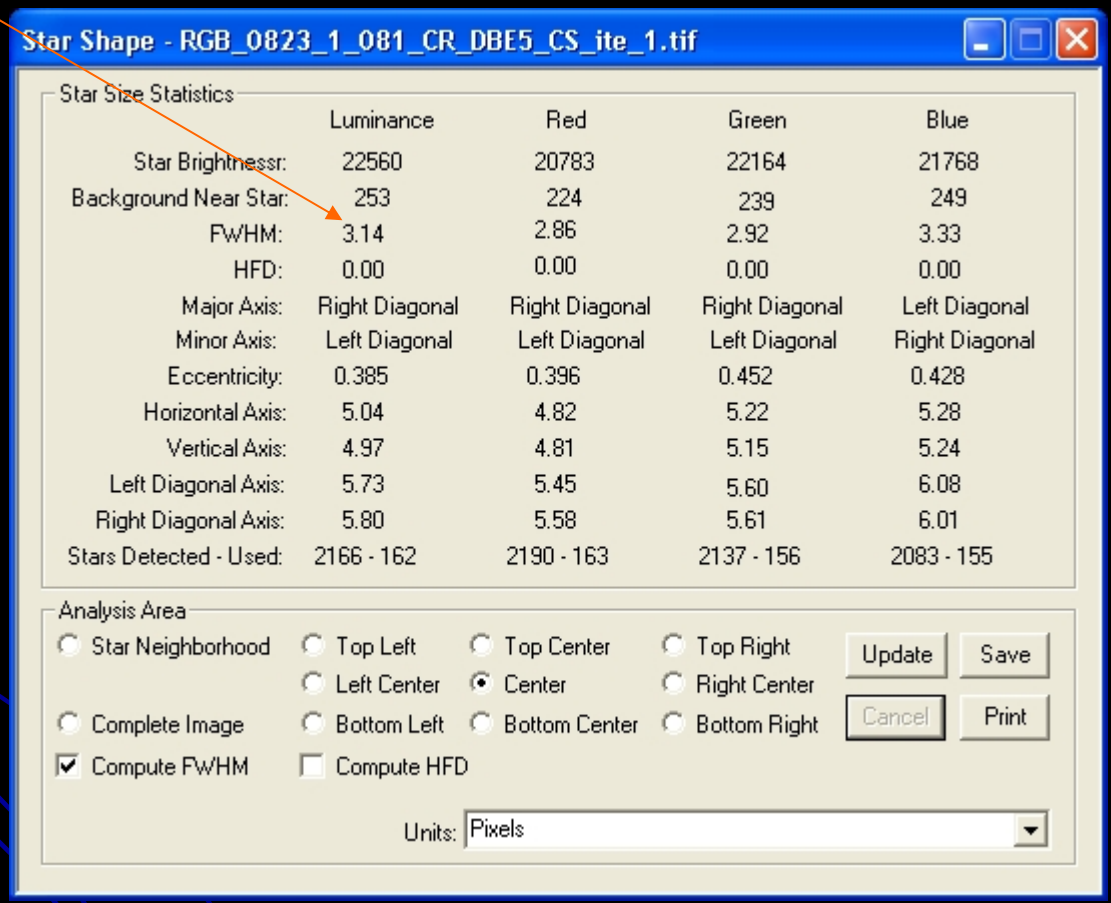
- Un RGBWS lineal define un valor de gamma de 1.0.
- Un RGBWS uniforme tiene idénticos pesos de luminancia para los tres canales nominales RGB.

La linealidad es una condición necesaria para una deconvolución con justificación física.

La uniformidad es recomendable porque vamos a deconvolucionar la luminancia, así que queremos recoger toda la información posible en la componente CIE Y (que es la luminancia lineal).

1. Establecer los parámetros de la PSF

Estimación del FWHM medio de la imagen (con otra aplicación, PixInsight no permite realizar esta medición, aunque está en desarrollo una herramienta para ello)



Cálculo (aproximado) de la desviación tipo a partir del FWHM medio:

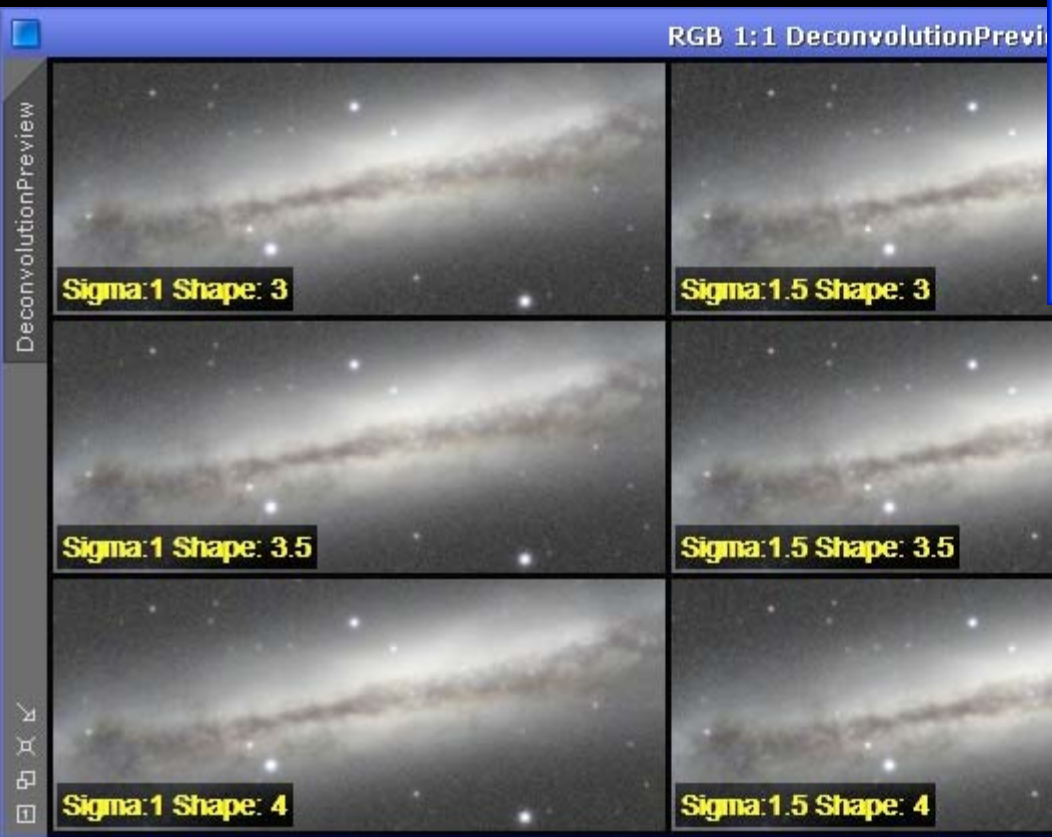
$$FWHM = 2\sqrt{2\ln 2}\sigma \approx 2.35482\sigma$$

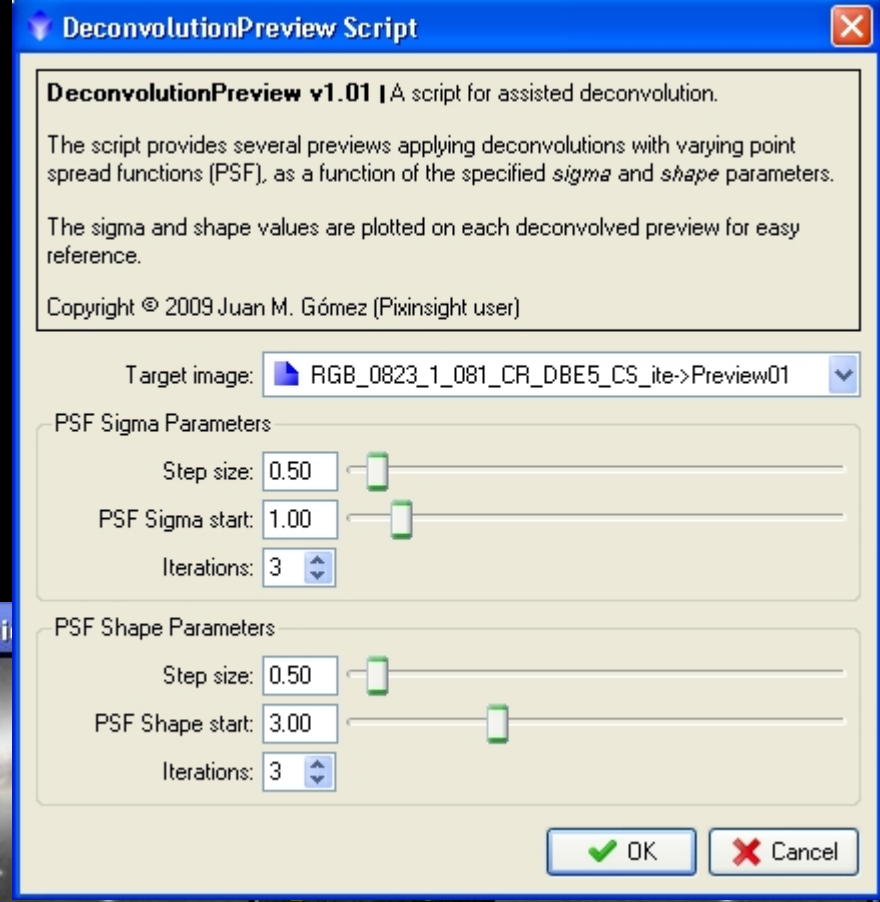
$$\sigma_{PSF} = \frac{FWHM_{PSF}}{2.35482} = \frac{3.14}{2.35482} = 1.33$$

1. Establecer los parámetros de la PSF

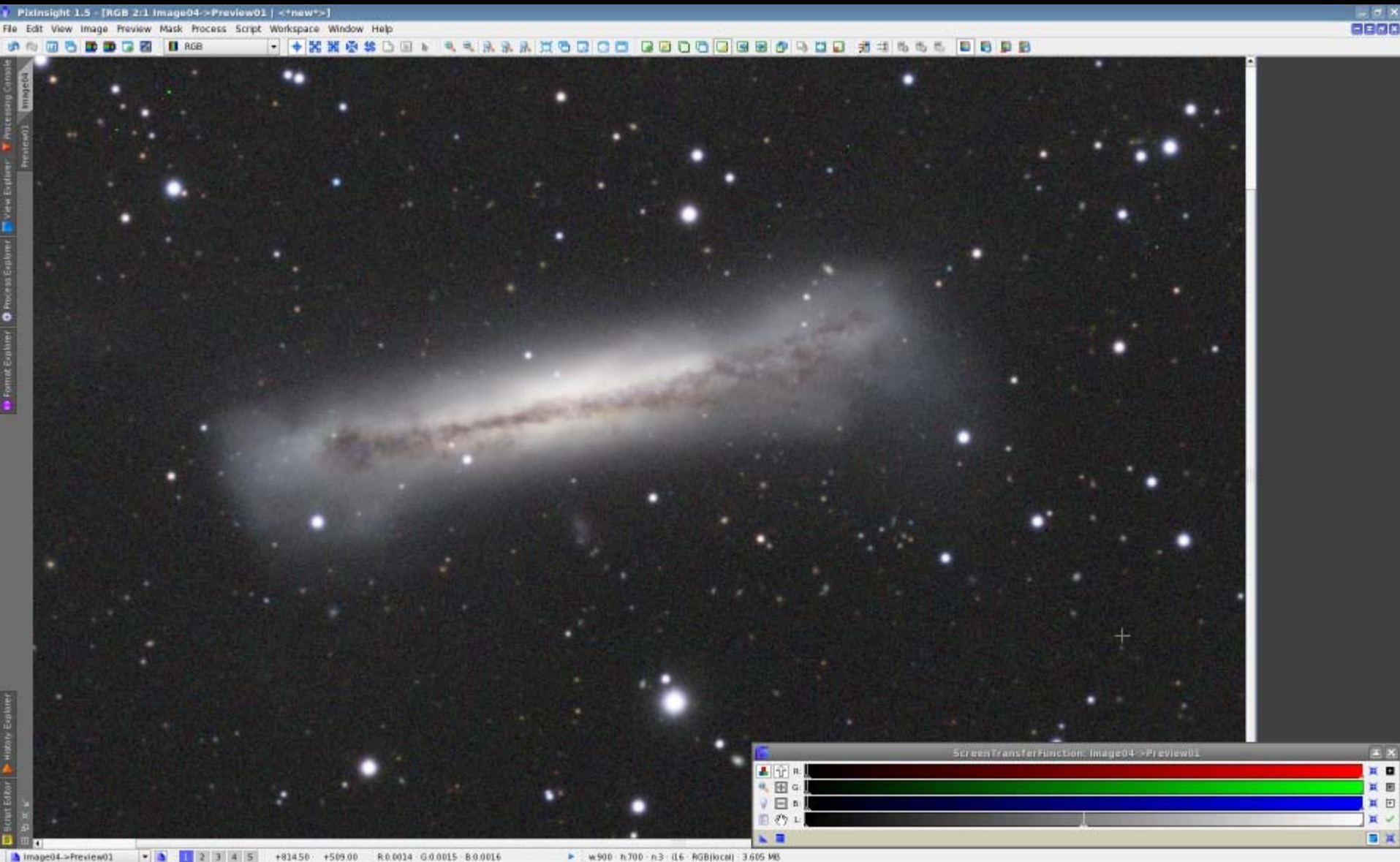
El valor de Sigma obtenido antes es solamente aproximado: el script Deconvolution Preview nos permite encontrar en poco tiempo el valor óptimo, aparte de proporcionar también información sobre el parámetro PSF Shape.

En el caso de esta imagen los valores finales escogidos son PSF Sigma = 1.50 y Shape = 3.50

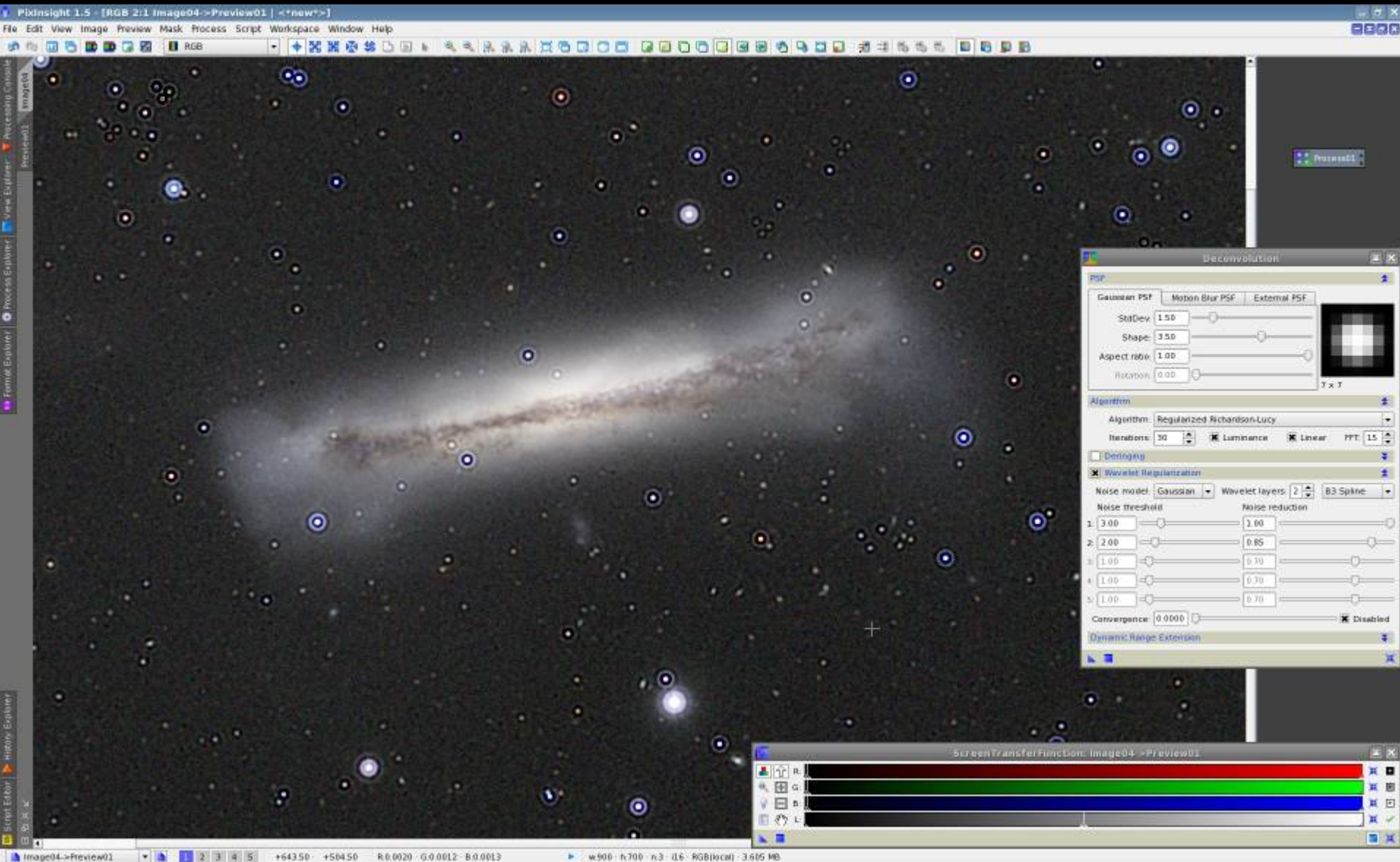




Preview de trabajo con los datos originales: Recordemos que la imagen es lineal y que únicamente podemos verla gracias a la STF activa. Se constata que la imagen tiene una buena relación S/R

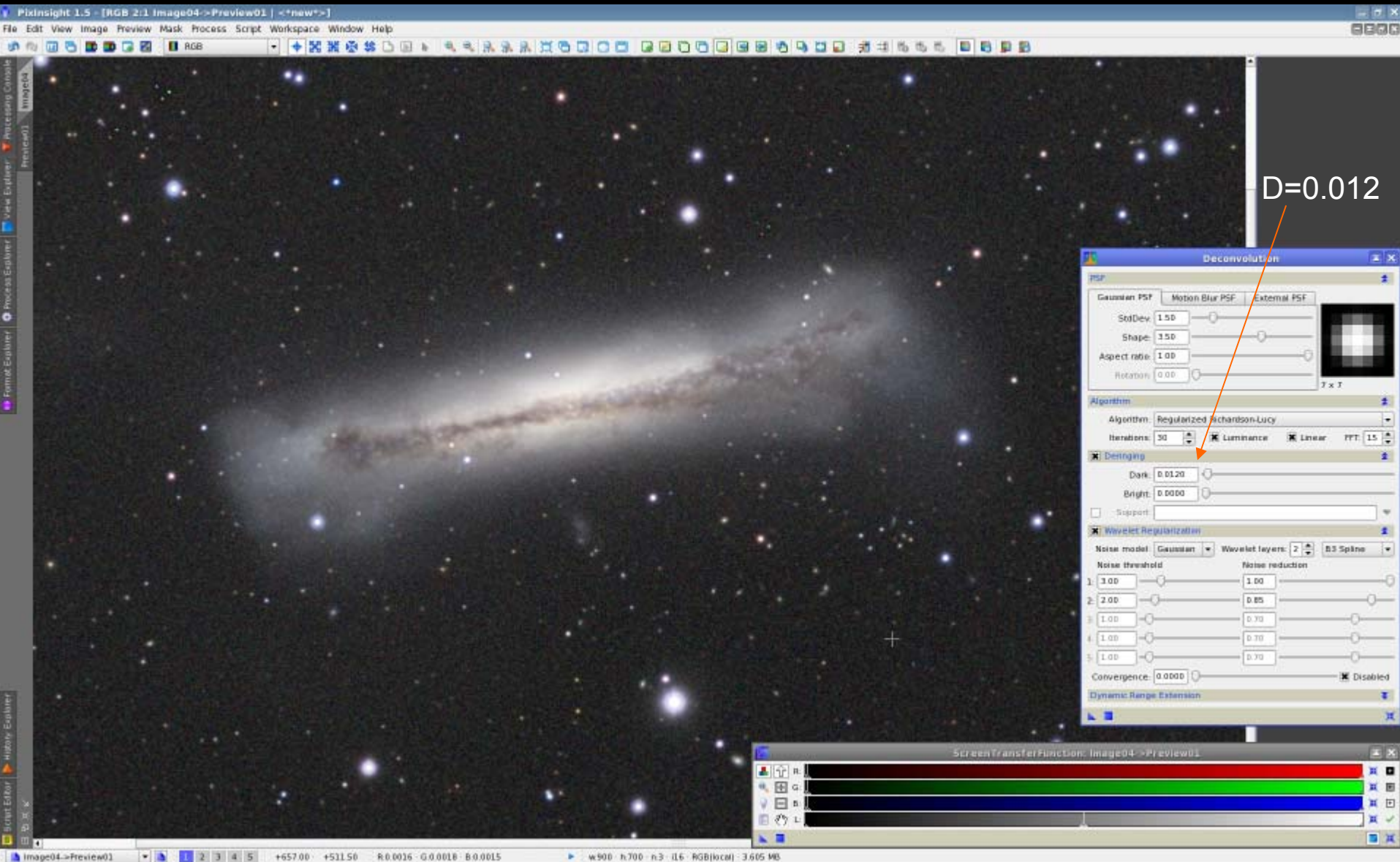


Solo como prueba, aplicamos 30 iteraciones Richardson-Lucy regularizado sin *deringing*. El efecto Gibbs se muestra en todo su esplendor.



2. Aplicar con soporte de deringing global

Resultado de aplicar la misma deconvolución pero utilizando el nuevo algoritmo de *deringing*.



3. Aplicar con soporte de deringing global y local (máscara de estrellas)

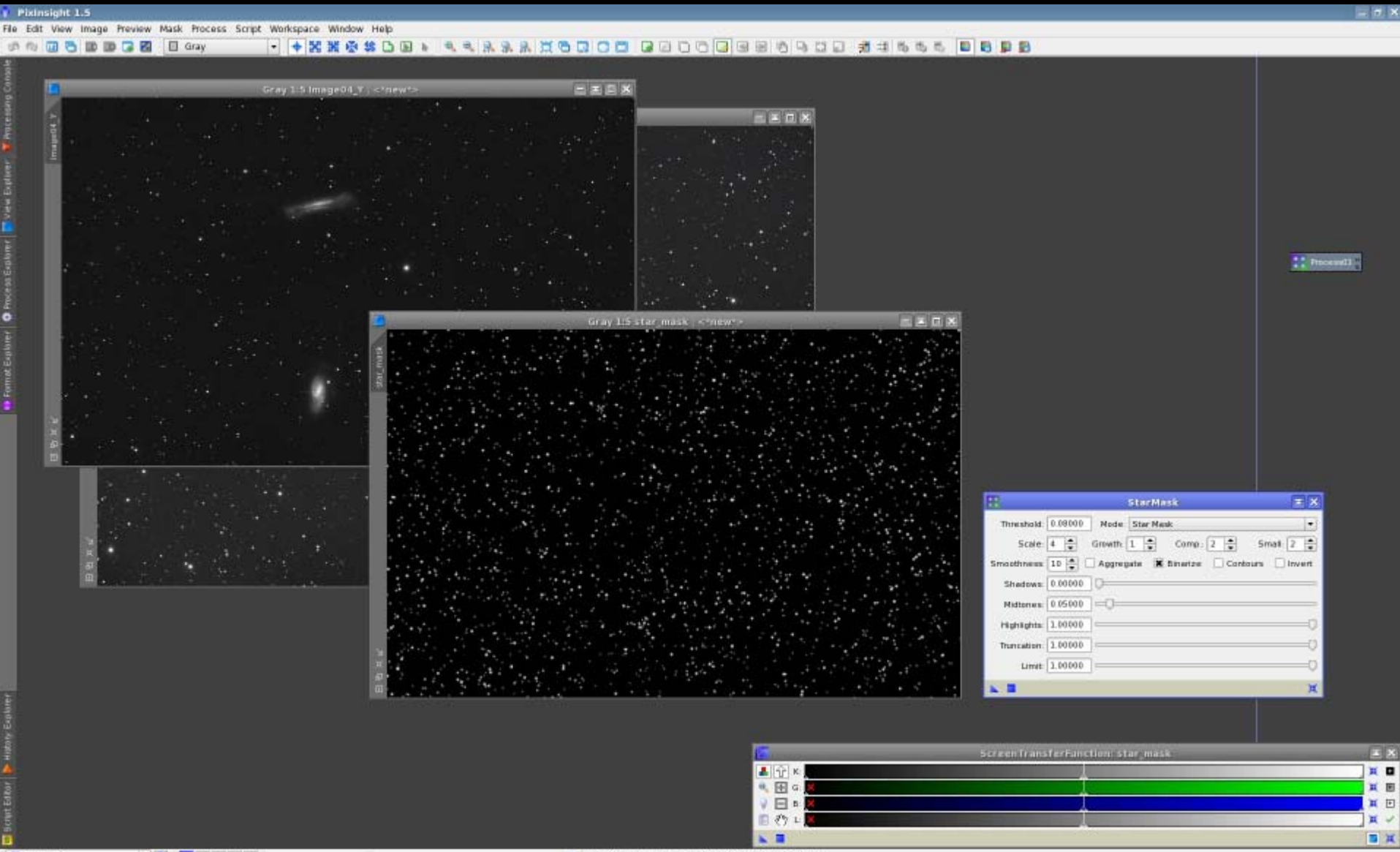
Como acabamos de ver, cualquier mecanismo de *deringing* tiende a degradar, en alguna medida, la deconvolución, ya que el proceso de *deringing* en realidad trabaja limitando el efecto de realce de bordes localmente.

Además del algoritmo de *deringing* global que acabamos de ver, la nueva herramienta de deconvolución proporciona también uno de *deringing* local, gestionado mediante una imagen de soporte. Ambos mecanismos de *deringing* funcionan en paralelo.

Un soporte de *deringing* es una imagen especial, en escala de grises, que define los píxeles donde se va a aplicar un efecto de *deringing* adicional. En el caso de imágenes de cielo profundo, los soportes de *deringing* son normalmente máscaras de estrellas.

3. Aplicar con soporte de deringing global y local (máscara de estrellas)

Máscara de estrellas, para soporte de *deringing*, generada con la herramienta StarMask



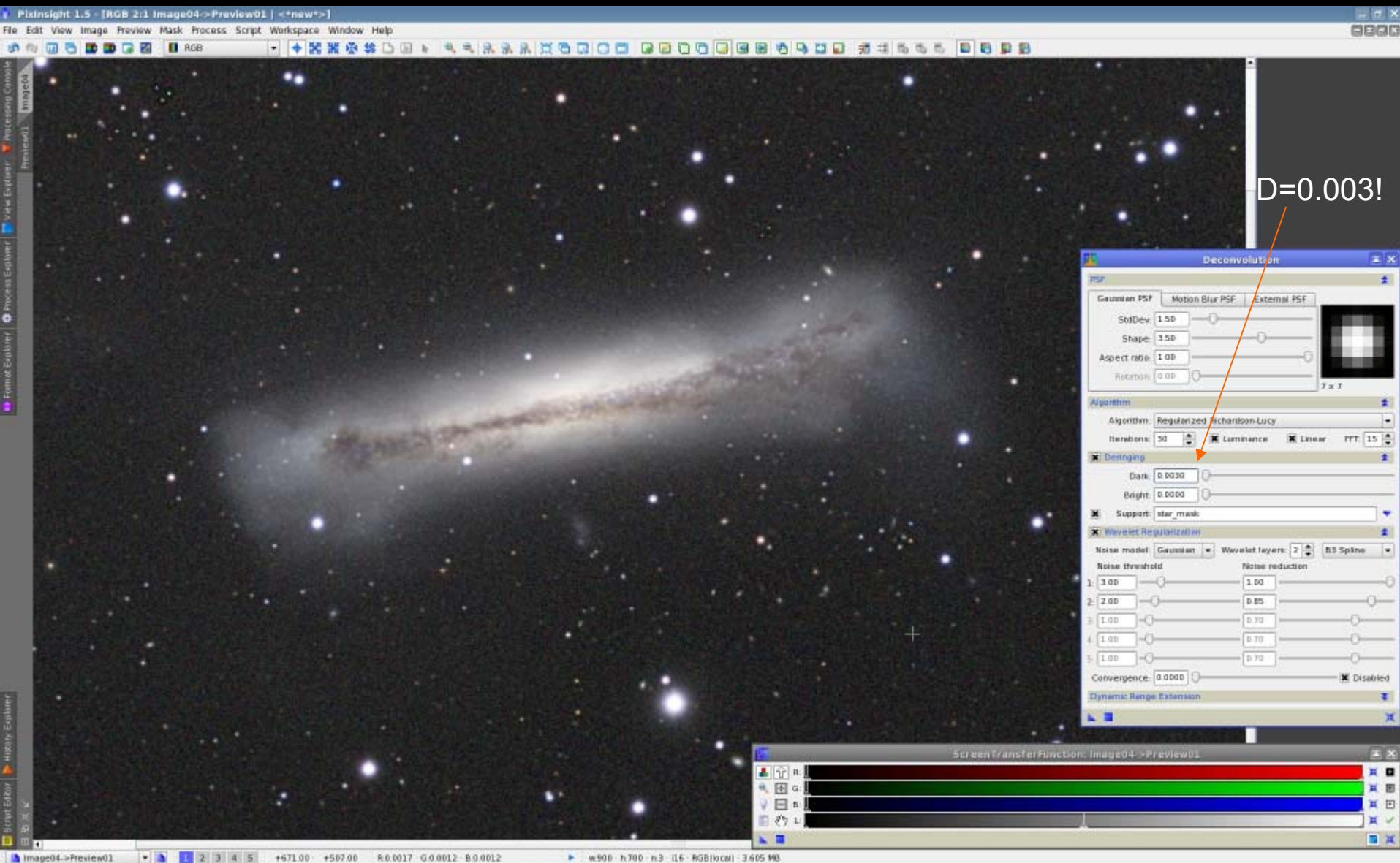
3. Aplicar con soporte de deringing global y local (máscara de estrellas)

La ventaja de trabajar con ambos tipos de *deringing* es que podemos construir una máscara de estrellas para proporcionar protección adicional en las estructuras de alto contraste, como son las estrellas brillantes, mientras que el *deringing* global actúa en toda la imagen. El beneficio de esta estrategia es doble:

- Por una parte, la máscara de estrellas puede ser muy permisiva, de manera que resulta muy fácil generarla (no es necesario incluir *todas* las estrellas en la máscara, sino sólo las más brillantes).
- Por otra parte, en general podemos reducir la potencia del *deringing* global, lo cual impide la degradación del proceso de deconvolución.

3. Aplicar con soporte de deringing global y local (máscara de estrellas)

Resultado de 30 iteraciones de deconvolución Richardson-Lucy regularizada, con ambos tipos de *deringing* en acción



Vamos a verlas otra vez para poder comparar:

Imagen original

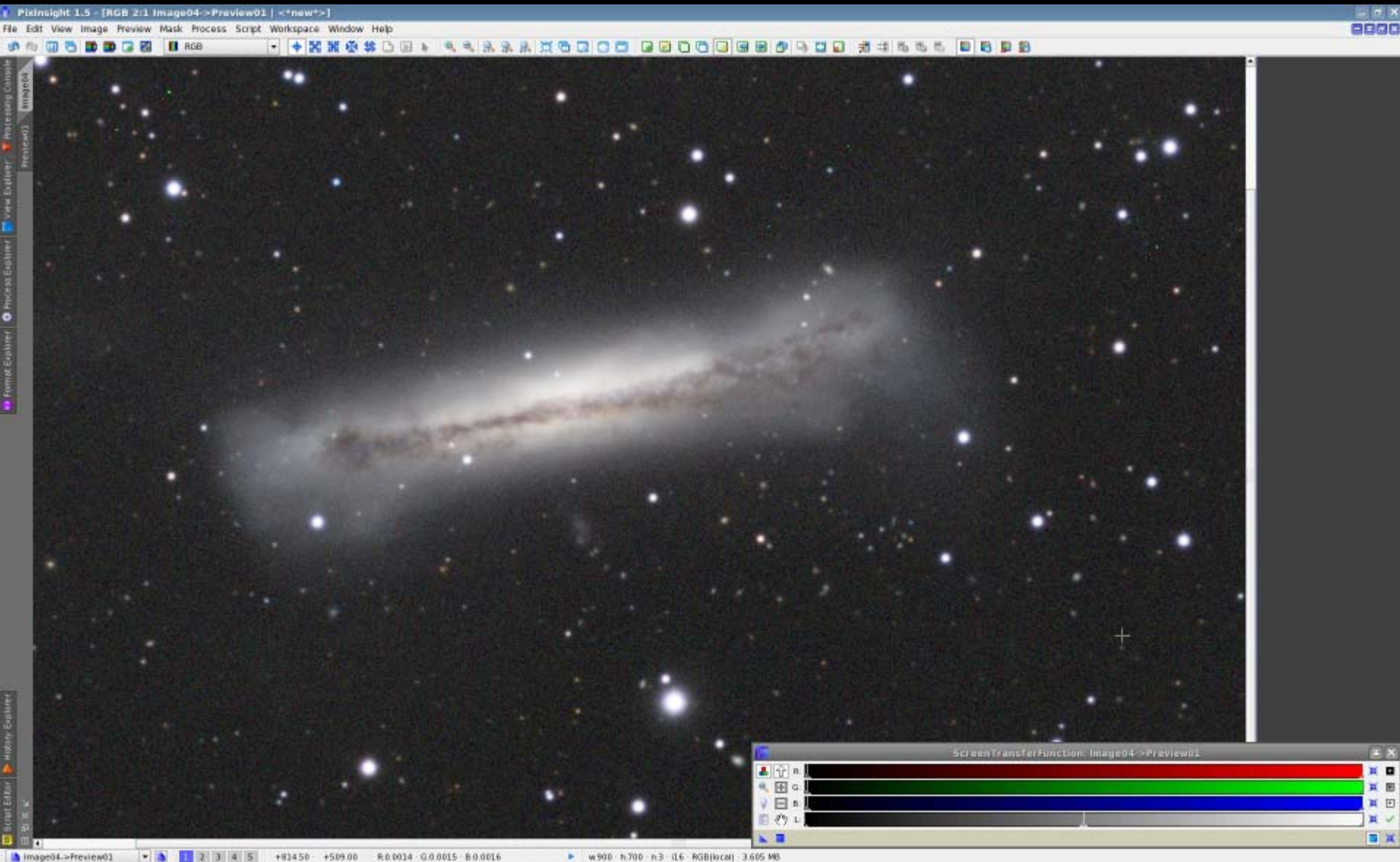


Imagen deconvolucionada con *deringing* global

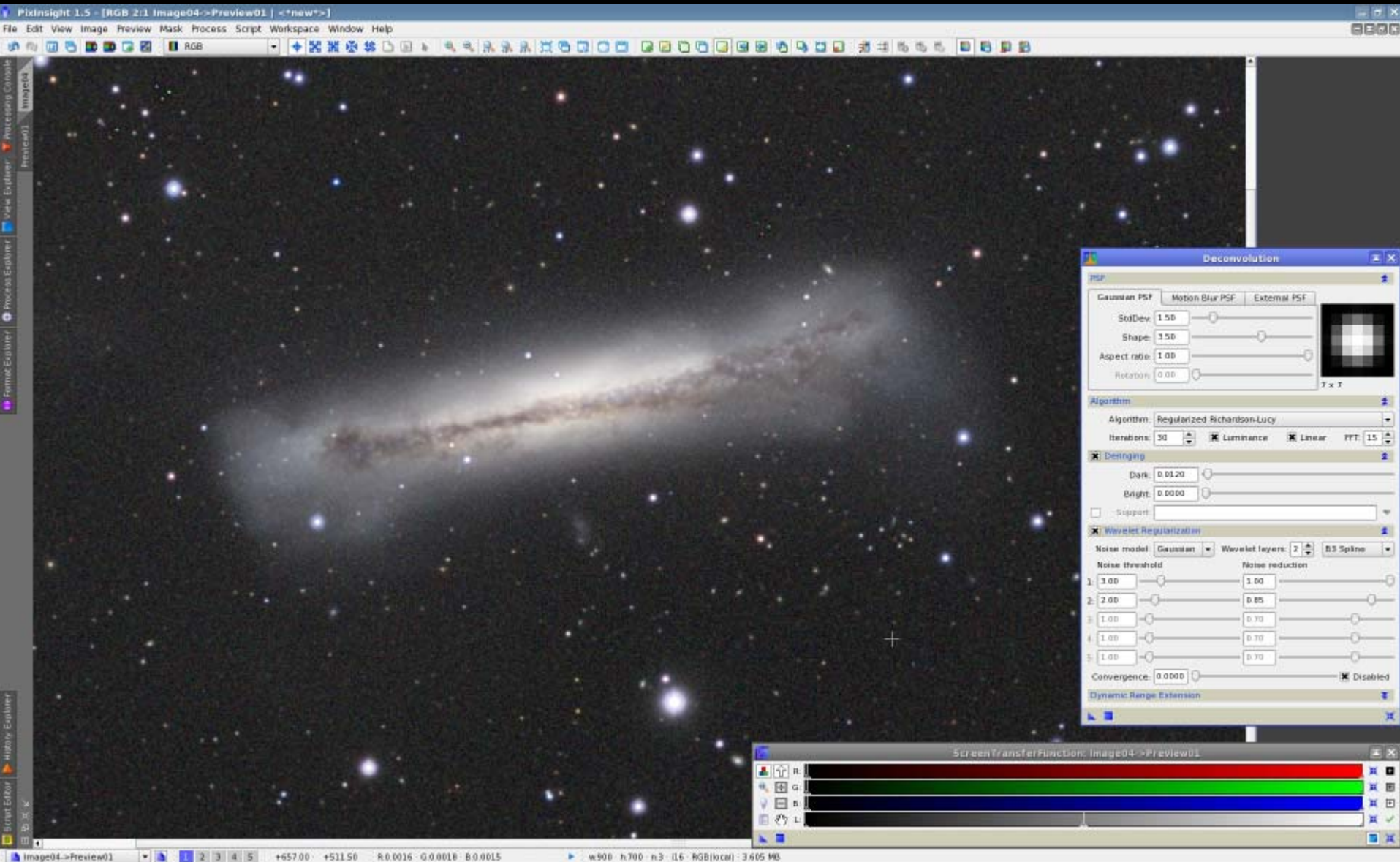
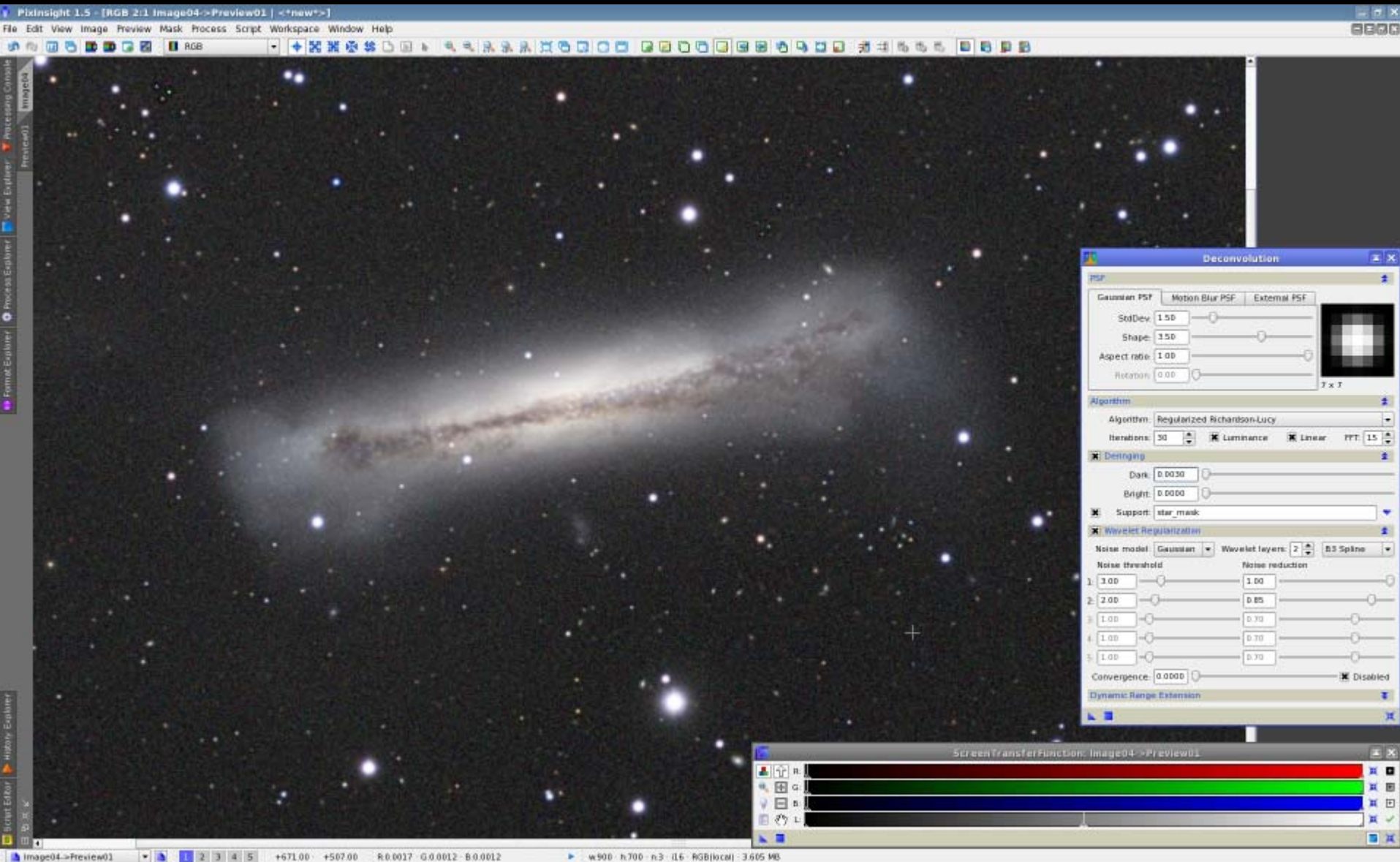
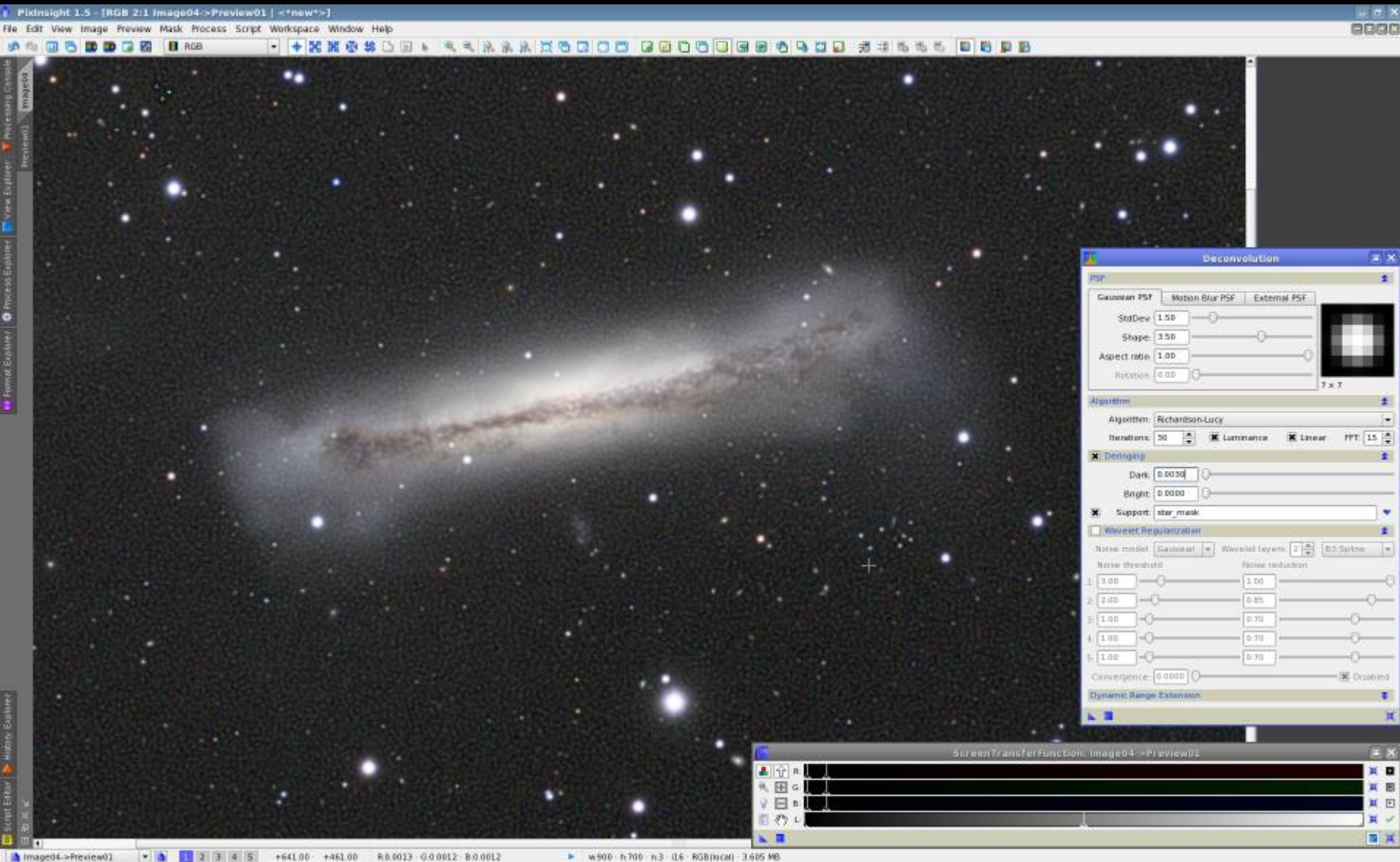


Imagen deconvolucionada con *deringing* global + *deringing* local



Finalmente, podemos ver lo que ocurre si desactivamos la regularización, lo cual nos da una clara idea de la eficiencia de la deconvolución regularizada previniendo la amplificación de ruido.



Ejemplo Deconvolución: imagen lunar

Ejemplo de aplicación de deconvolución a una imagen lunar de alta resolución.

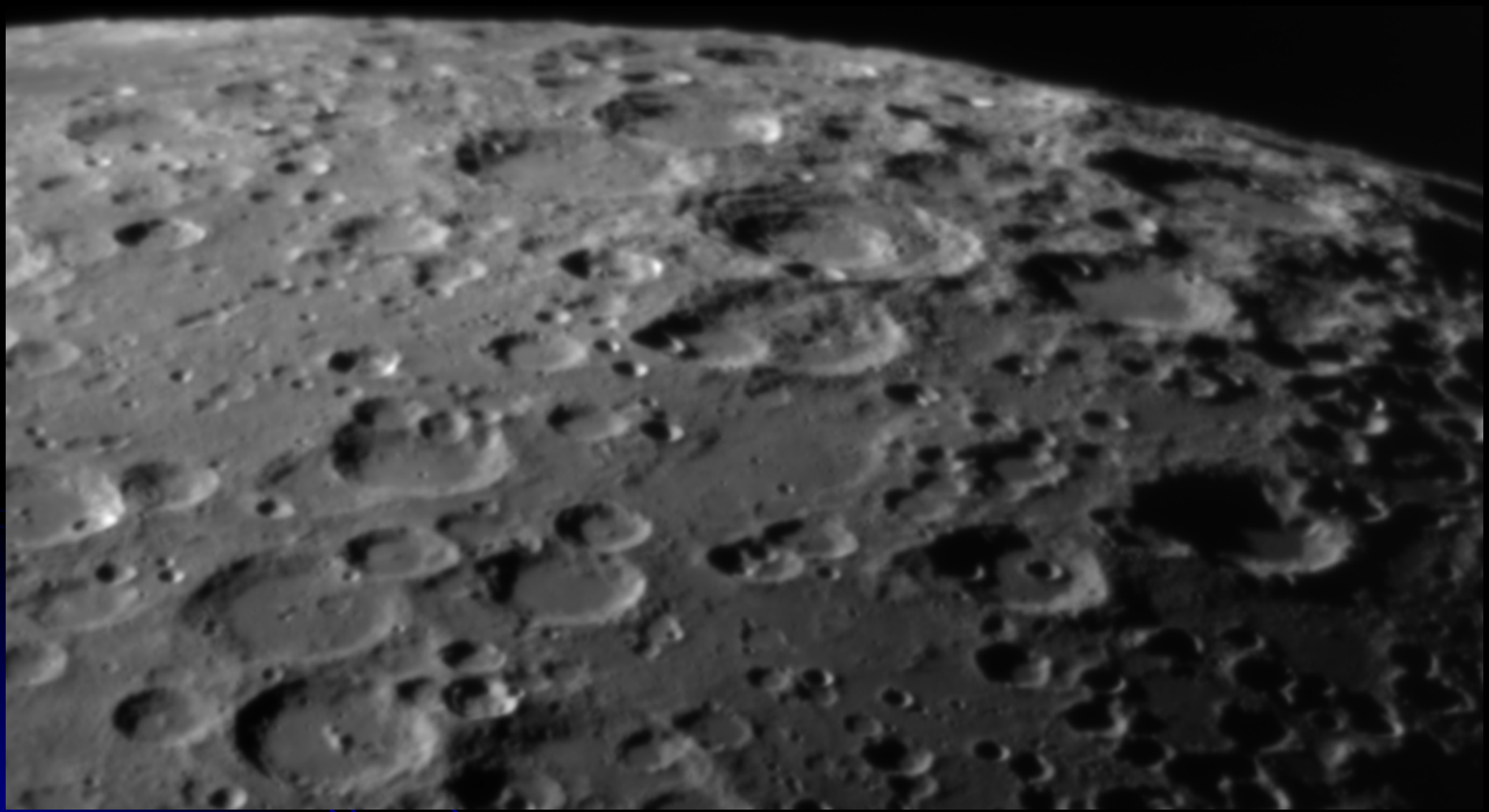
Imagen adquirida por Vicent Peris. Datos de adquisición:

- Takahashi Mewlon 210 trabajando a f/23 (longitud focal efectiva: 4830 mm).
- Barlow de fluorita de Baader Planetarium + filtro rojo.
- Video cámara Lumenera Lw290 monocroma (2 Megapixels).
- 1700 imágenes alineadas y apliladas con Registax 4 en modo multipoint.

La deconvolución se ha aplicado por medio del algoritmo Regularizado de Van Cittert con 200 iteraciones y PSF Sigma= 2.3, Shape= 1.0

(Ver como se llega a estos valores en el completo tutorial sobre esta imagen que se incluye en las Referencias)

Ejemplo de deconvolución de imagen lunar: imagen raw

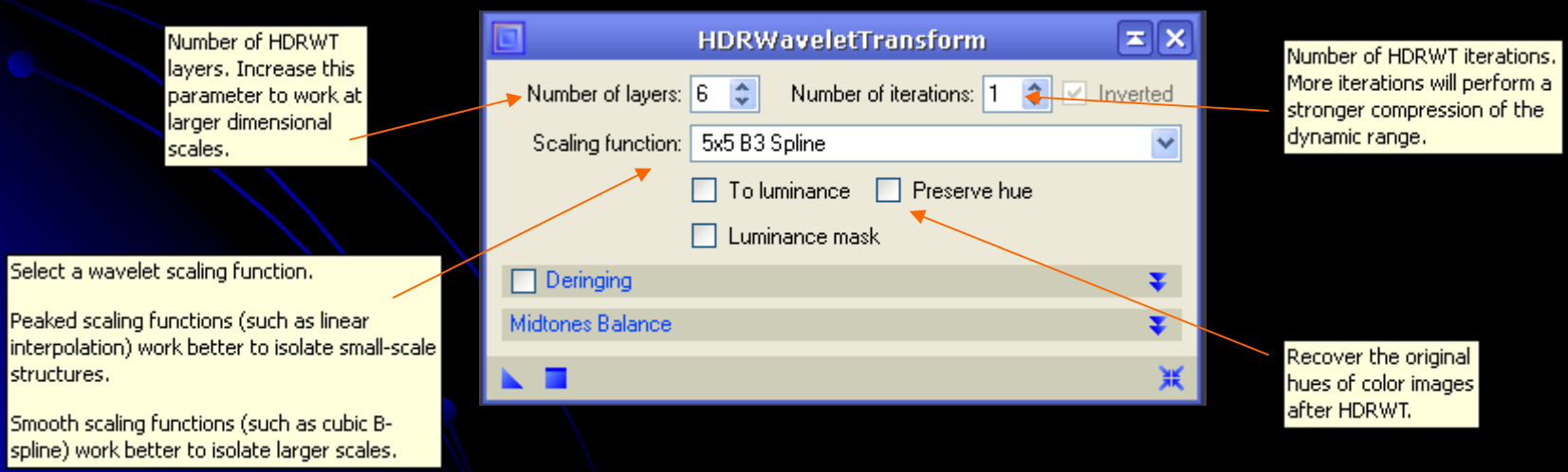


Deconvolución: Regularized Van Cittert, 200 iteraciones, PSF: sigma= 2.3, shape= 1.0



2. Herramientas avanzadas I (módulos): High Dynamic Range Wavelet Transform

- Revela fácilmente estructuras literalmente escondidas en imágenes con alto rango dinámico
- Puede actuar sobre todas las estructuras significativas de la imagen
- Trabaja mejor en imágenes no lineales
- No utilizar con previsualizaciones que no incluyan todo el rango de luminosidad presente en la imagen
- Interfaz de usuario:



High Dynamic Range Wavelet Transform

NGC5189 (Gemini Observatory South)

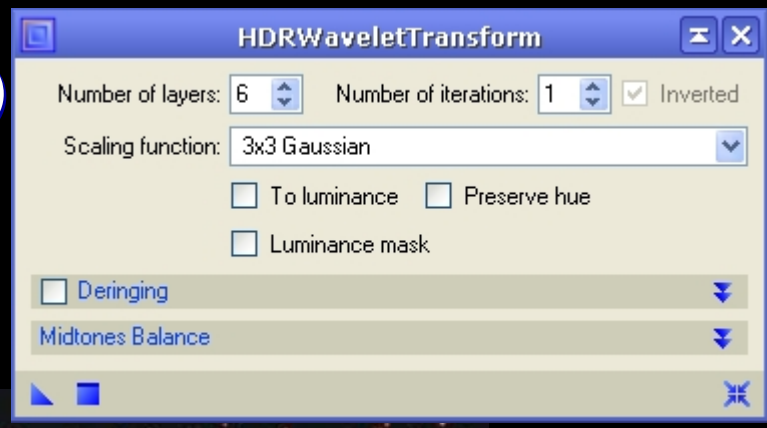
Imagen original



High Dynamic Range Wavelet Transform

NGC5189 (Gemini Observatory South)

Imagen tras HDRWT



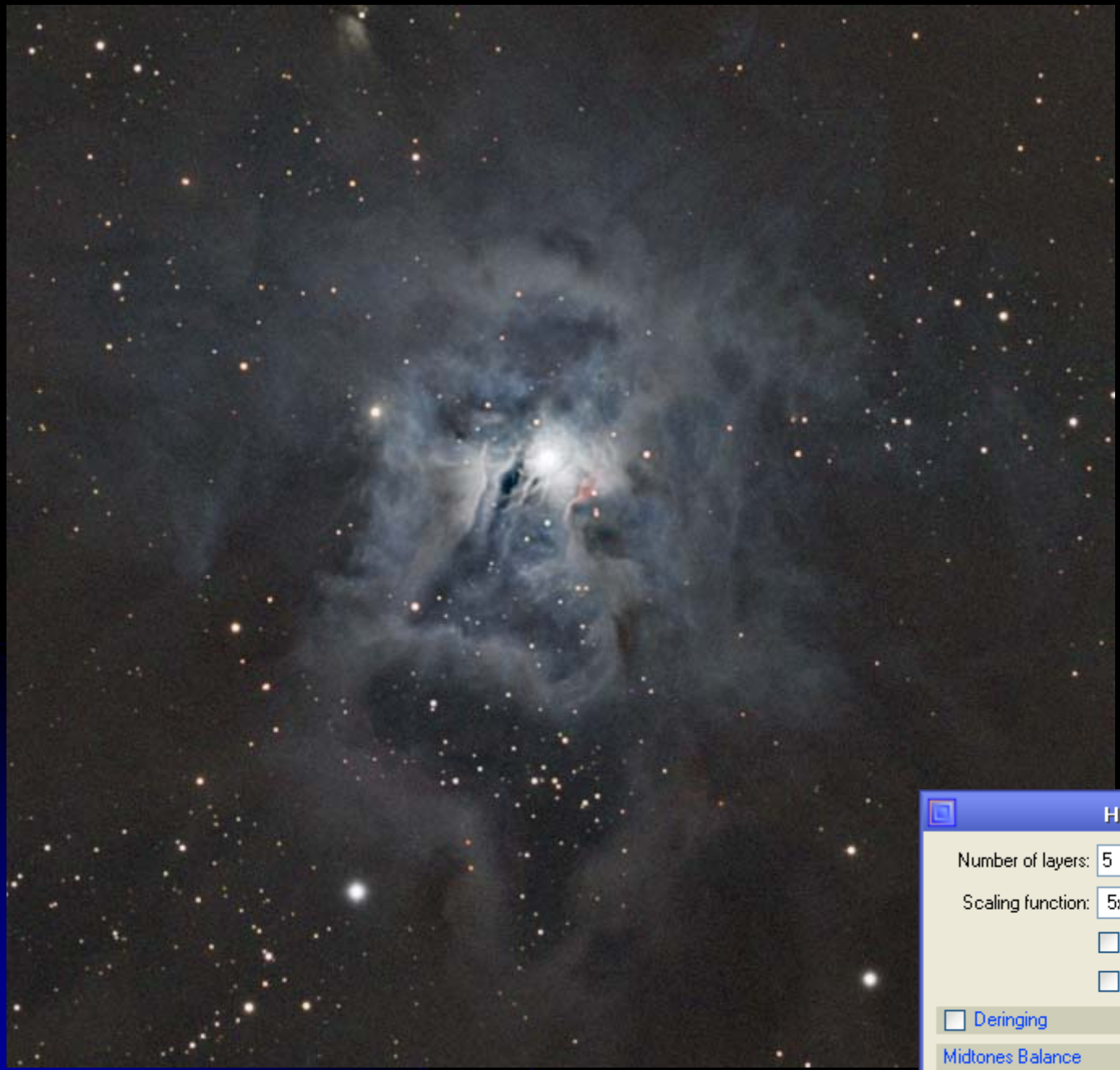




NGC7023 Iris nebula

TOA-150 STL-11000M

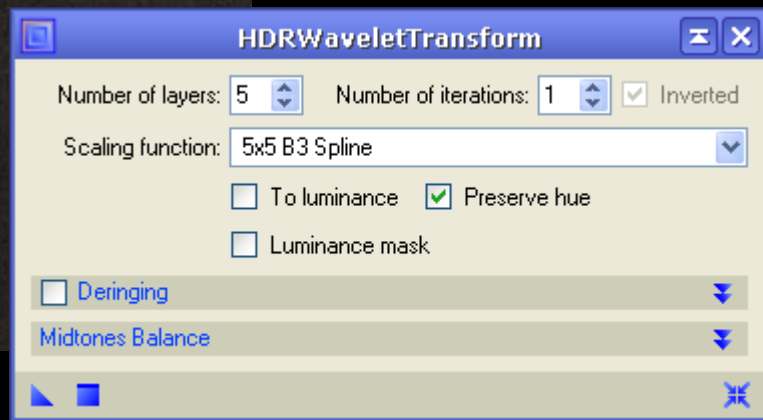
Àger, Agosto 2009



NGC7023 Iris nebula

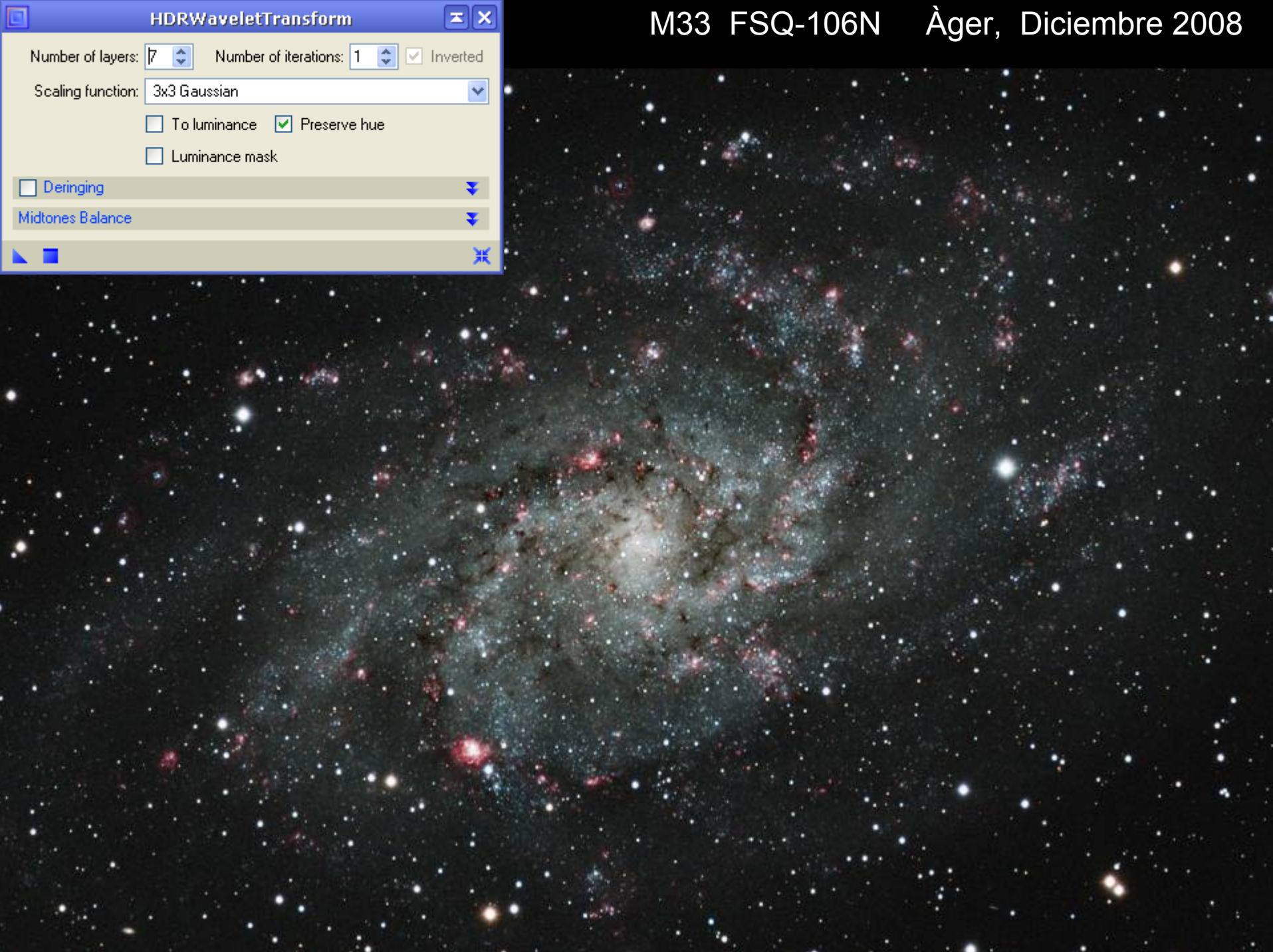
TOA-150 STL-11000M

Àger, Agosto 2009



M33 FSQ-106N Àger, Diciembre 2008

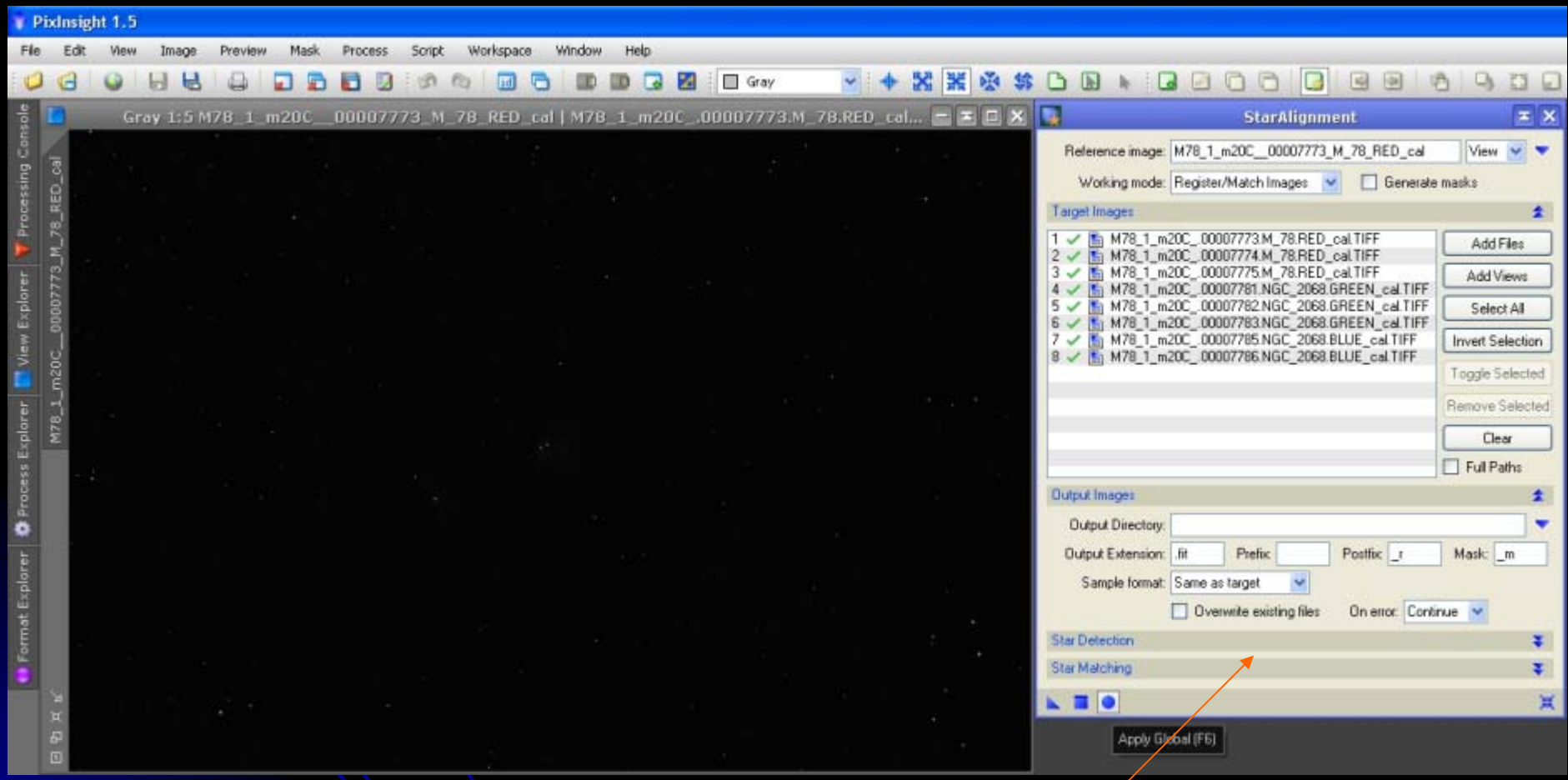



HDRWaveletTransform
Number of layers: 7
Number of iterations: 1
Inverted
Scaling function: 3x3 Gaussian
To luminance
Preserve hue
Luminance mask
Deringing
Midtones Balance
M33 FSQ-106N Àger, Diciembre 2008

2. Herramientas avanzadas I (módulos): Registro de imágenes: Star Alignment

- Herramienta de registro automatizado de imágenes empleando posiciones de pares de estrellas detectadas
- Capaz de registrar imágenes afectadas por traslación, rotación y cambios de escala arbitrarios, así como distorsiones locales moderadas
- Puede trabajar con un máximo de 65536 pares de estrellas (seleccionable por el usuario, limitado a 2000 pares por defecto)
- Los parámetros por defecto funcionan bien en la mayor parte de las ocasiones.
- Dos modos de registro:
  - Match mode (alineación). La imagen registrada tiene siempre la misma geometría que la imagen de referencia: es transformada (trasladada, girada, e interpolada) para hacerla coincidir con la imagen de referencia y recortada a las dimensiones de la misma.
  - Mosaic mode. En modo mosaico, ambas imágenes, referencia y destino, se colocan sobre un fondo de tamaño adecuado. La imagen de referencia no se interpola, simplemente se copian sus pixels. La imagen destino, es transformada e interpolada para hacerla coincidir (El resultado es un mosaico de dos imágenes sobre un fondo negro).
- El proceso de interpolación incorpora un mecanismo especial para evitar artefactos (valores de pixel negro puro) en transiciones de brillo fuertes como las que se dan en imágenes CCD

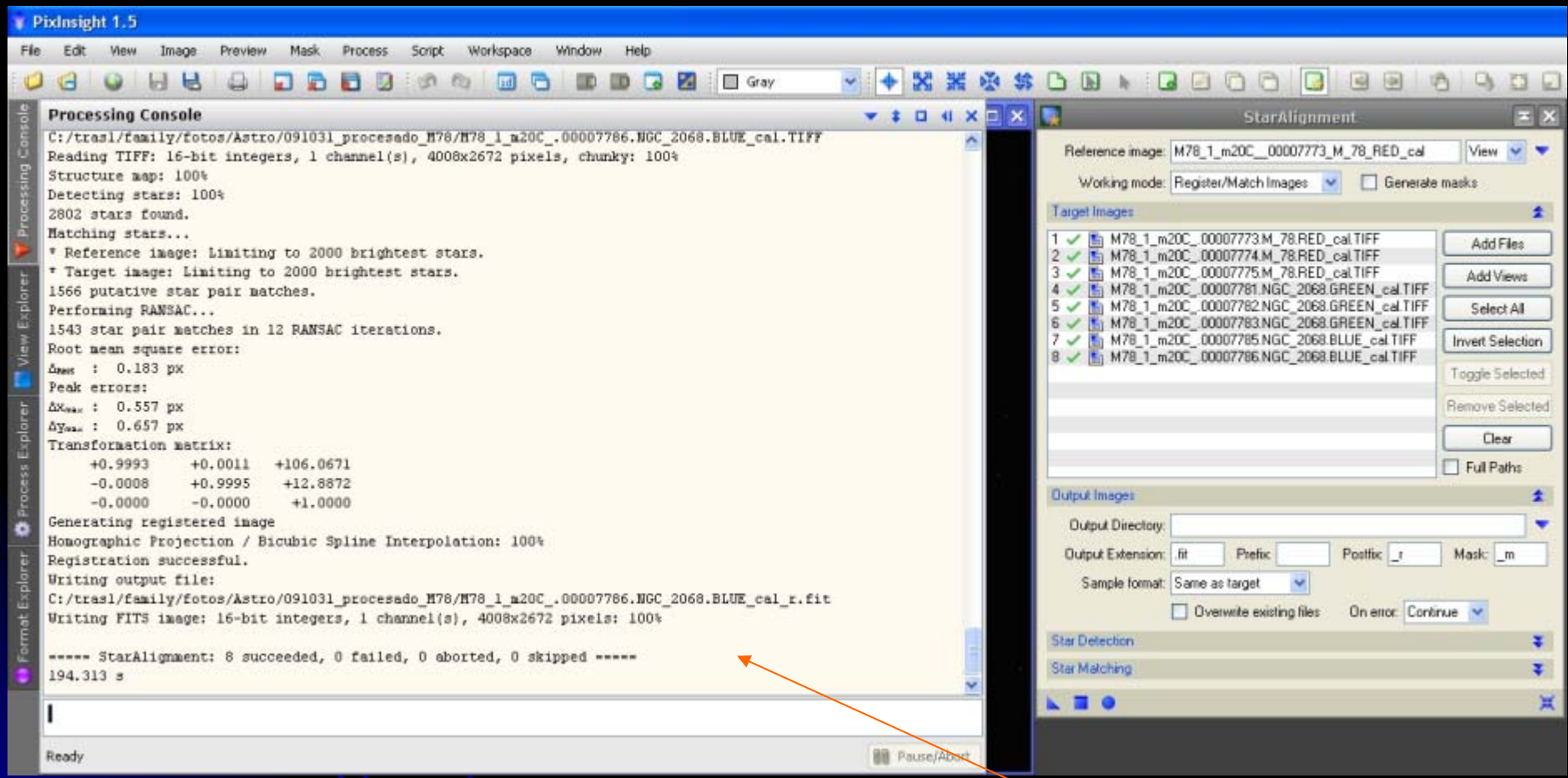
2. Herramientas avanzadas I (módulos): Registro de imágenes: Star Alignment



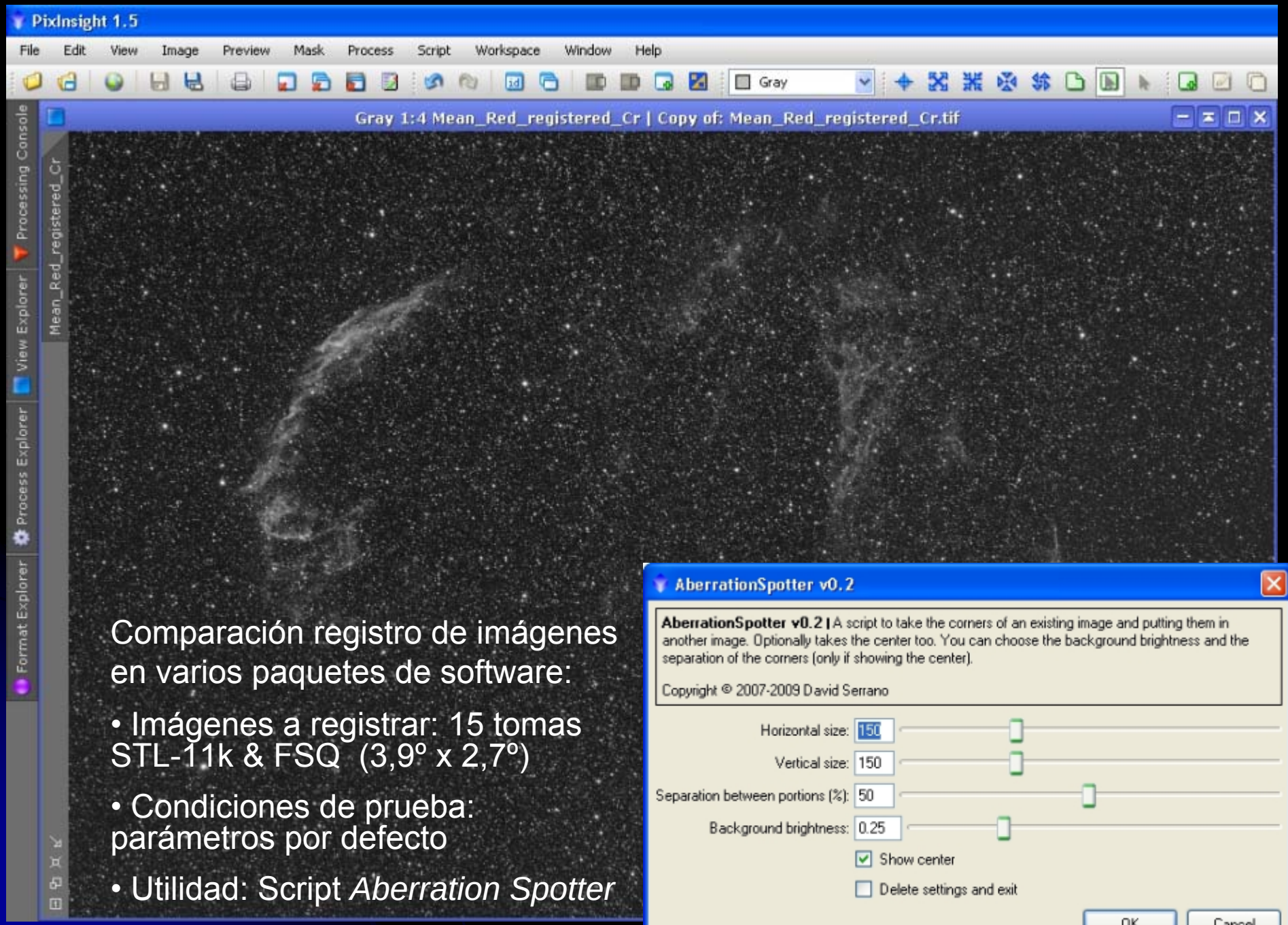
Ejemplo de Interfaz de usuario mostrando:

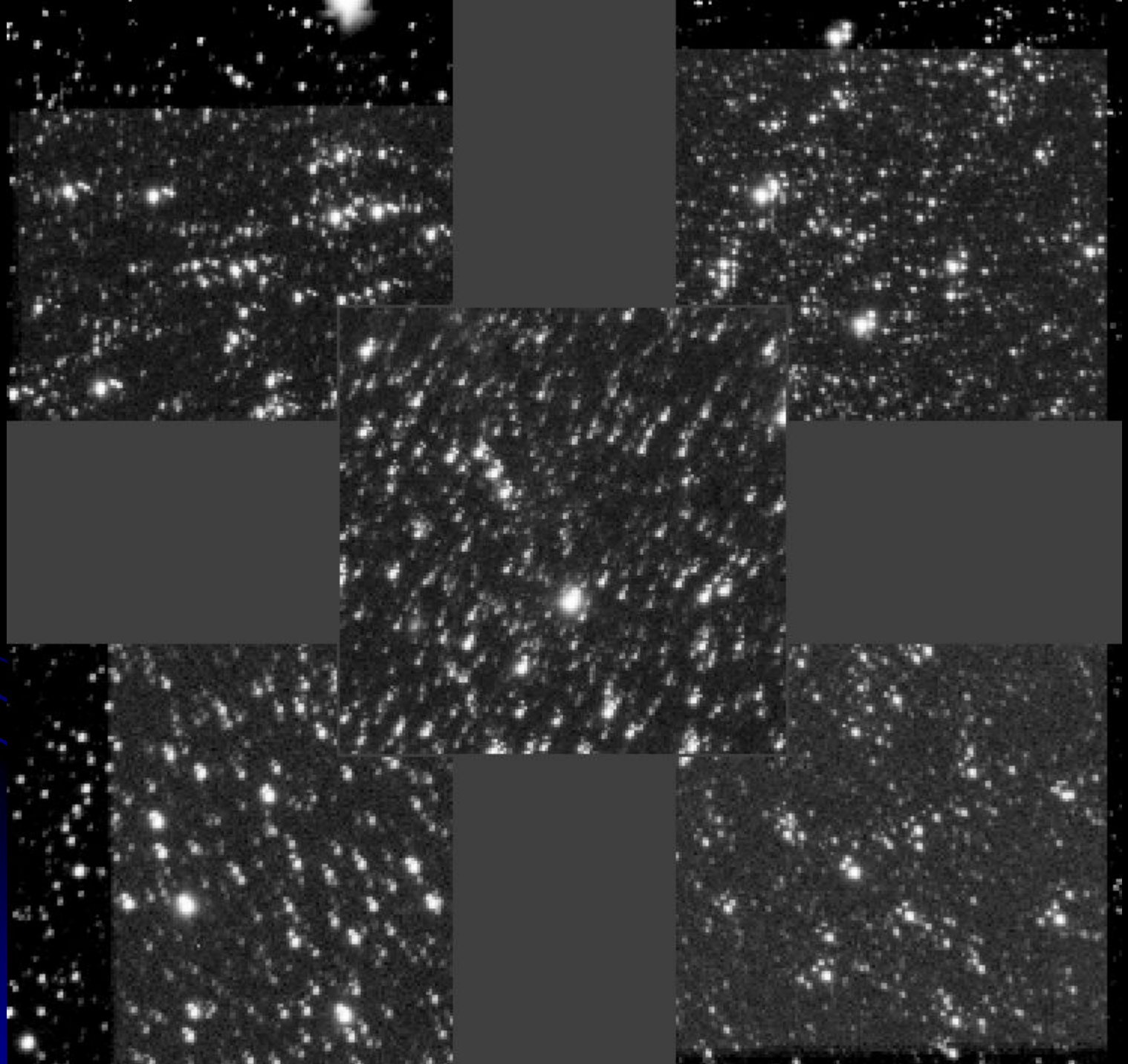
- Imagen de referencia (vista)
- 8 imágenes a registrar (en disco)
- Parámetros por defecto

2. Herramientas avanzadas I (módulos): Registro de imágenes: Star Alignment

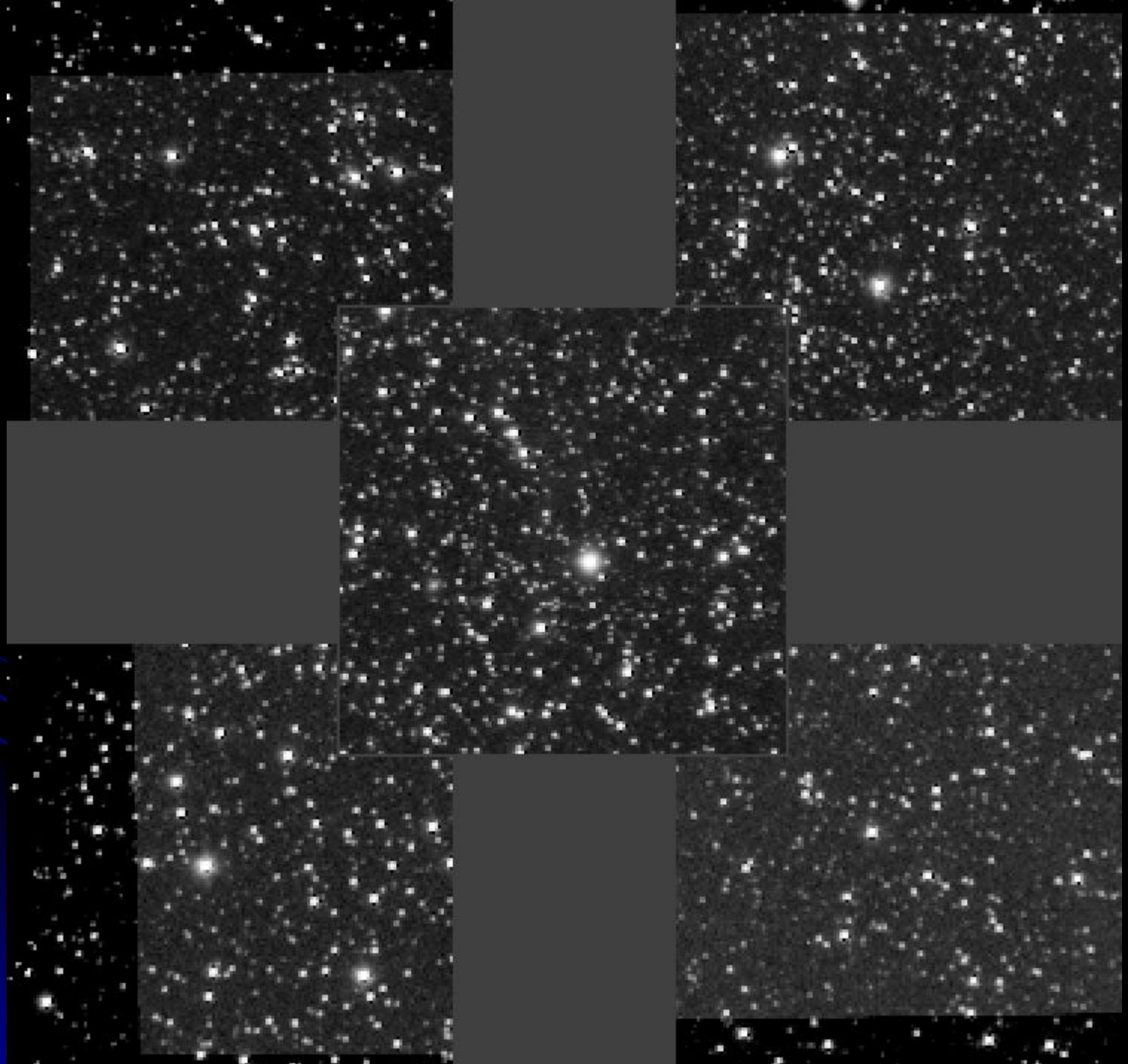


Consola de proceso mostrando información sobre el proceso de registro realizado

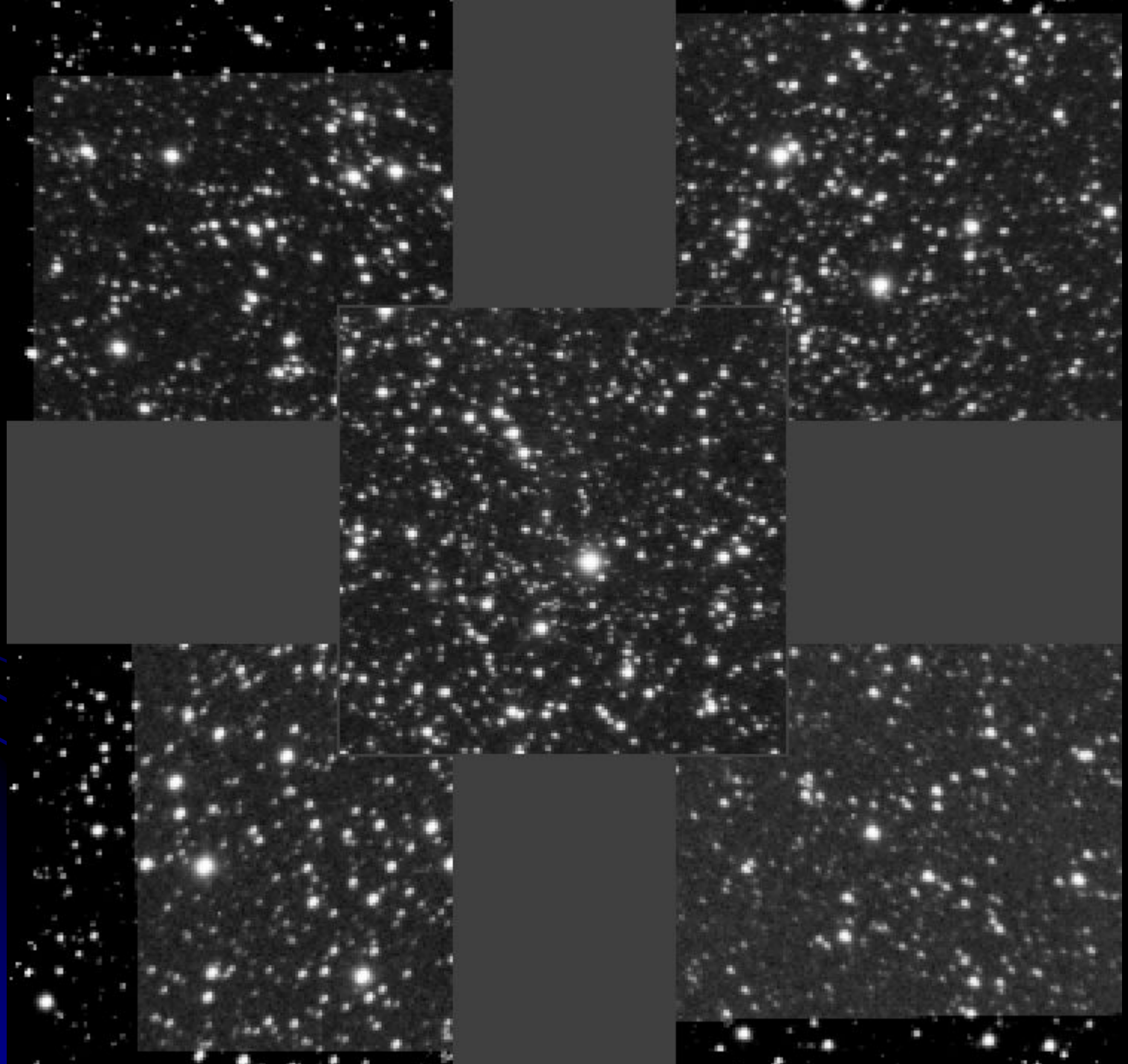

PixInsight 1.5
File Edit View Image Preview Mask Process Script Workspace Window Help
Gray
Gray 1:4 Mean_Red_registered_Cr | Copy of: Mean_Red_registered_Cr.tif
Processing Console
View Explorer
Process Explorer
Format Explorer
Mean_Red_registered_Cr
Comparación registro de imágenes en varios paquetes de software:
• Imágenes a registrar: 15 tomas STL-11k & FSQ (3,9º x 2,7º)
• Condiciones de prueba: parámetros por defecto
• Utilidad: Script *Aberration Spotter*
AberrationSpotter v0.2
AberrationSpotter v0.2 | A script to take the corners of an existing image and putting them in another image. Optionally takes the center too. You can choose the background brightness and the separation of the corners (only if showing the center).
Copyright © 2007-2009 David Serrano
Horizontal size: 150
Vertical size: 150
Separation between portions (%): 50
Background brightness: 0.25
Show center
Delete settings and exit
OK
Cancel



Soft A



Soft B



Soft C



PI Star Alignment

2. Herramientas avanzadas I (módulos): Registro de imágenes: Star Alignment

- Valores FWHM de la imagen combinada (antes del estirado):
  - Paquete software A: 1.57
  - Paquete software B: 1.43
  - Paquete software C: 1.46
  - PI StarAlignment: **1.39**



Soft D



PI Star Alignment

2. Herramientas avanzadas I (módulos): Registro de imágenes: Star Alignment

- Valores FWHM de la imagen combinada RGB (antes del estirado):
  - Paquete software D: 1.67
  - PI StarAlignment: 1.49

2. Herramientas avanzadas I (módulos): Otros módulos de interés….

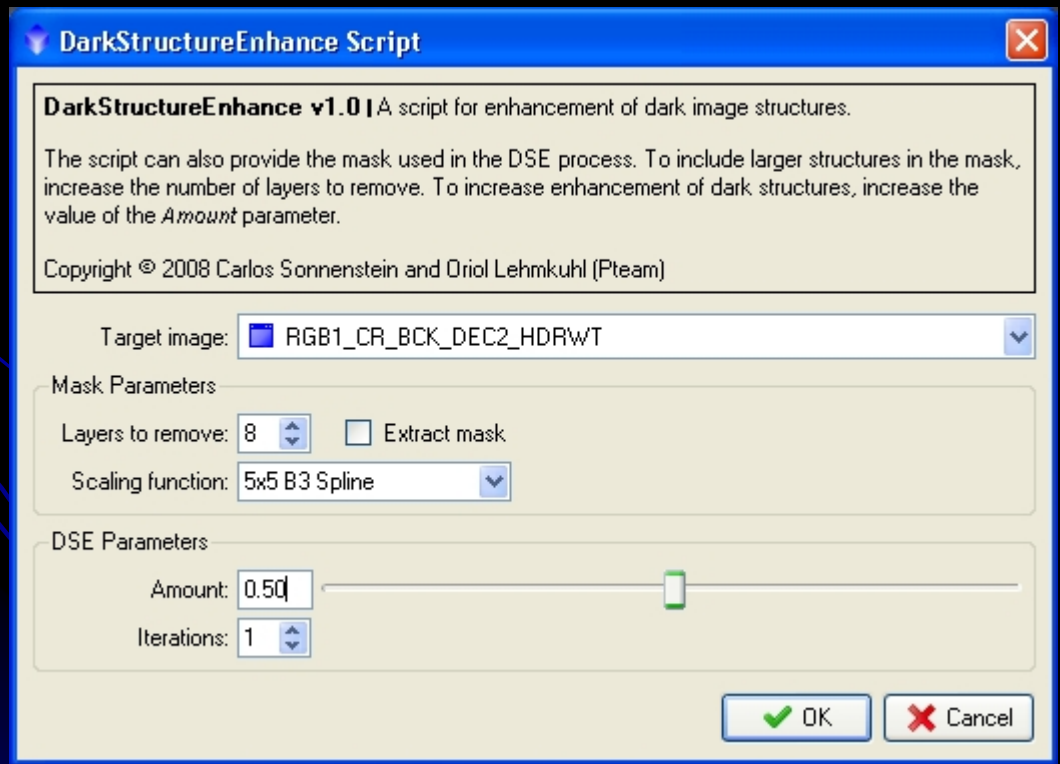
- **À trous wavelets**
  - No tratado de forma directa pero presente en prácticamente todas las herramientas / técnicas comentadas
- Combinación de tomas: **ImageIntegration**
  - No tratado por falta de tiempo: excelente rechazo de *outliers*
- Calibración de color: **ColorCalibration**
  - Visto parcialmente en presentación Técnicas RGB
- Reducción de ruido: **ACDNR**
  - Visto parcialmente en presentación Técnicas RGB: muy buenas capacidades de reducción de ruido tanto en luminancia como en crominancia protegiendo estructuras significativas
- **PixelMath**
  - No tratado por falta de tiempo: herramienta muy versátil

3. Herramientas avanzadas II
Scripts en PixInsight

- El *PixInsight's JavaScript Runtime Environment* (PJSR) permite a los usuarios crear su propio juego de herramientas para satisfacer sus necesidades específicas
- En estas presentaciones ya hemos visto algunos ejemplos de *scripts* desarrollados por diferentes personas, tanto ligadas al entorno de desarrollo del programa como puros usuarios del mismo:
  - Masked Strech (visto en presentación Técnicas RGB)
  - Preview agregator (visto en presentación Técnicas RGB)
  - DeconvolutionPreview (visto en Deconvolución)
  - Aberration spotter (visto en StarAlignment)
- vamos a ver algunos más

3. Herramientas avanzadas II (Scripts)
Dark Structure Enhance

- El objetivo del algoritmo DarkStructureEnhance (DSE) es realzar las estructuras oscuras de los objetos de cielo profundo
- DSE se basa la obtención de una máscara mediante procesamiento por wavelets. La máscara generada permite aislar eficazmente de la imagen principal las estructuras oscuras de los objetos
- La interfaz de usuario incluye dos juegos de parámetros, uno para la definición de la máscara y otro para el realce de las estructuras oscuras:





NGC7023 Iris nebula

TOA-150 STL-11000M

Àger, Agosto 2009

(Tras HDRWT)



NGC7023 Iris nebula

TOA-150 STL-11000M

Àger, Agosto 2009

NGC5189 (Gemini Observatory South)
(Imagen tras HDRWT)



NGC5189 (Gemini Observatory South)





IC1396

FSQ STL-11000M

Àger, Octubre 2008



IC1396

FSQ STL-11000M

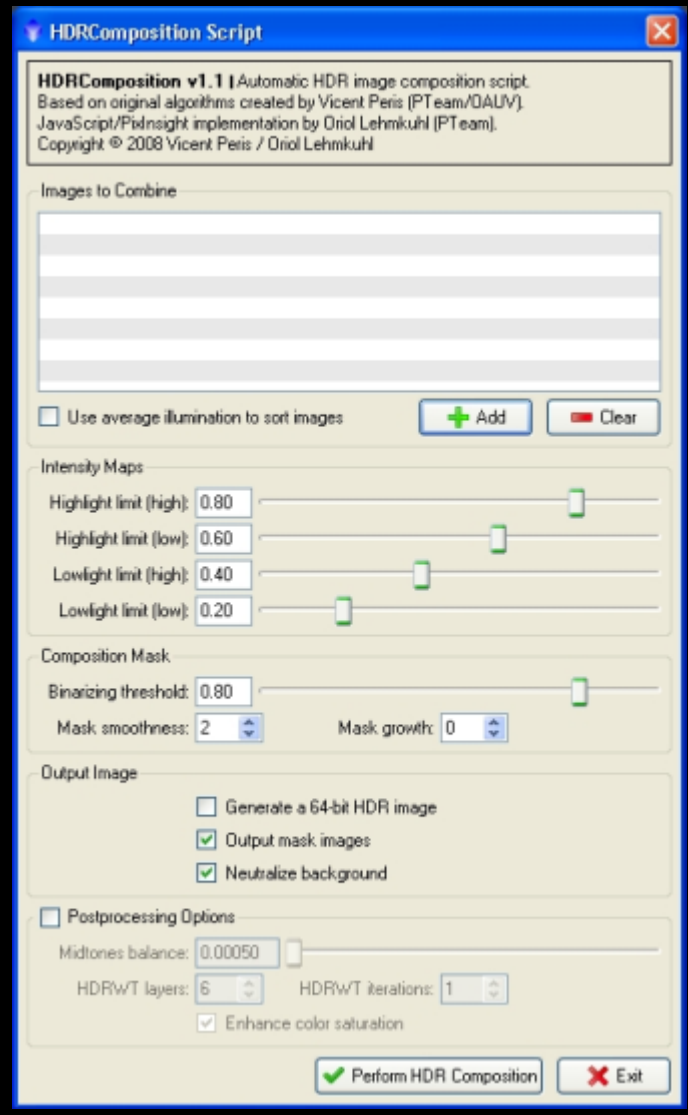
Àger, Octubre 2008



Máscara generada por el *script*

3. Herramientas avanzadas II (Scripts)
High Dynamic Range composition

- El objetivo del algoritmo HDR Composition es componer, de forma automatizada, una imagen de alto rango dinámico a partir de tomas (lineales) con diferentes exposiciones
- Para componer la imagen HDR, cada imagen individual es multiplicada por un factor para igualar el nivel de iluminación de las otras imágenes
- Para encontrar ese factor, el algoritmo compara las diferencias de iluminación en las mismas zonas de parejas de imágenes
- El algoritmo genera de forma automática máscaras sobre las zonas saturadas de cada imagen
- A continuación superpone la toma de menor exposición sobre la zona saturada de la siguiente a través de la correspondiente máscara. El proceso se repite para todas las imágenes, formando una especie de pirámide con la toma de menor exposición en la parte superior y la de mayor exposición en la base





M42

FC-100 Canon 300D

José Luis Lamadrid

Vicent Peris



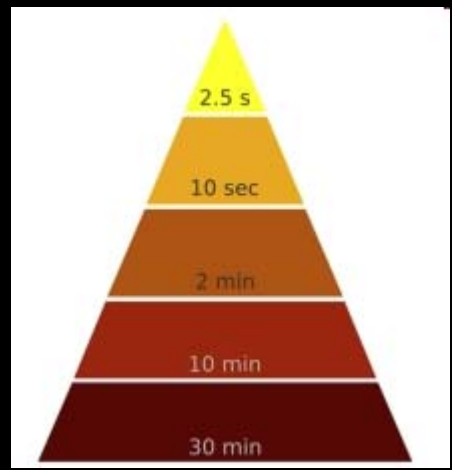


M42

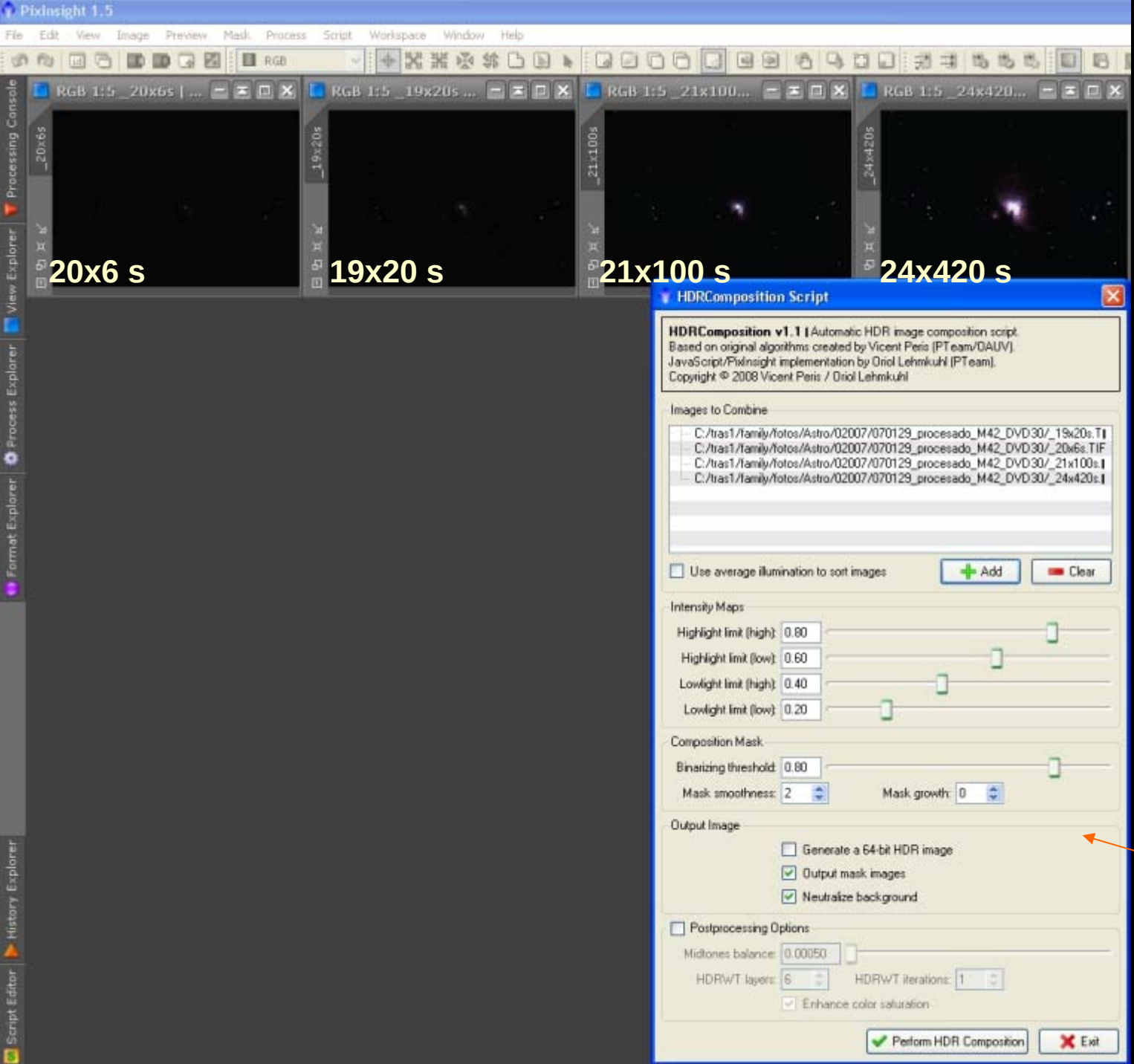
FC-100 Canon 300D

José Luis Lamadrid

Vicent Peris



En este ejemplo la imagen de 30 min se ha multiplicado por 0.004 para igualar el nivel de iluminación de la de 2.5 segundos

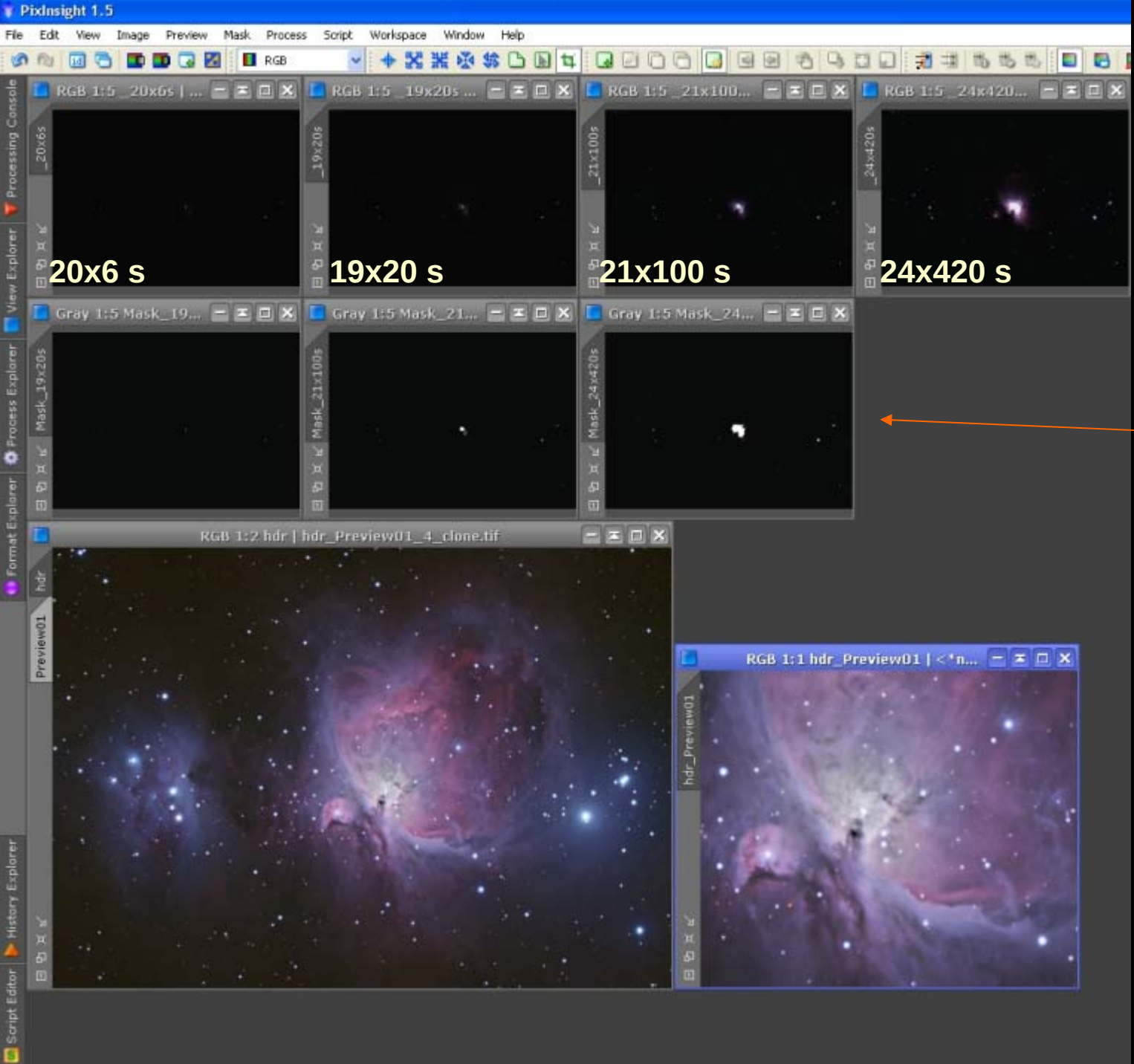


M42

FSQ Canon 20Da

Àger, Enero 2007

Parámetros por defecto



M42

FSQ Canon 20Da

Àger, Enero 2007

Máscaras generadas por el script

3. Herramientas avanzadas II : Otros Scripts de interés: utilidades

- Preview agregator (visto su uso en presentación Técnicas RGB)
- DeconvolutionPreview (visto en Deconvolución)
- Aberration spotter (visto su uso en StarAlign)

4. Mis conclusiones

Puntos fuertes (progresa adecuadamente….)

- Capacidades de procesamiento superiores, en muchos casos no igualadas por otros paquetes de software en el mercado
- Aplicación multiplataforma (Linux, Mac, Windows) con un entorno de desarrollo abierto y público que permite aportaciones muy valiosas de los usuarios
- Soporte on line muy bueno: discusiones iniciadas en su foro se han traducido en poco tiempo en un nuevo módulo o script
- Precio. Si, he dicho precio: no es barato pero su precio es por ejemplo de 4 a 5 veces más bajo que una licencia de Photoshop
- Posibilidades de expansión: tremendas, desde que compré la licencia se ha añadido una multitud de nuevas e interesantímas herramientas (sin ningún pago adicional)
- Interface muy atractiva: Aunque reconozco que una interface no standard puede desanimar a algunos usuarios potenciales, en mi caso es todo lo contrario, y la experiencia me indica que en poco tiempo los nuevos usuarios están encantados con ella

Puntos débiles (necesita mejorar….)

- Documentación: necesita desesperadamente de una acción (Hay mucha información, pero está muy fragmentada y dispersa > está en curso un proyecto Wiki)
- Está en inglés: Esto no es un problema en mi caso (y hasta puedo decir que comprendo la decisión inicial), pero desde un punto de vista de marketing no disponer de una plataforma multilenguaje creo que es un error que le resta ventas en un mercado natural (Por ejemplo creo que habría que pulir algunos detalles en la relación con el usuario: la comunicación oficial del magnífico script HDR o algunos anuncios de nuevas versiones están únicamente en inglés).
- Se echa en falta un módulo, teóricamente sencillo, como es el de Calibrado: aunque la función se puede realizar con las herramientas existentes (PixelMath) un módulo específico facilitaría mucho el trabajo

Mi conclusión

- *Taking all into account*….no trabajaría con otro software de procesamiento de imágenes por nada del mundo!!

Referencias

- Procesamiento multiescala:
  - Vicent Peris: “Introducción al procesamiento a Gran Escala”, *Astronomía nº 80*, Febrero 2006.
  - Vicent Peris: “NGC 7331 with Calar Alto 3.5-meter Telescope: Processing notes”:
    - http://pixinsight.com/examples/NGC7331-CAHA/en.html
- Deconvolución:
  - Jean-Luc Starck & Fionn Murtagh: “Astronomical Image and Data Analysis” (1st and 2nd edition), Springer, 2002 and 2006,
  - Richard Berry & James Burnell: “The Handbook of Astronomical Image Procesing”, 2nd edition, Willmann-Bell, 2005
- Deconvolución con PixInsight:
  - Juan Conejero: “NGC 5189 from Gemini Observatory South: Deconvolution and HDRWaveletTransform in PixInsight”:
    - http://pixinsight.com/examples/deconvolution/Gemini-NGC5189/en.html
  - Juan Conejero: “Deconvolution of a High-Resolution Lunar Image”:
    - http://pixinsight.com/examples/deconvolution/moon/en.html
- Otros recursos:
  - Antonio Fernández: “Relación Señal-Ruido en Astrofotografía Digital de Cielo Profundo”:
    - http://astrosurf.com/afernandez/equipment/ccd/snr_v100_web.htm

Muchas gracias a tod@s por su atención!!

Jordi Gallego

www.astrophoto.es