

Alto Rango Dinámico

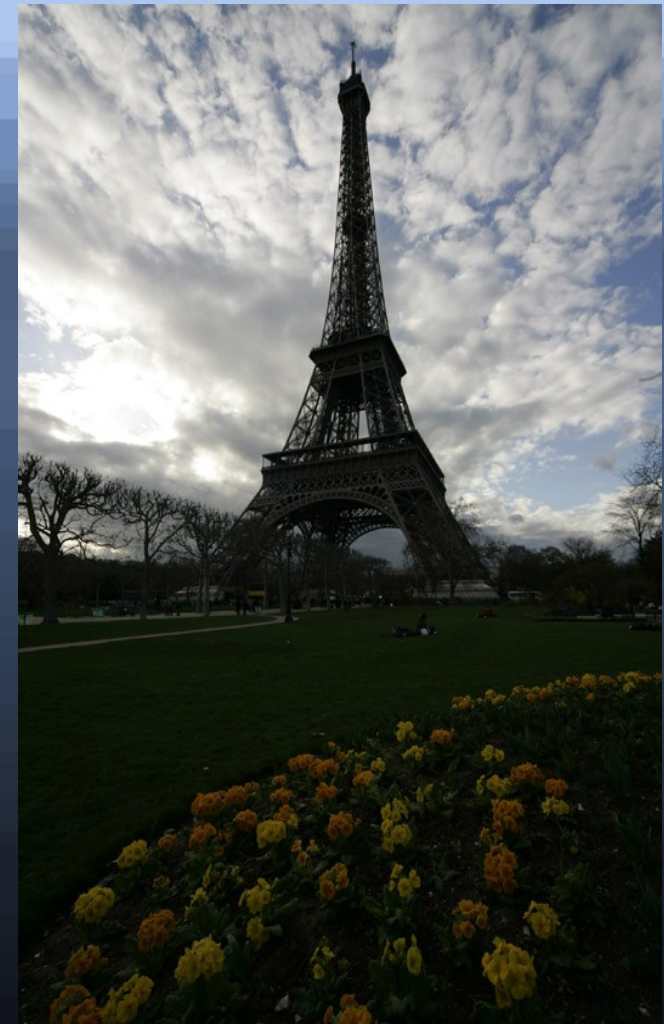
Carlos Milovic F.^{1,2}

1: PixInsight Development Team, Pleiades Astrophoto S.L.

2: Biomedical Imaging Center, Pontificia Universidad Católica de Chile

¿Cuál es el problema?

Escenarios con alto contraste



“Se veía mejor en persona... es culpa de la cámara...”

Visión humana

- El rango dinámico que vemos es muy grande. Mayor que el capturado por dispositivos electrónicos.
- Rango total de hasta 1/1,000,000,000.
- Una pantalla LCD puede mostrar solo 1/11000.
- Cámaras de 14bits tienen solo 16384 niveles.
- Un JPEG guarda 256 niveles.
- Papel: ~ 100 niveles.
- Ojo es muy versátil: rápida capacidad de adaptación. Iris actúa como diafragma dinámico.
- El cerebro procesa la imagen, y equilibra intensidades y tonos.
- Cerebro también puede atenuar texturas o patrones.

Desafío: Imitarlo

- PROBLEMA 1:

Incrementar el rango dinámico de las imágenes.

Tener toda la información en una sola imagen.

- PROBLEMA 2:

Mapeo de los valores.

Simular visión adaptativa del ojo.

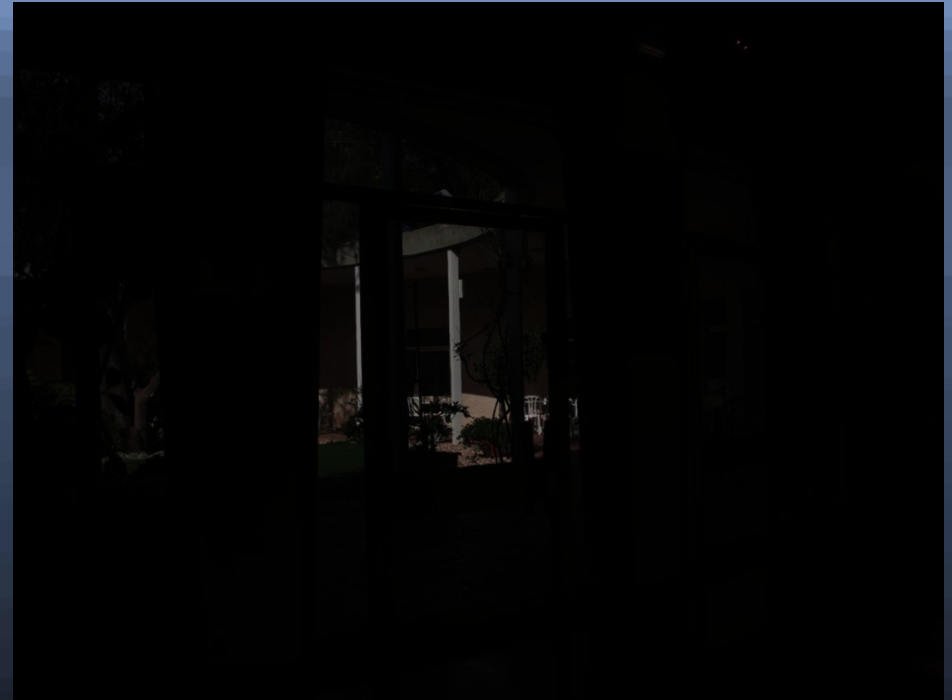
Incrementar contraste local, y mejorar colores.

Contener los datos

Radiance Map

- Imagen lineal. Valor de píxeles proporcional a intensidad en la escena.
- Gran profundidad de bits, en punto flotante (32 o 64).

¿Cómo construir este mapa?



Planificar captura



Ejemplo: secuencia de 1/1000s a 1/4s

Consejo:
Usar formato RAW



- Mayor rango dinámico.
- Datos lineales (intensidad proporcional al tiempo de captura).

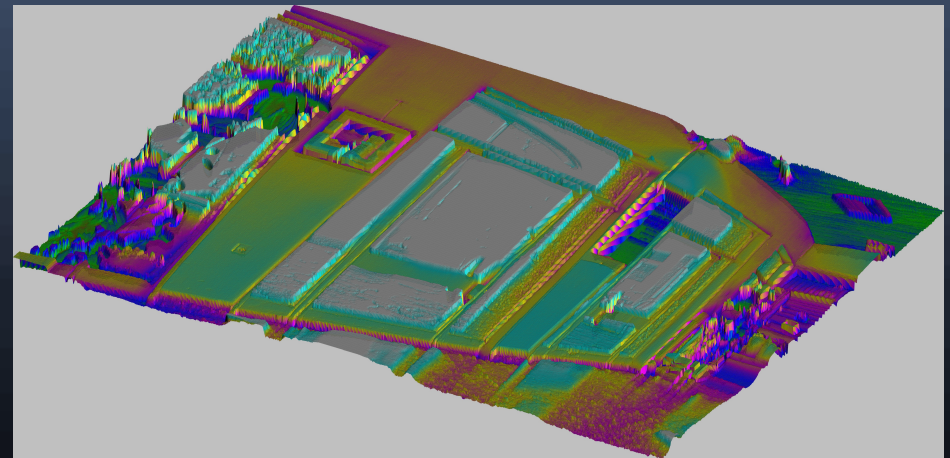
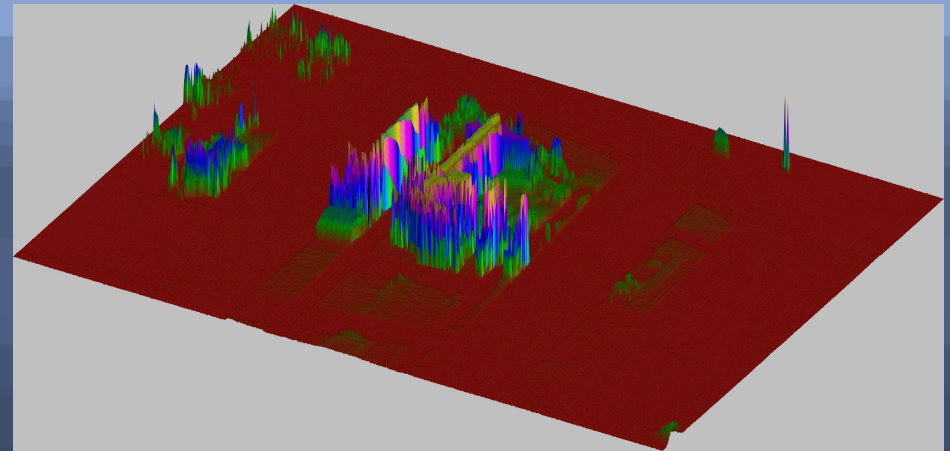
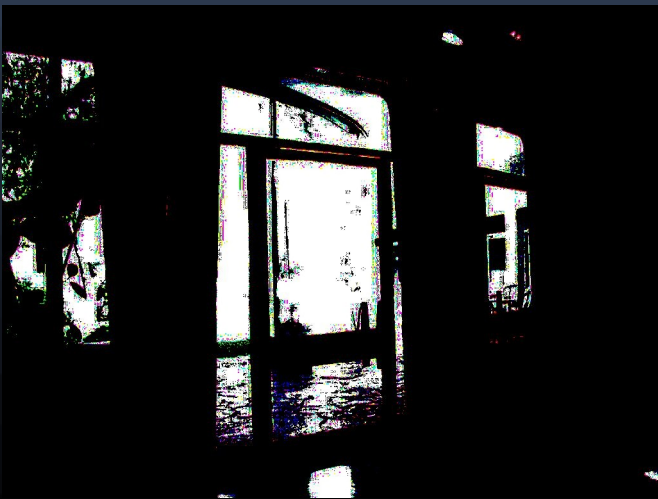
¿Por qué no usar solo una imagen?

- Problema de cuantización: simplemente no existe suficiente información en las sombras para poder ser desplegada correctamente.
- Ruido: la relación señal/ruido depende de la intensidad. Típicamente, para un sensor CCD, la SNR depende de la raíz cuadrada de la intensidad.



Combinar – Método básico

- Rescalar imágenes para igualar valores de las intensidades.
- Reemplazar sucesivamente a partir de la del tiempo de exposición más largo las zonas saturadas (usar máscaras o umbral)



Matemáticamente...

- Si el sensor es lineal, escalar la información es simple. La intensidad es proporcional a dos factores:
 - Tiempo de exposición (linealmente)
 - Obsturación (f/stop, cuadrático)
- Importante trabajar con ratios RAW
- Conviene usar la toma de más corta exposición como referencia.
- Transformar a variables tipo double o float, en el rango normalizado.
- Multiplicar por $t[n]/t[i]$ (n corresponde a la exposición más corta)
- El mismo factor nos dice el punto de saturación reescalado.

Matemáticamente...

- La imagen final se compondrá con los trazos:

```
for (int i = n; i>0; i--)
```

```
    if ( Pixel[i](x,y) < t[i]/t[n] )
```

```
        Result(x,y) = Pixel[i](x,y)
```

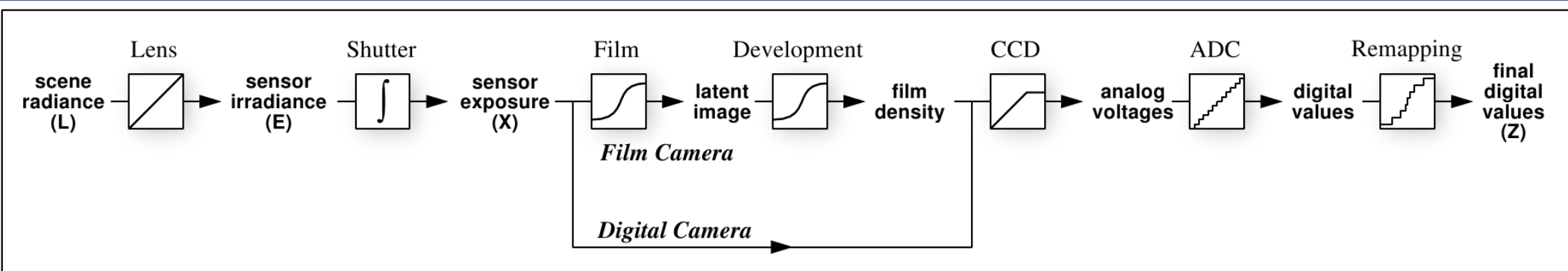
- Estamos siempre aprovechando la información no saturada, con mejor SNR.

- En la práctica esto puede generar problemas en los “bordes” en las zonas de transición.
- Usar función para combinar información en un rango alrededor de la zona de saturación.

- Matriz con pesos y luego sumar.

¿Y si las imágenes no son lineales?

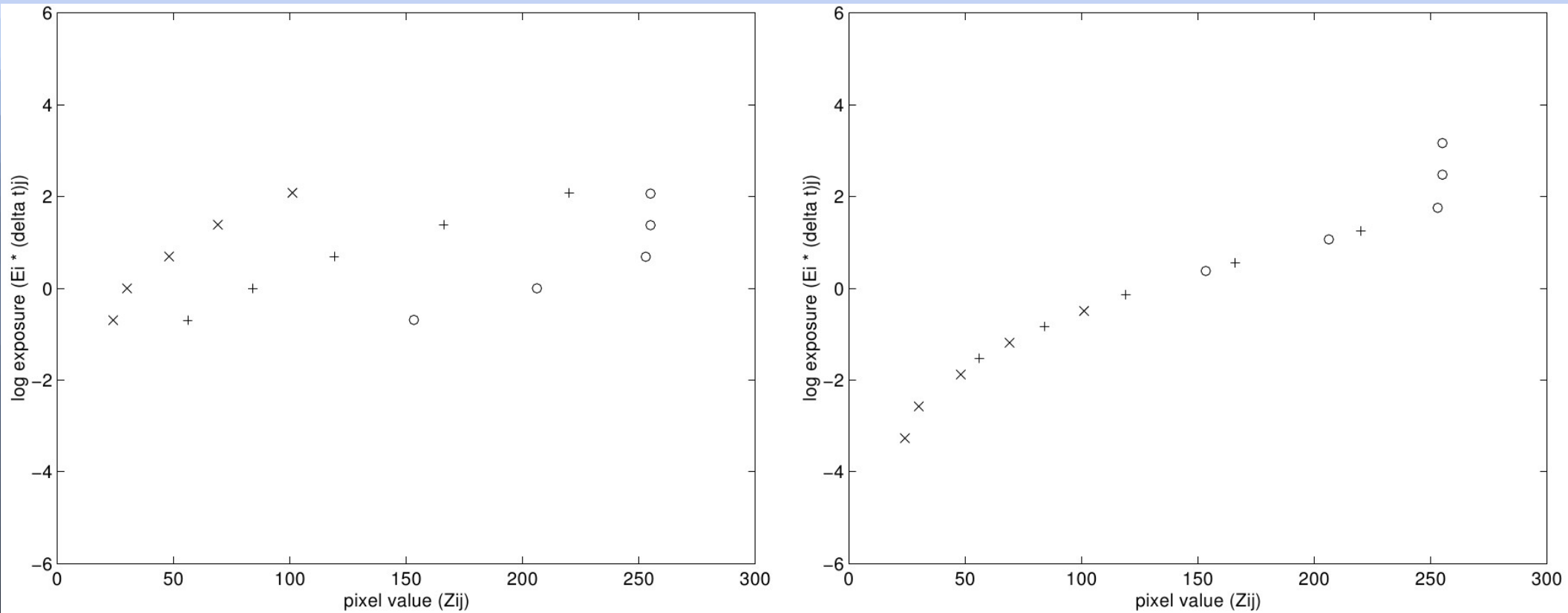
- Se puede hacer a partir de imágenes no lineales (film, imágenes JPEG o ya modificadas, etc.), o sin información previa, pero es más complicado.



$$\ln E_i = \frac{\sum_{j=1}^P w(Z_{ij})(g(Z_{ij}) - \ln \Delta t_j)}{\sum_{j=1}^P w(Z_{ij})}$$

DEBEVEC, P. E., and MALIK, J. 1997. Recovering high dynamic range radiance maps from photographs. In Proc. ACM SIGGRAPH 97, T. Whitted, Ed., 369–378.

¿Y si las imágenes no son lineales?



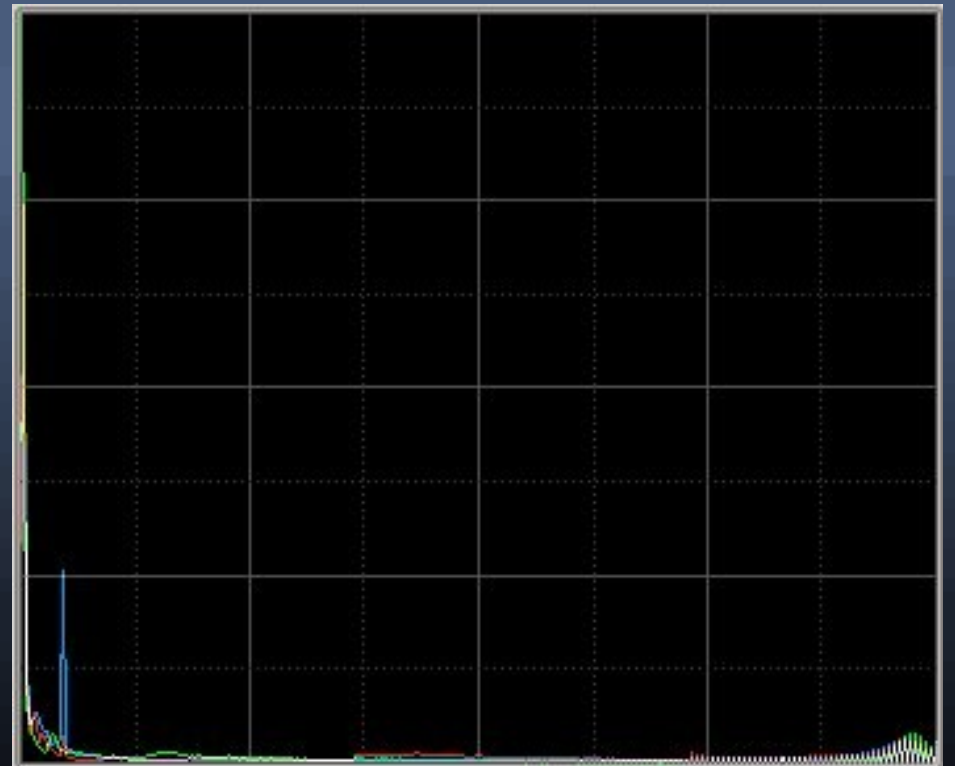
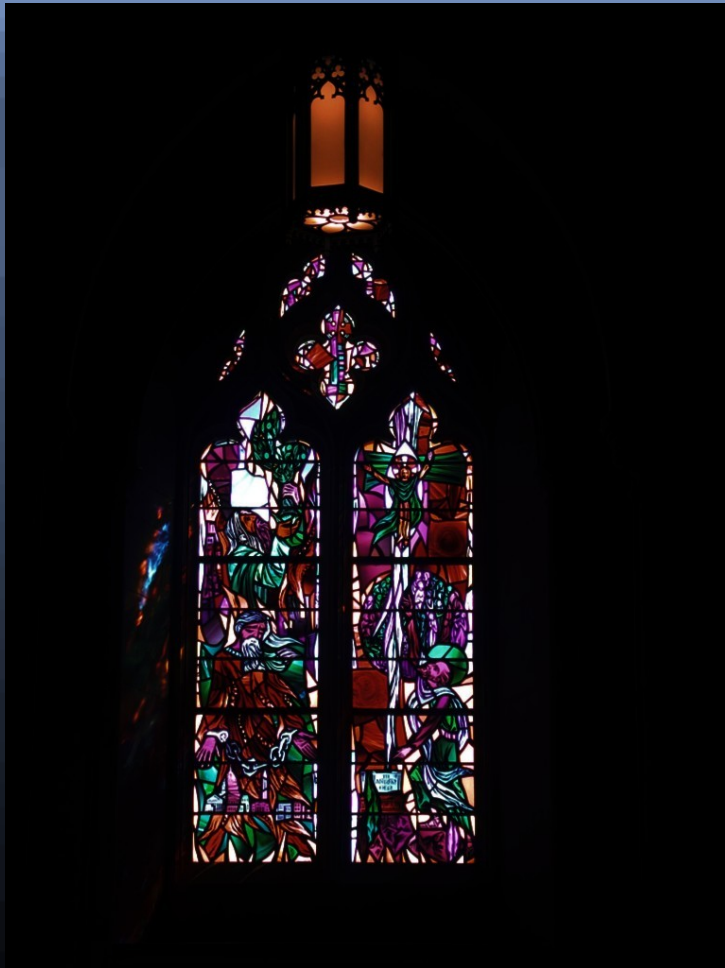
- El problema se vuelve uno de optimización, donde se deben ajustar las curvas de respuesta a partir de los datos.
- Aquí, vemos para un mismo pixel (X, + ó O), 5 intensidades distintas (de distintos frames o cuadros). Los tiempos de exposición son conocidos.
- La idea es reconstruir la función de transferencia que mapea las intensidades.

¿Y ahora qué?

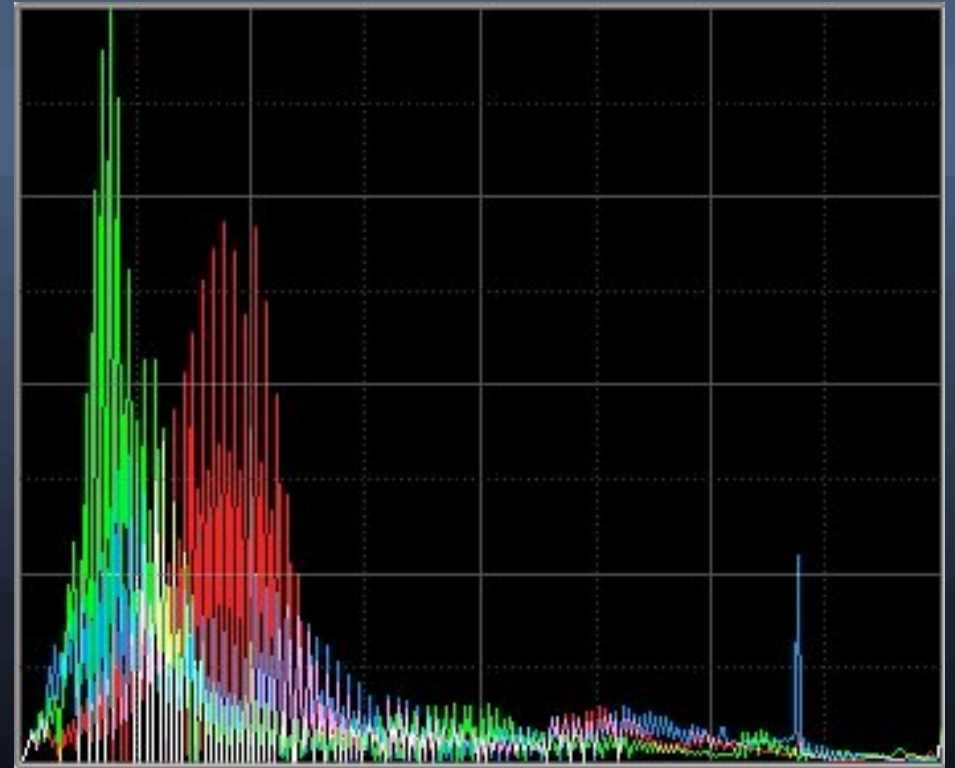
- Tenemos el mapa de intensidades, de forma lineal.
- Este no representa visualmente la información de manera apropiada.
- Hay que transformar los valores de los píxeles.
- Algoritmos de compresión.
Dos macro-categorías:
 - Globales
 - Locales
- También se les conoce como Tone Mapping.

Busquemos soluciones

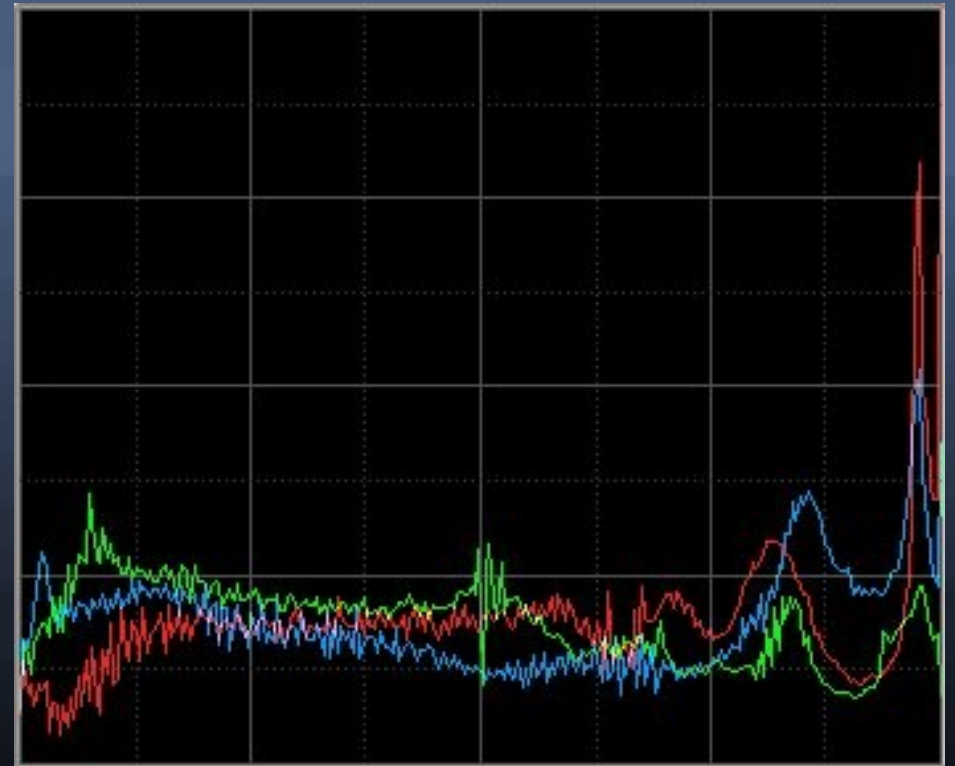
Imagen Lineal



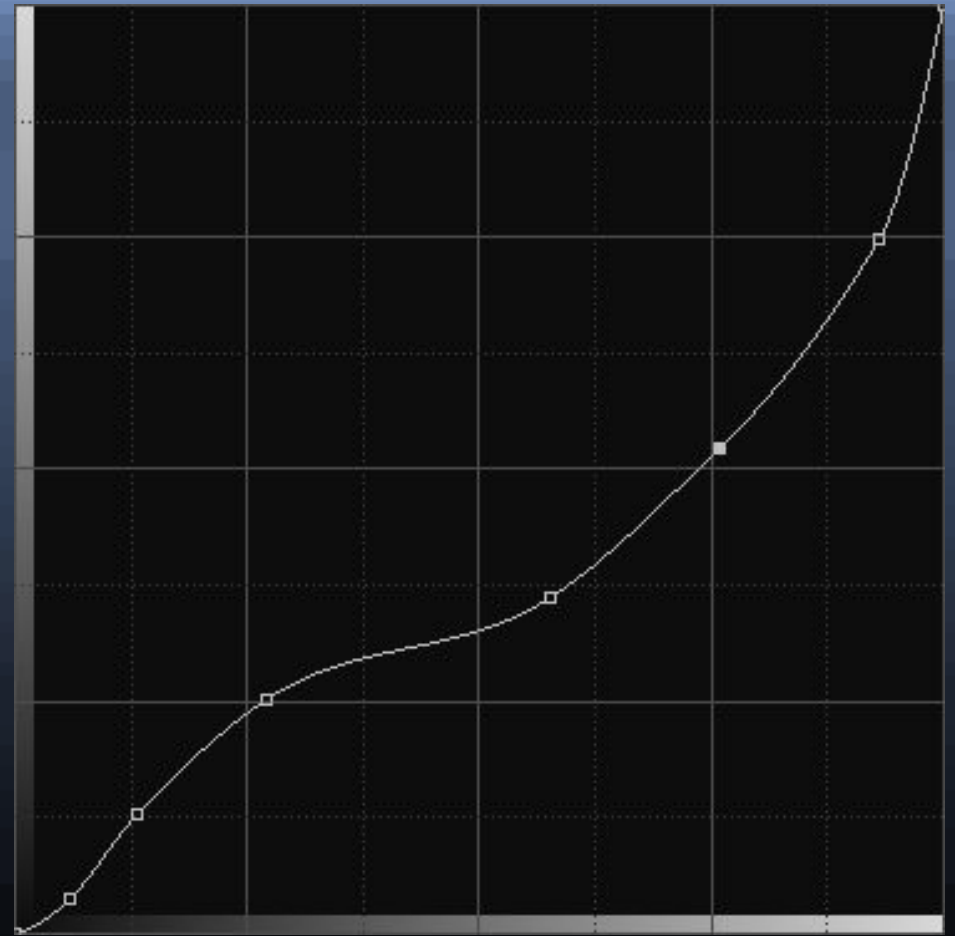
Ajuste Tonos Medios



Ecualización de Histograma



Ajuste fino: Curvas



Algoritmos Globales

- Simples de implementar, rápidos.
- Pocos o nulos artefactos.
- Contraste local bajo.
- Se requiere un compromiso, y dar prioridad a regiones.



Algoritmos Locales

- Utilizar información espacial, o de frecuencia, para ajustar localmente el contraste.
- Más caros de implementar. Pueden requerir modelar la iluminación.
- Artefactos tipo halos, pérdida de dinamismo (imagen plana), o sensación pintura.



Ecuación Adaptativa



Filtrado Homomórfico

- Imagen es llevada al espacio logarítmico.
- Se asume que la iluminación es fuente de baja frecuencia (gran escala), mientras que la reflectancia es de alta frecuencia. Componentes multiplicativos se vuelven aditivos.
- Filtrado en Fourier (pasa altos) incrementa contraste local, y disminuye el global.
- Imagen se devuelve al espacio normal.



Algoritmos más complejos y sus problemas típicos



- Halos alrededor de objetos.
- Volúmenes distorsionados.
- Sobresaturación de colores.
- Pérdida de dinamismo.
- Tendencia a exagerar los resultados.
- Pérdida de sensación de realismo. Parecen pinturas.

Gradient Domain HDR Compression

- A la imagen se le calcula el gradiente.
- Se determina qué bordes atenuar, gracias a un análisis multiescala.
- Se recalcula la imagen a partir del gradiente modificado.



Gradient Domain HDR Compression

- Cálculo del gradiente multiescala (gaussianas sucesivas, o con wavelets):

$$\nabla H_k = \left(\frac{H_k(x+1, y) - H_k(x-1, y)}{2^{k+1}}, \frac{H_k(x, y+1) - H_k(x, y-1)}{2^{k+1}} \right)$$

- Factores de atenuación dependiente de cada gradiente:

$$\varphi_k(x, y) = \frac{\alpha}{\|\nabla H_k(x, y)\|} \left(\frac{\|\nabla H_k(x, y)\|}{\alpha} \right)^\beta$$

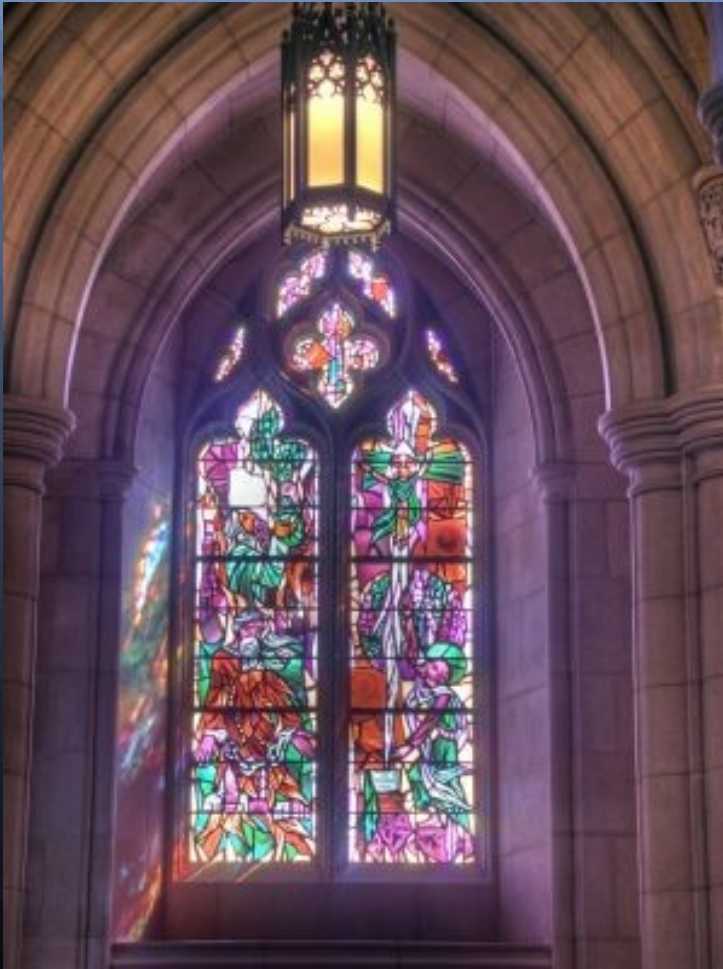
- Acumulación multiplicativa de factores:

$$\begin{aligned} \Phi_d(x, y) &= \varphi_d(x, y) \\ \Phi_k(x, y) &= L(\Phi_{k+1})(x, y) \varphi_k(x, y) \\ \Phi(x, y) &= \Phi_0(x, y) \end{aligned}$$

Resultados GD-HDRC



Resultados GD-HDRC



¿Y en la Astrofotografía?

Objetos HDR

- Estrellas

Núcleos saturados.

Blooming.



Objetos HDR

- Algunas nebulosas

M42

M8

Depende de la profundidad
de los datos obtenidos.



Objetos HDR

- Galaxias

Núcleos mucho más brillantes que los brazos.

Estructuras se pierden en el brillo interior.

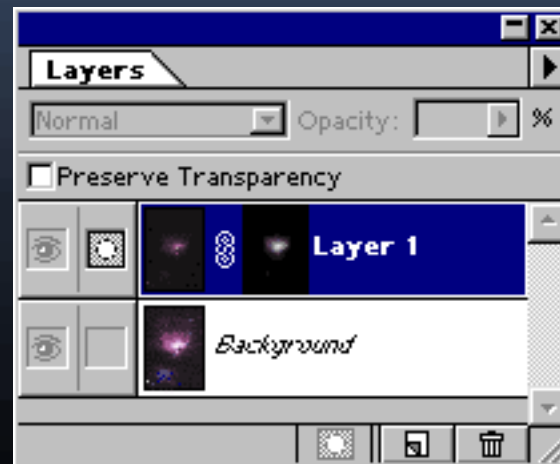
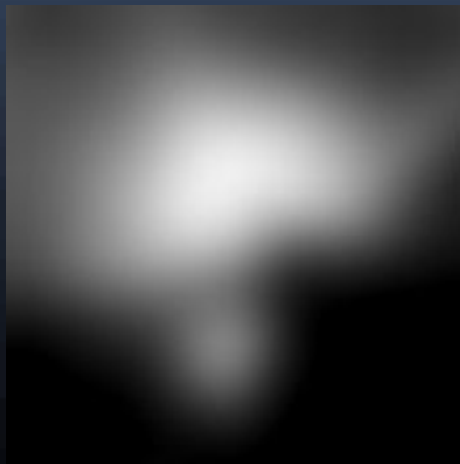
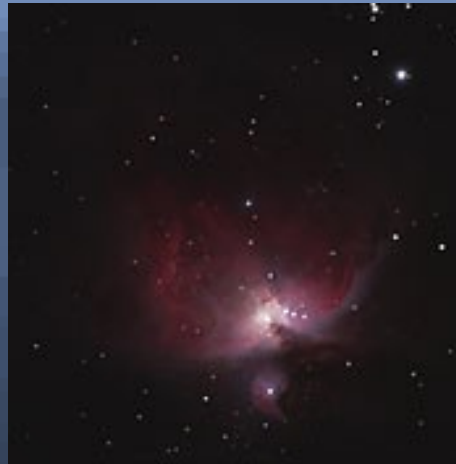


¿HDR Astronómico?

- Construir el mapa de intensidades es relativamente sencillo. Tenemos gran control de los tiempos de exposición, y del objeto.
- El problema es cómo convertir toda esa información, comprimir el rango dinámico.
- Desafortunadamente, la mayoría de los algoritmos utilizados en fotografía normal no funcionan correctamente con astrofotografías.
- ¿Existen soluciones particulares? Hagamos un poco de historia...

Layer Masking

- Técnica propuesta por Jerry Lodriguss (S&T – 2001).



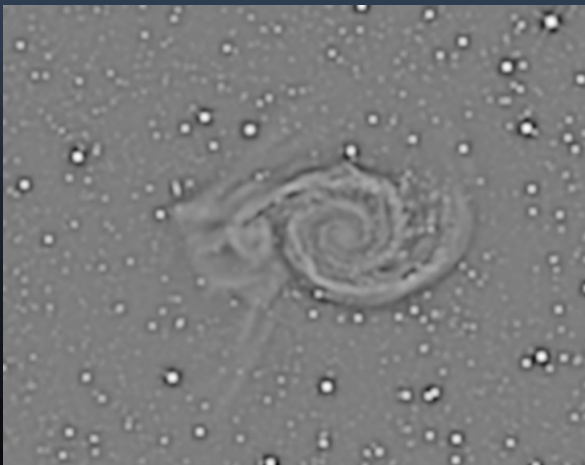
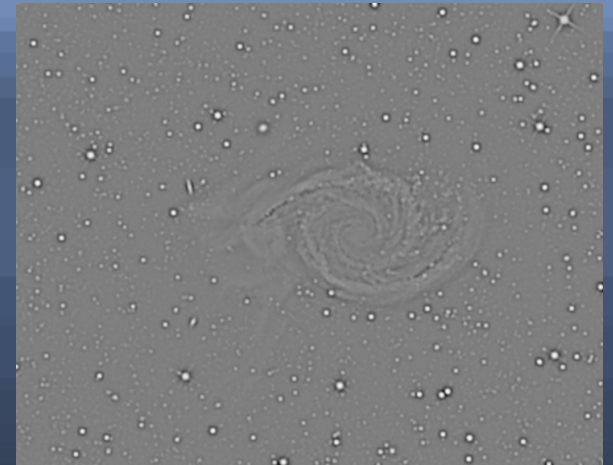
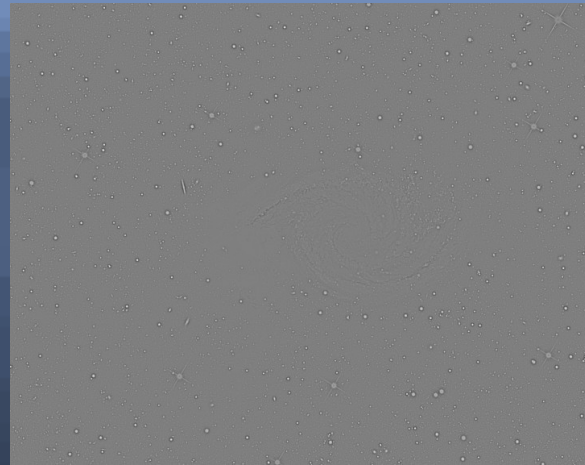
Layer Masking



- Muchos ajustes manuales.
 - Máscara.
 - Ajuste color.
 - ¿Alineado?
- No es verdadero HDR. Simplemente se reemplaza información.
- Zonas de transición pierden contraste.

High Dynamic Range Wavelets Transform

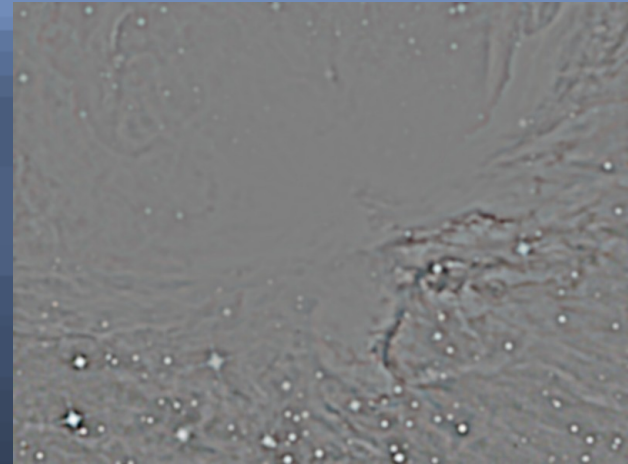
Análisis Multiescala (M51)



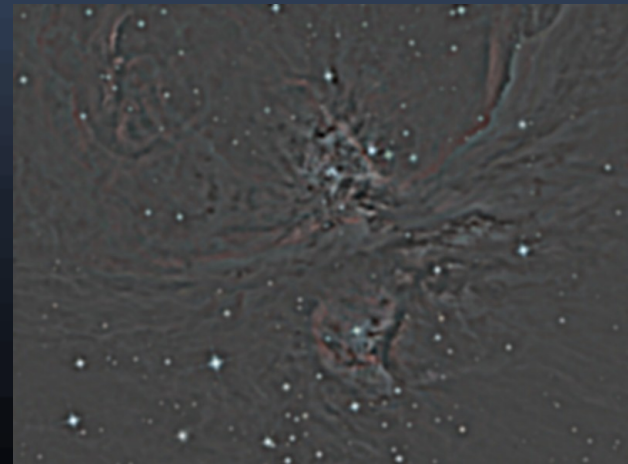
Resultado M51



HDRWT en más detalle



- Cada nueva capa reescala la información usando información de escalas superiores.
- Contraste local se amplifica, en toda escala.



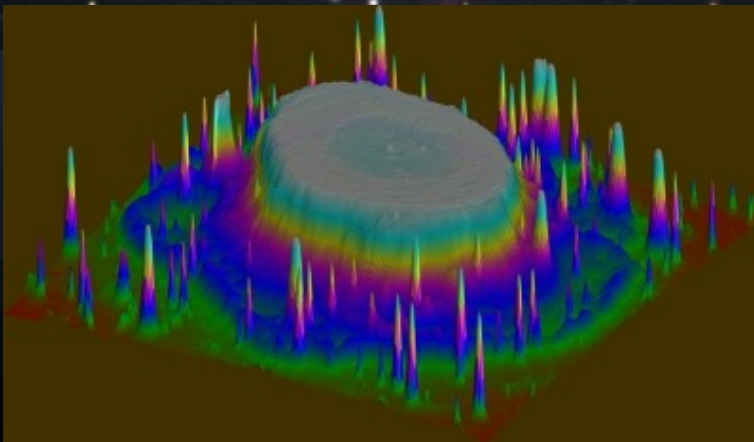
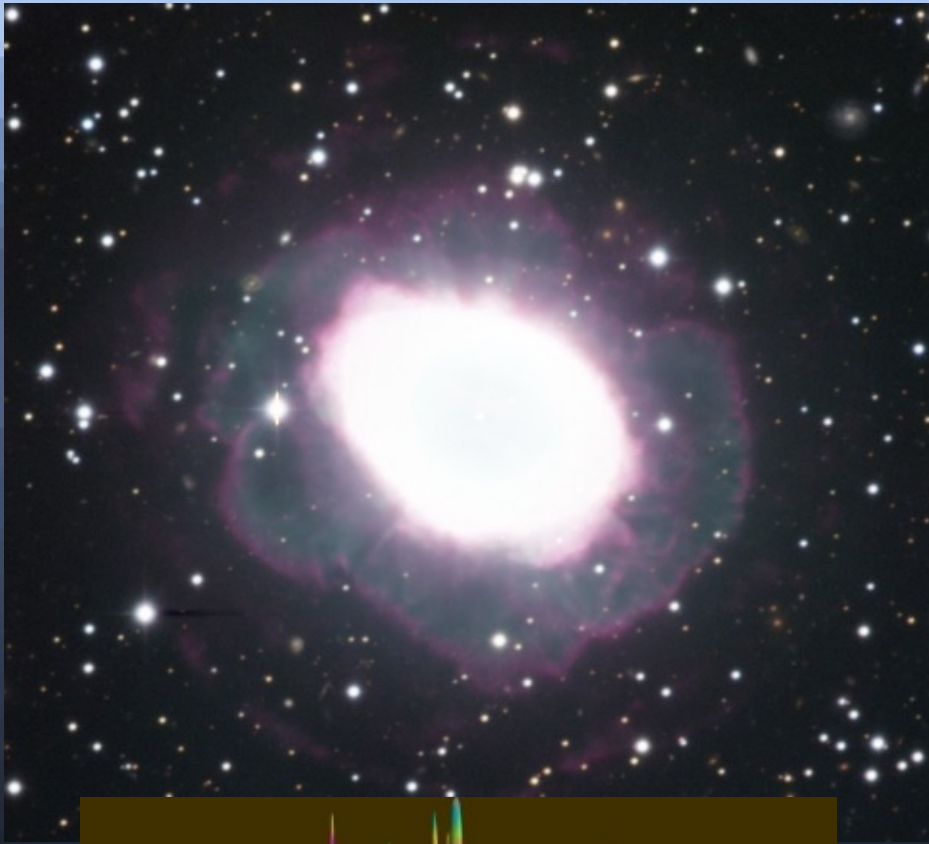
Ejemplo M42



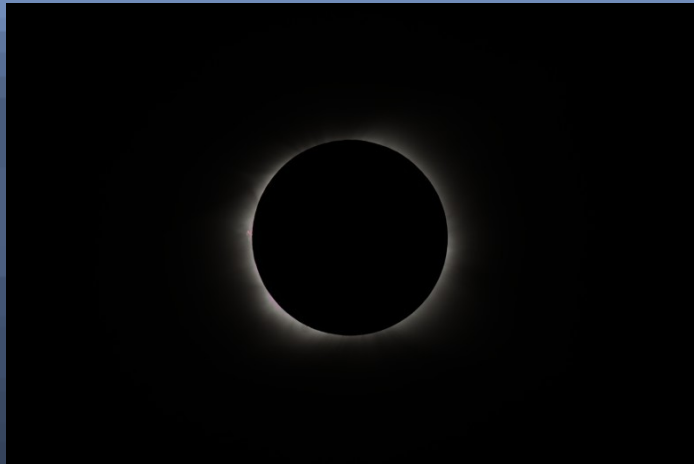
Ejemplo M101



Ejemplo M57



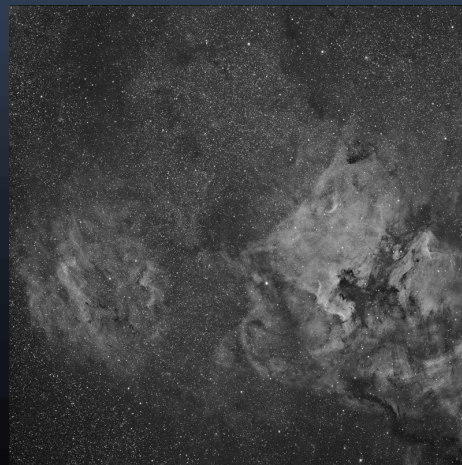
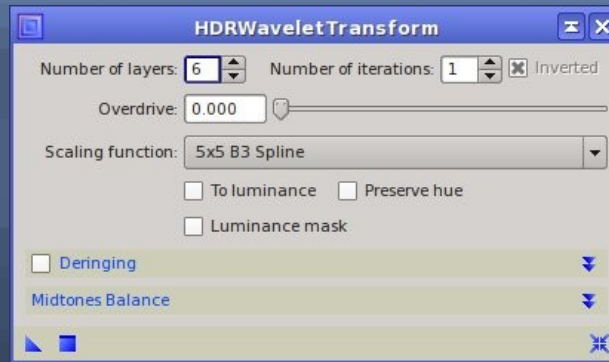
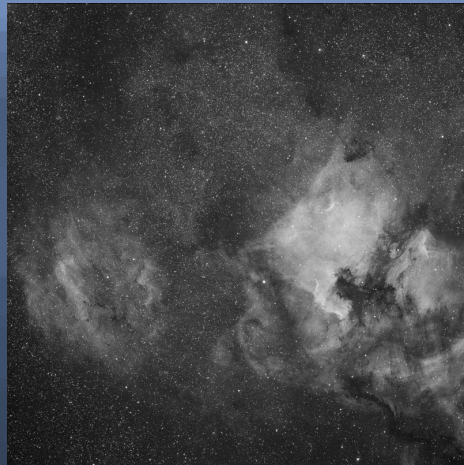
Ejemplo: Eclipse 2010



Ejemplo: M04, Sombrero



Efecto ajustable según capas



HDRWT y fotos normales



Conclusiones

- Construir imágenes HDR es fácil de hacer.
- Tener más rango permite representar un objeto completamente, sin perder información.
- También puede corregir problemas como el “blooming”.
- Existen herramientas sencillas (para el usuario) que comprimen el rango dinámico.
- Incluso en imágenes LDR, técnicas para comprimir el rango son útiles para resaltar estructuras, y aumentar contraste localmente.
- ¡Hay que tener mucho cuidado con los artefactos tipo halo o anillos!

Fin

Créditos de las imágenes astronómicas:

Mauricio Lopez, Vicent Peris, Jim Misti, Thomas W. Earle, ESO, Jerry Lodriguss, Carlos Milovic y Yuriy Toropin,
et al (M51 Ultra Deep Project)