Visión por Computador

Tema 9. Fotografía computacional

EII, GII. *Modesto Castrillón Santana*

Contenidos

- Introducción
- Rango dinámico
- Mateado
- Texturas

(a) f = 16mm

(b) f = 35mm

(c) f = 105mm

WTF!

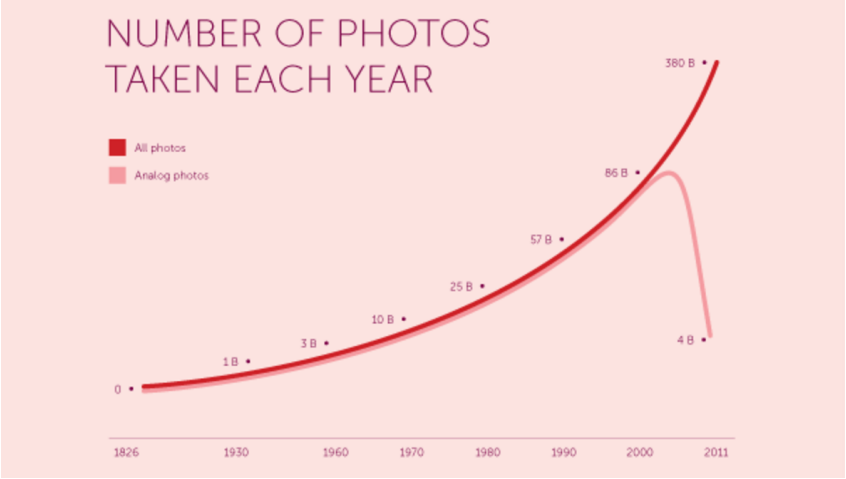
Introducción

Fotografía computacional

Campo fotografía aplicando técnicas informáticas

Desarrollos VC

Impacto comercial



Photosynth, 2009

Introducción

1957

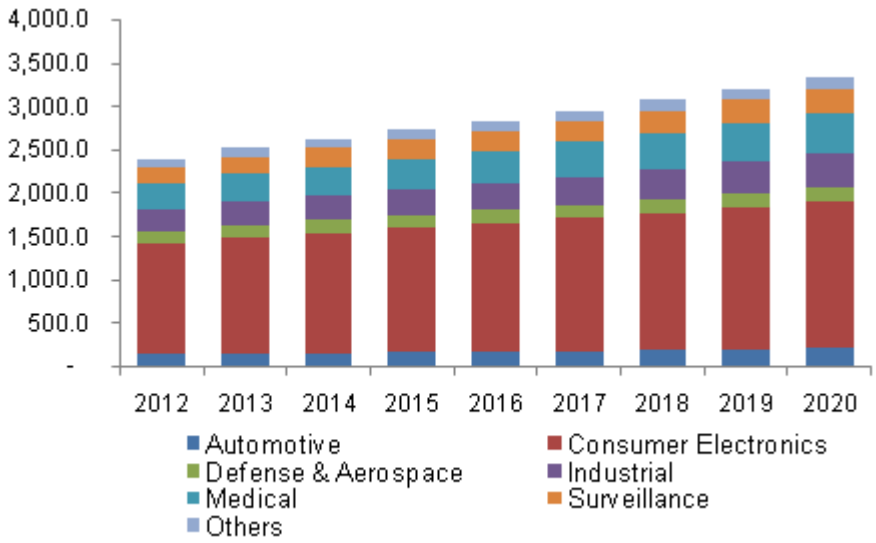
NIST, 176x176

Introducción

CCD 1969 Bell Lab

Cámara digital 1975 Kodak (comercial Logitech 1991)

CMOS y mercado

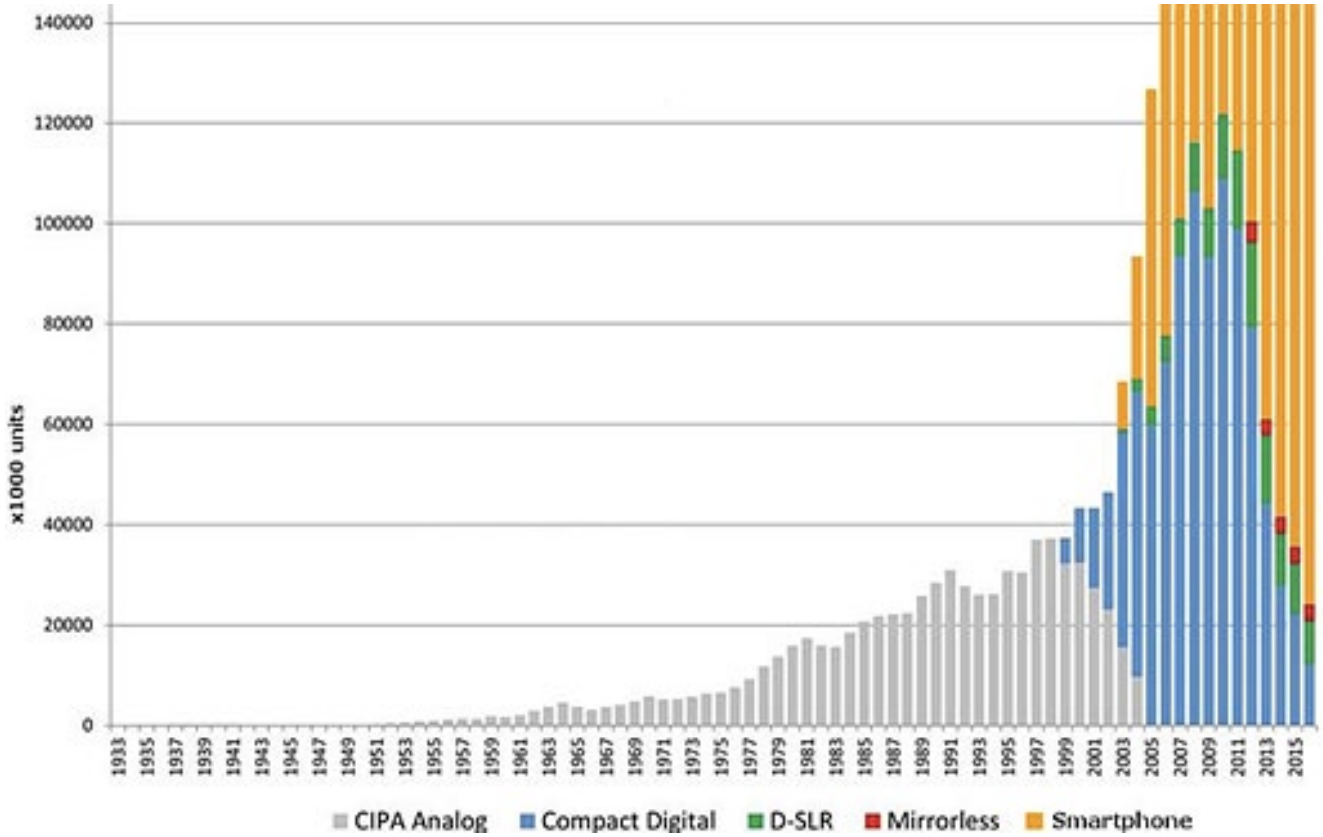


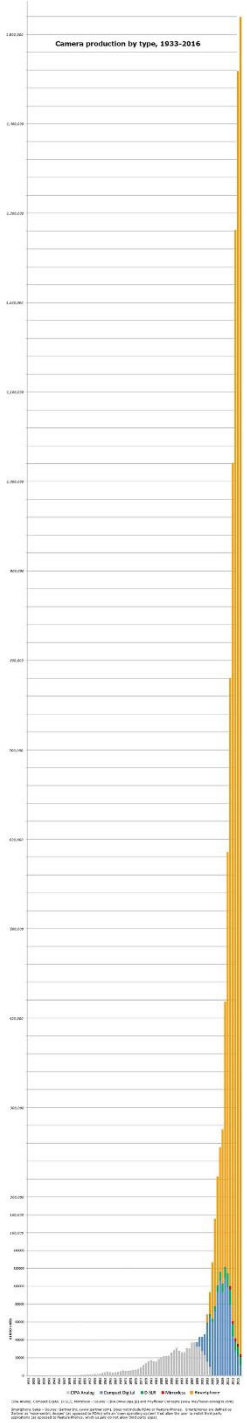
Introducción

DSLR (*Digital Single Lens Reflex*) vs. móviles

Introducción

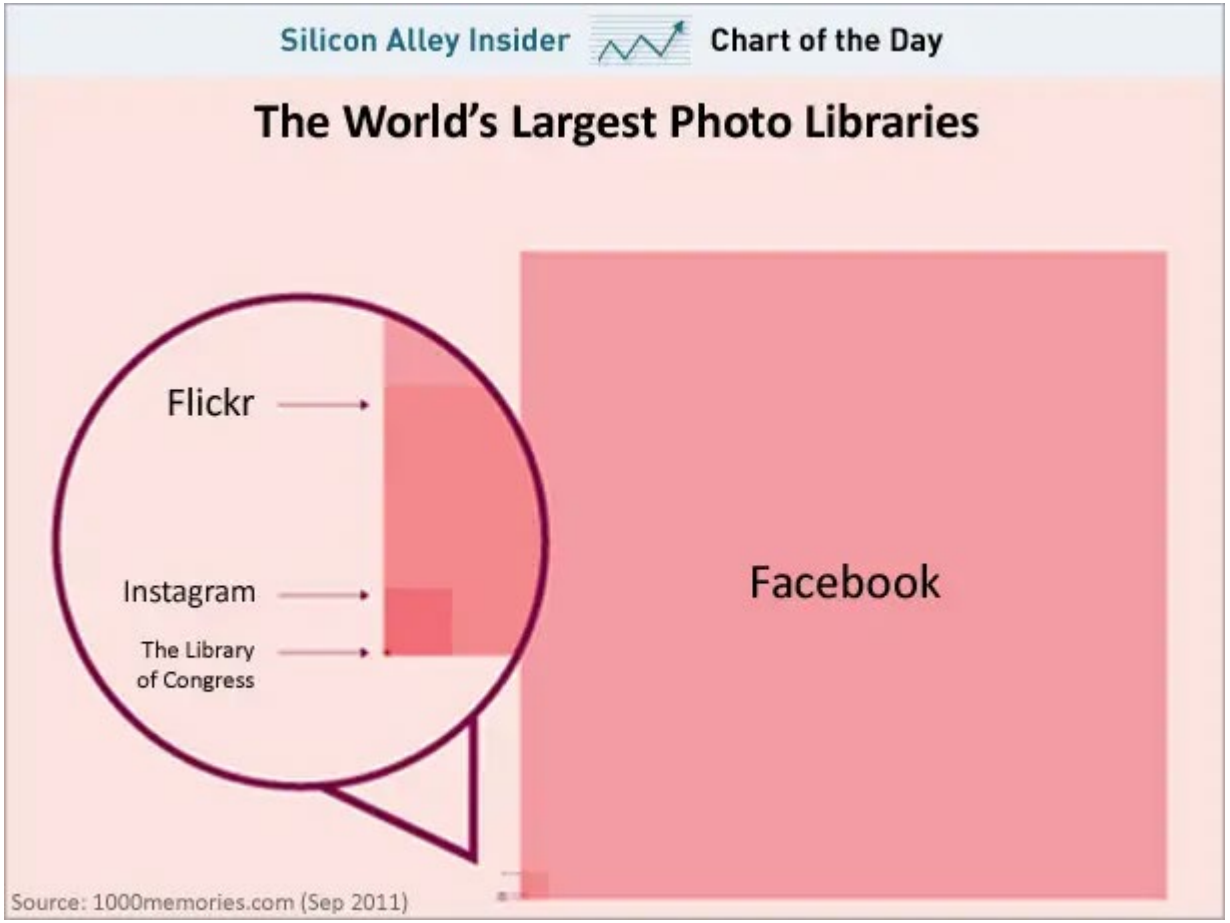
Camera & Imaging Products Association (CIPA) 2016





Introducción

Allá por 2011



Introducción

Fotos en Instagram por segundo

Quick Instagram Statistics

Total Number of Monthly Active Instagram Users:

2 billion+ (source)

Last updated: 22/02/22

Total Number of Daily Active Instagram Users:

1.9 billion (source)

Last updated: 28/06/21

Instagram Stories Daily Active Users:

500 million+ (source)

Last updated: 22/02/22

Number of Businesses on Instagram

200 million+ (source)

Last updated: 22/02/22

Introducción

Cámaras tradicionales

Grados de libertad:

- Apertura
- Exposición
- Enfoque
- ISO
- Punto de vista
- Iluminación (flash, etc.)

Introducción

Cámaras tradicionales

Limitaciones

- Lentes
  - aberraciones
  - desenfoque
- Sensores
  - ruido
  - rango dinámico
  - sensibilidad espectral
- Cámara
  - profundidad de campo
  - campo de vista
  - movimiento

Ofrecer más grados de libertad, romper límites

Introducción

No basta con sustituir sensores y almacenar con tecnología digital

	Computational Camera			Smart Light
Digital Photography	Computational Processing	Computational Imaging/Optics	Computational Sensor	Computational Illumination
Image processing applied to captured images to produce "better" images.	Processing of a set of captured images to create "new" images.	Capture of optically coded images and computational decoding to produce "new?" images.	Detectors that combine sensing and processing to create "smart" pixels.	Adapting and Controlling Illumination to Create 'revealing' image
Examples: Interpolation, Filtering, Enhancement, Dynamic Range Compression, Color Management, Morphing, Hole Filling, Artistic Image Effects, Image Compression, Watermarking.	Examples: Mosaicing, Matting, Super-Resolution, Multi-Exposure HDR, Light Field from Mutiple View, Structure from Motion, Shape from X.	Examples: Coded Aperture, Optical Tomography, Diaphanography, SA Microscopy, Integral Imaging, Assorted Pixels, Catadioptric Imaging, Holographic Imaging.	Examples: Artificial Retina, Retinex Sensors, Adaptive Dynamic Range Sensors, Edge Detect Chips, Focus of Expansion Chips, Motion Sensors.	Examples: Flash/no flash, Lighting domes, Multi-flash for depth edges, Dual Photos, Polynomial texture Maps, 4D light source

Slide by R. Raskar

Introducción

DSLR	FANCY MODERN SMARTPHONE
✓ EXCELLENT SENSOR	✗ TINY SLOW LENS
✓ HUGE FAST LENS	✗ SENSOR SMALLER THAN THE HEAD OF A MATCH
✗ HORRIBLE CPU	✓ ELECTRONIC SHUTTER
✗ HARDWARE «WHAT'S LEFT FROM SONY»	✓ 128-CORE CPU (X3)
✗ NO SOFTWARE	✓ THE WHOLE WORLD WRITING SOFTWARE
$25 SIGN UP FOR MY ONLINE PHOTOGRAHY COURSE!!!	

Introducción

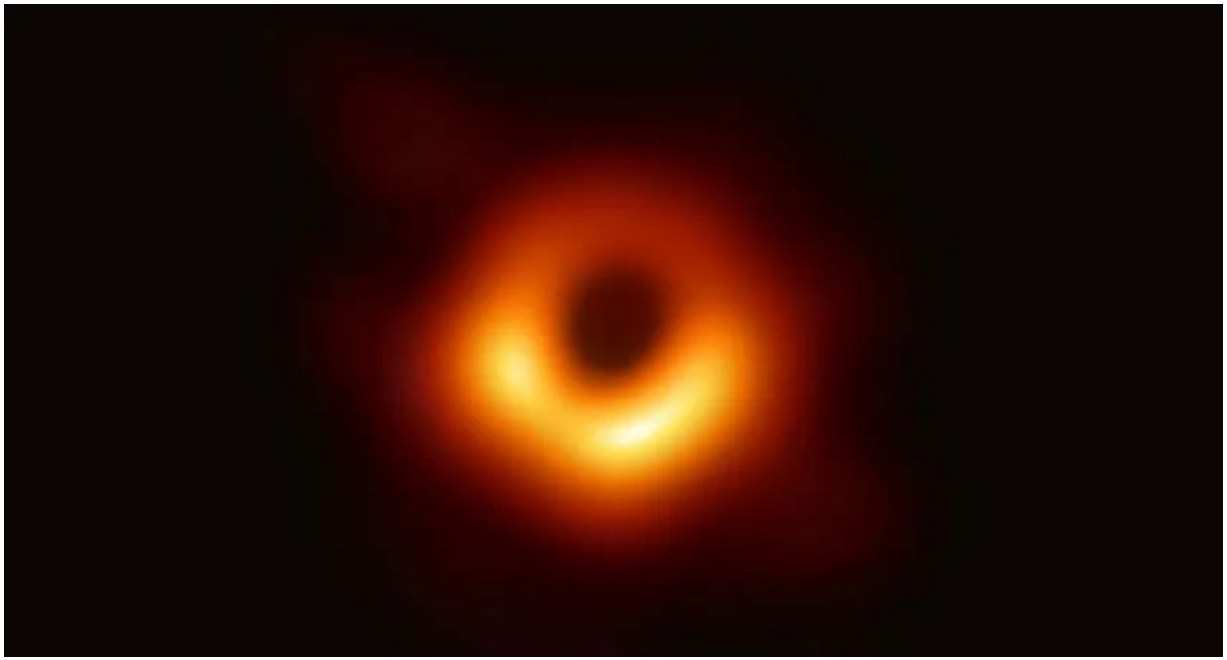
Definición de fotografía computacional

"Computational imaging techniques enhance or extend the capabilities of digital photography in which the output is an ordinary photograph, but one that could not have been taken by a traditional camera."

Marc Levoy

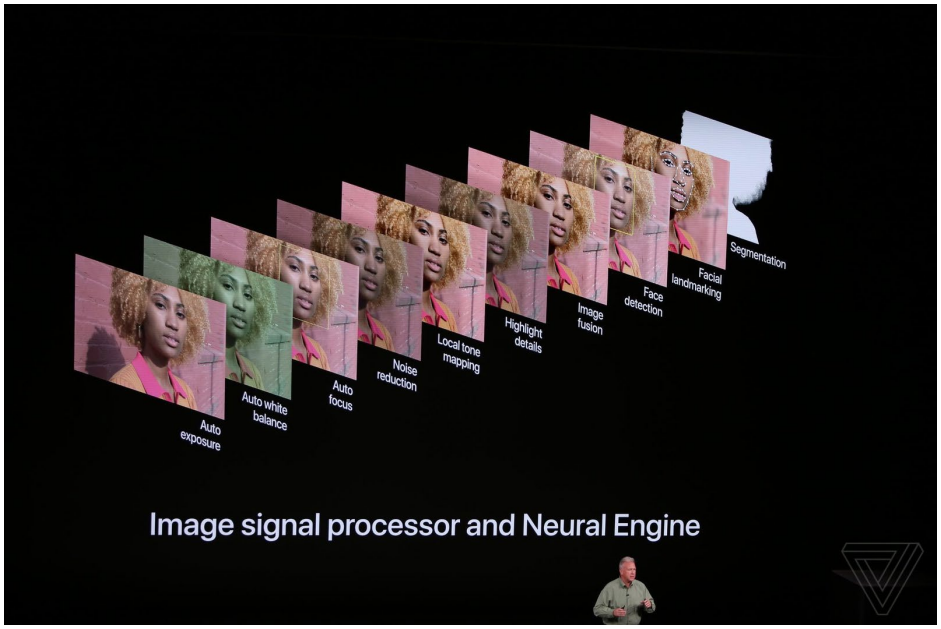
Introducción

Stacking/múltiples imágenes



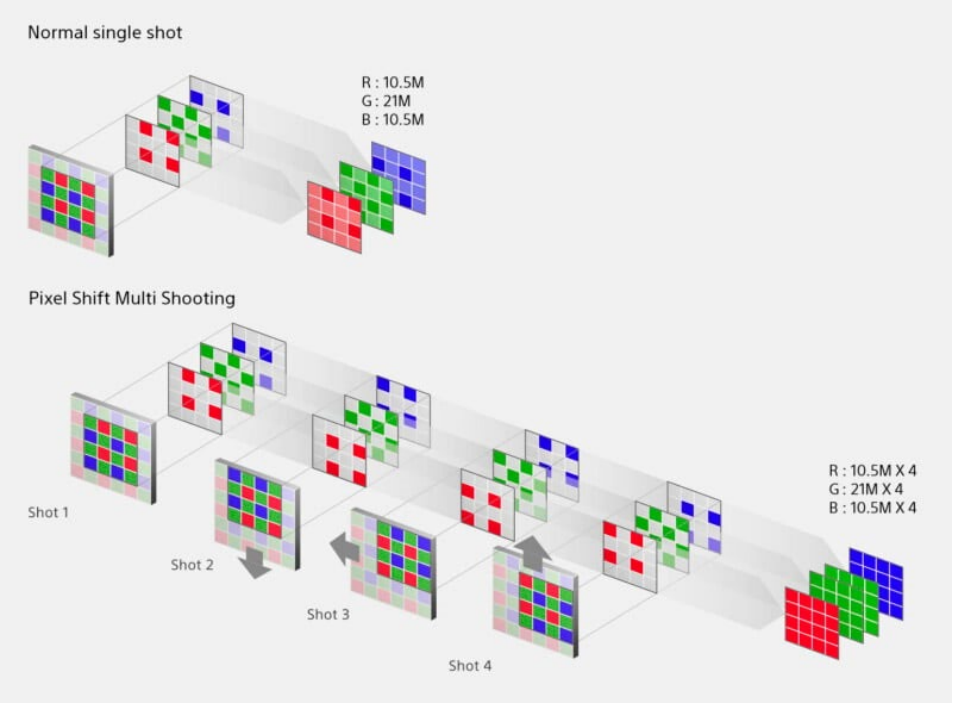
Introducción

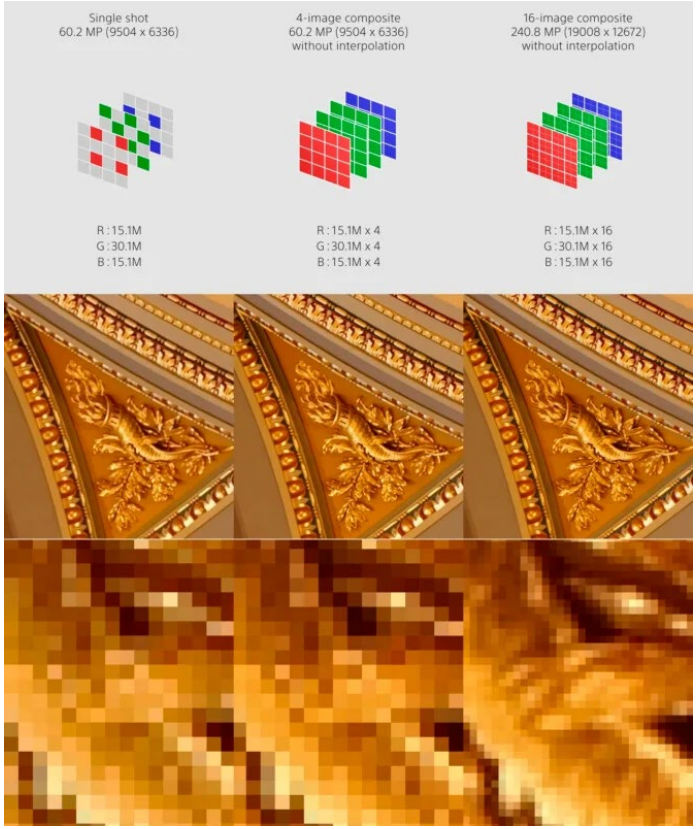
Stacking/múltiples imágenes



Introducción

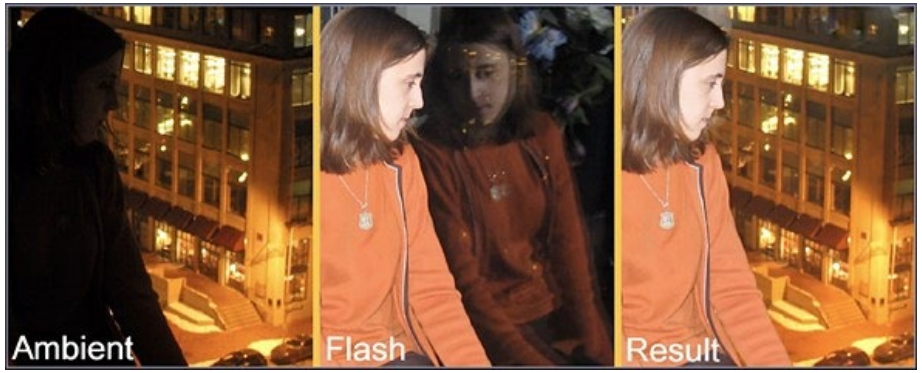
Stacking/múltiples imágenes
Pixel shifting

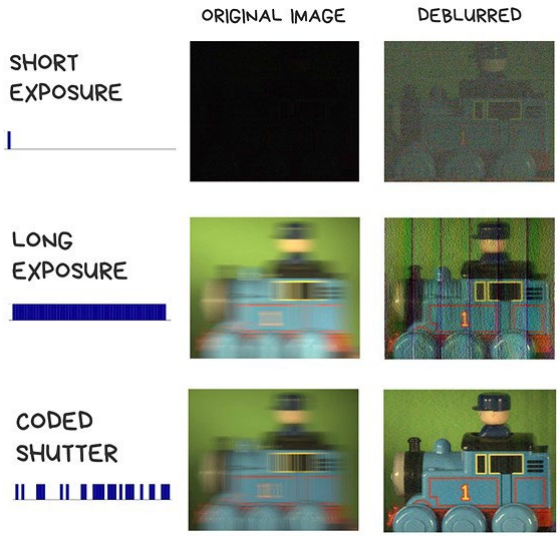




Introducción

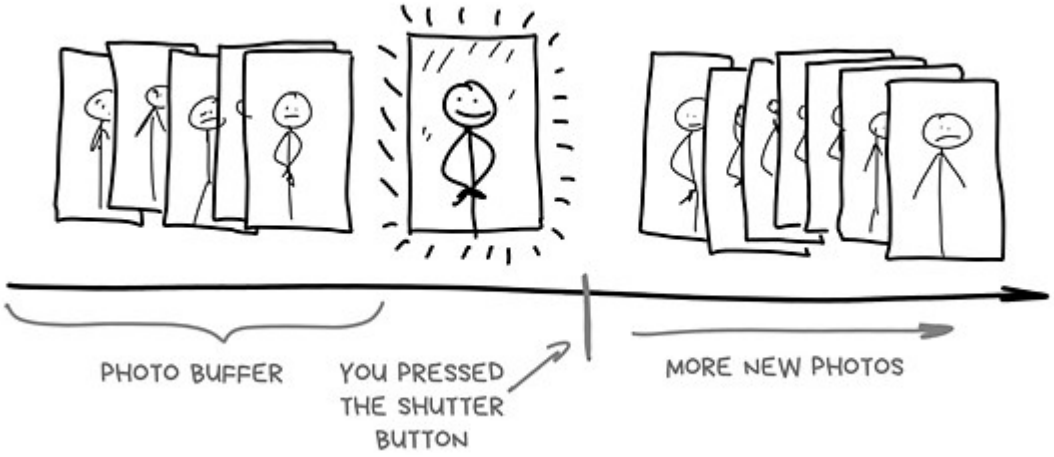
Stacking/múltiples fotografías





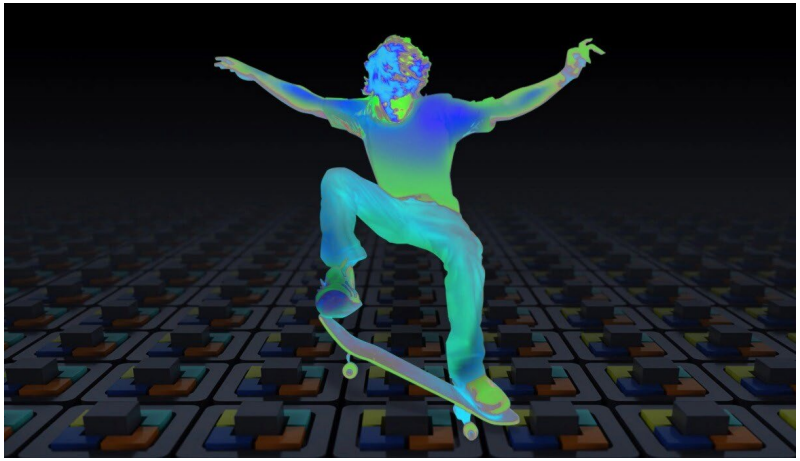
Introducción

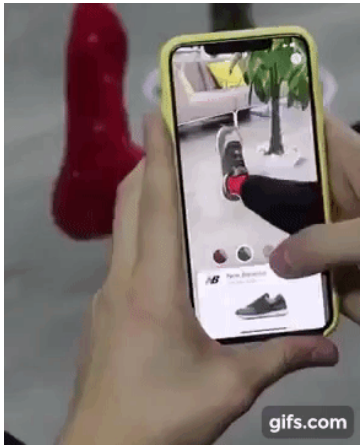
Epsilon photography

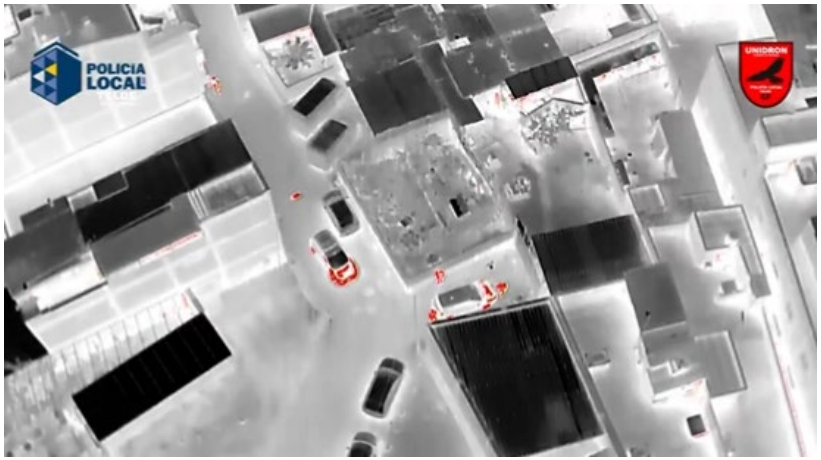


Introducción

Diversidad sensores







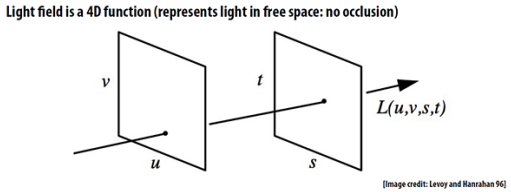
Introducción

Zoom, IA

Introducción

Tendencias:

- Redefinición de ultra compacto
- Sin disparador: interfaz multimodal
- Sin restricciones iluminación
- Batería ilimitada
- Incorporar olfato
- Tecnología *light field* (campo de luz, p.e. Lytro → Starline en 2025?)



HDR

¿Buena exposición en situaciones exigentes?
Varias imágenes a distintas exposiciones

Toda imagen contiene:

- Zonas saturadas (sobrexpuestas)
- Oscuras (infraexpuestas)

Patronato de Turismo de GC

HDR

HDR EOS 450D

Tres imágenes con distinta exposición

Automatic exposure bracketing (*AEB*)

Escogía -2, 0 y 2, tomando imagen sobre e infraexpuesta

photomatix

HDR

Mi primer intento allá por 2008

HDR

Brillo relativo

1

1,500

25,000

400,000

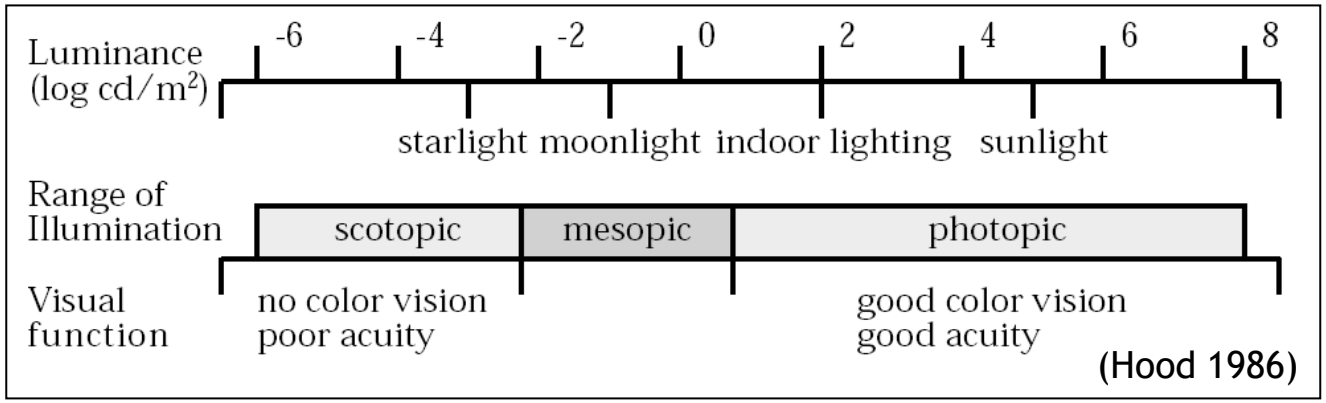
2,000,000

Paul Debevec

HDR

Rango dinámico

Valores de brillo medibles por una cámara



cd/m^2: candela por metro cuadrado

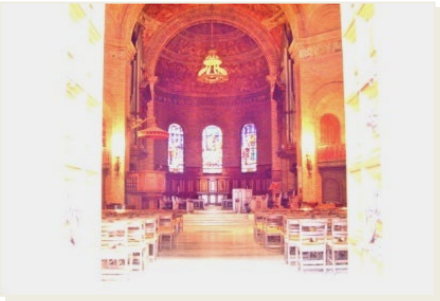
Unidad de luminancia del Sistema Internacional

HDR

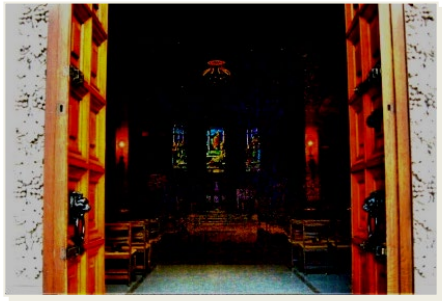
Fotografía/pintura medio limitado:

- Plano
- Tamaño
- Punto de vista único
- Rango

Rango limitado
Variedad de millones de valores
Una cámara de 8 bits proporciona 256



Sobreexpuesta

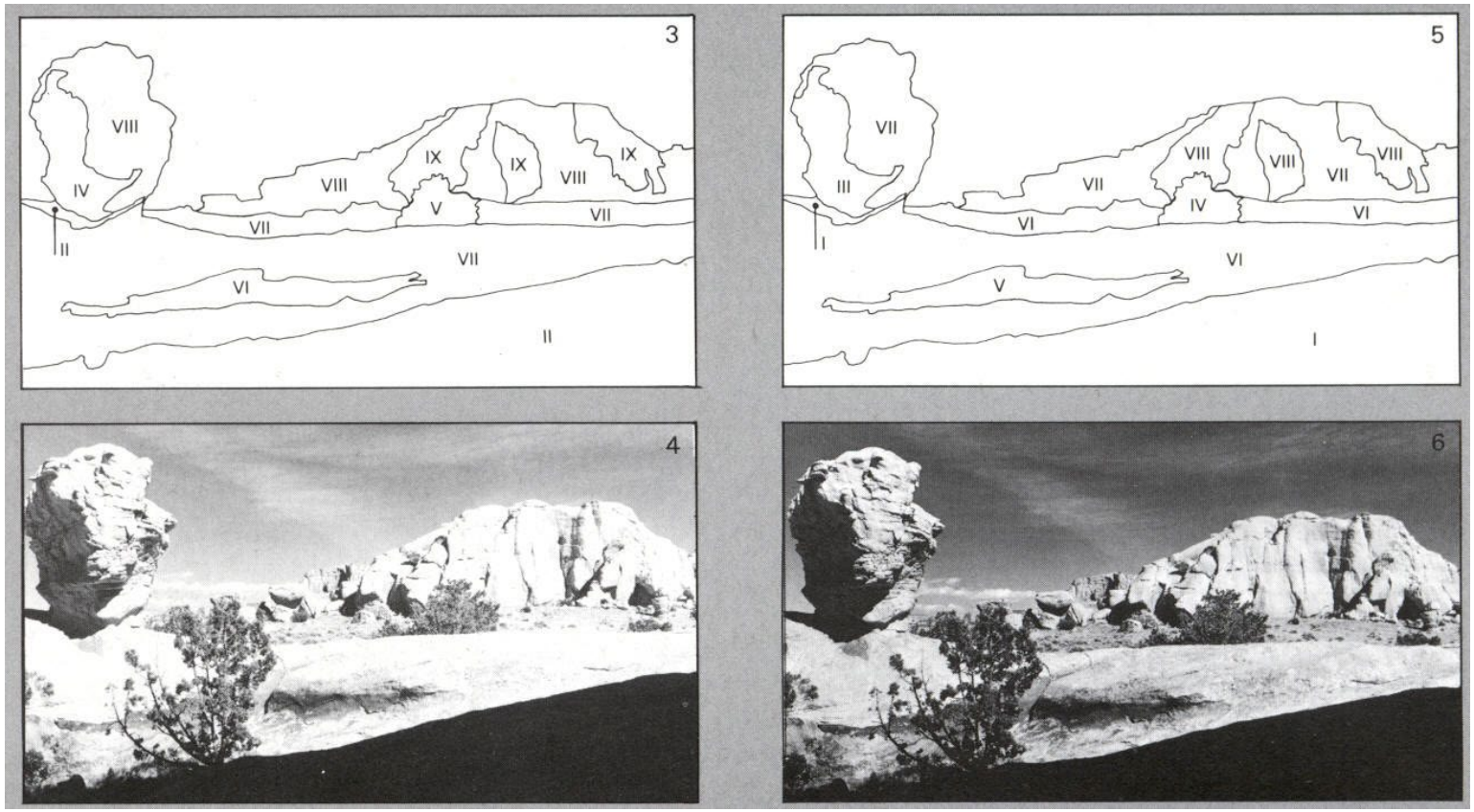


Infraexpuesta

HDR

Fotografía en película

Revelado con sistema zonal

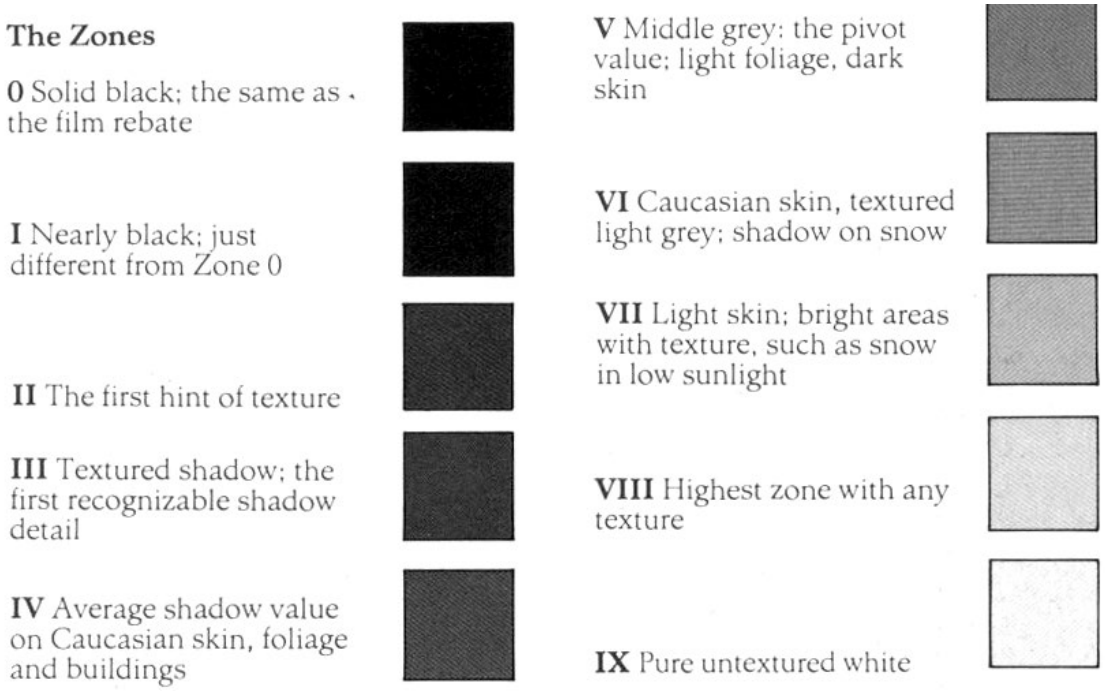


Fedro Durand

HDR

Fotografía en película

Revelado con sistema zonal



Fedro Durand

HDR

Combinar imágenes con distintas exposiciones

Calibración radiométrica

Promedio ponderando por tiempo de exposición

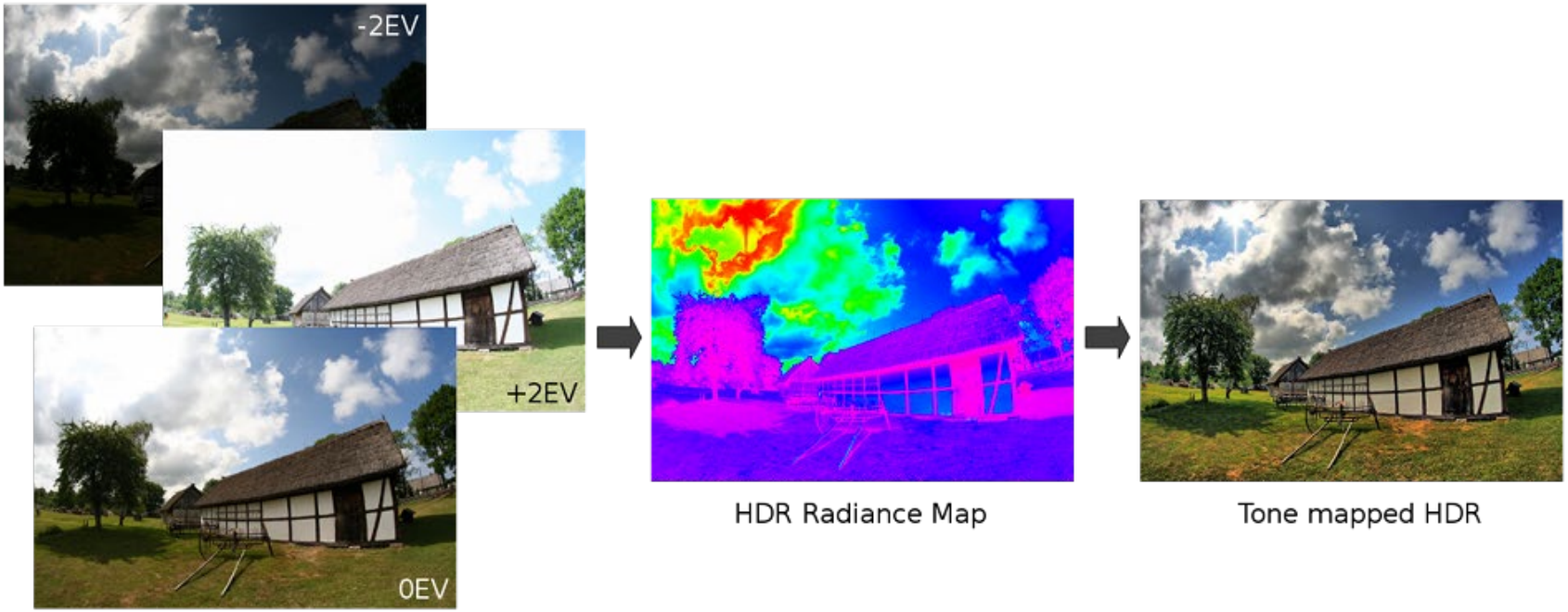
Se producen cambios de contraste y halos

P. Debevec

HDR

Proceso mejorado:

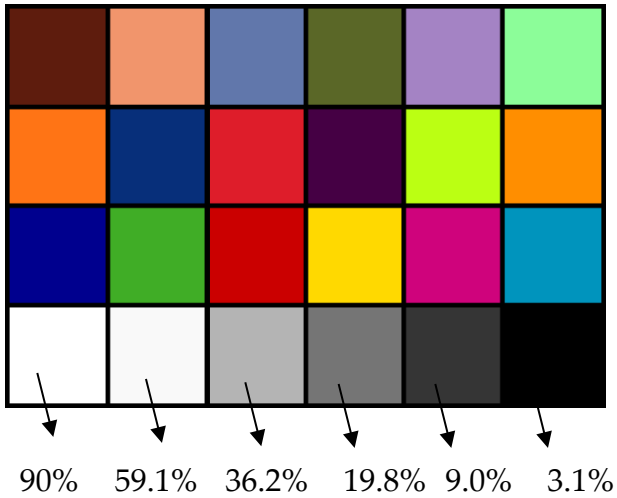
1. Estimar mapa de brillo (*radiance*) con píxeles a distintas exposiciones
2. Mapeo tonal (*tone mapping*) del rango dinámico resultante al mostrable

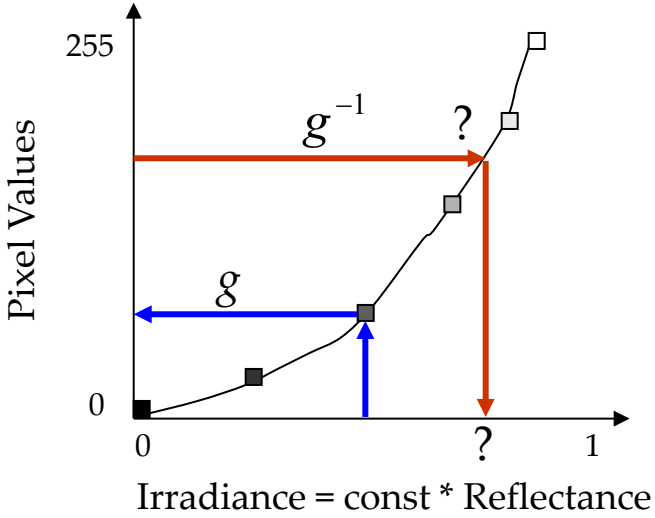


HDR

Patrón de colores con reflectancia conocidas

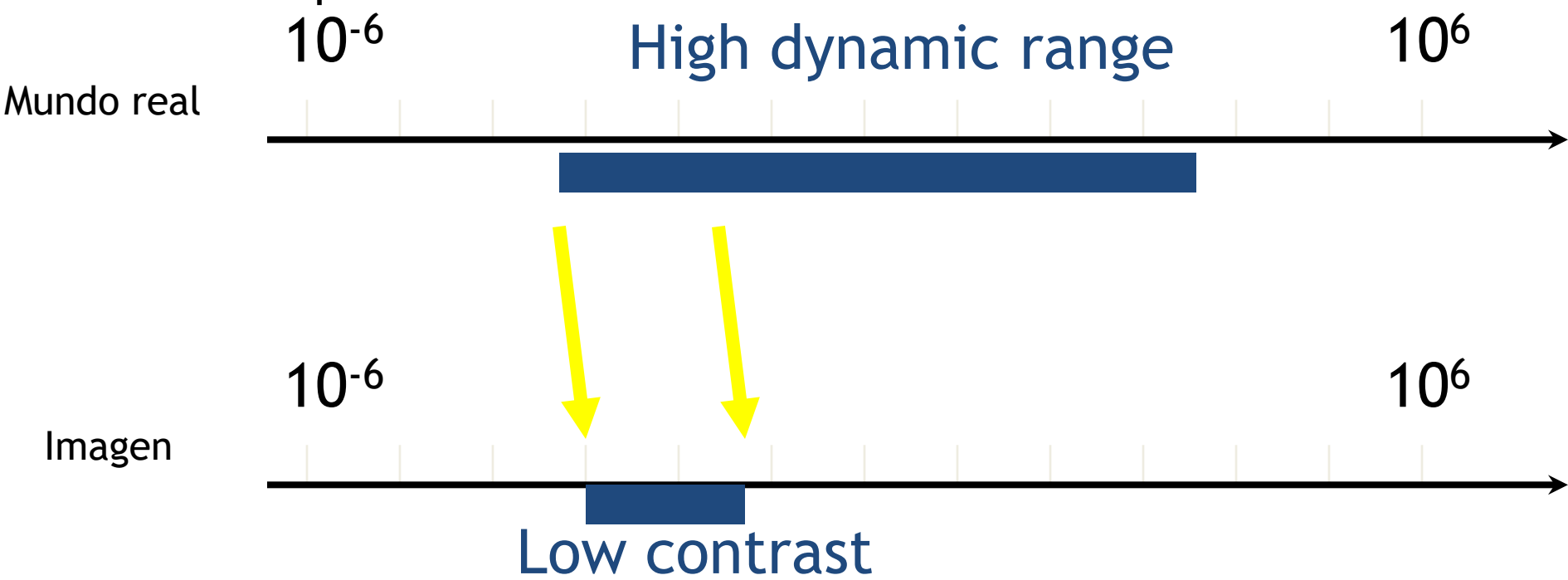
Varias exposiciones (incluso sin patrón)





HDR

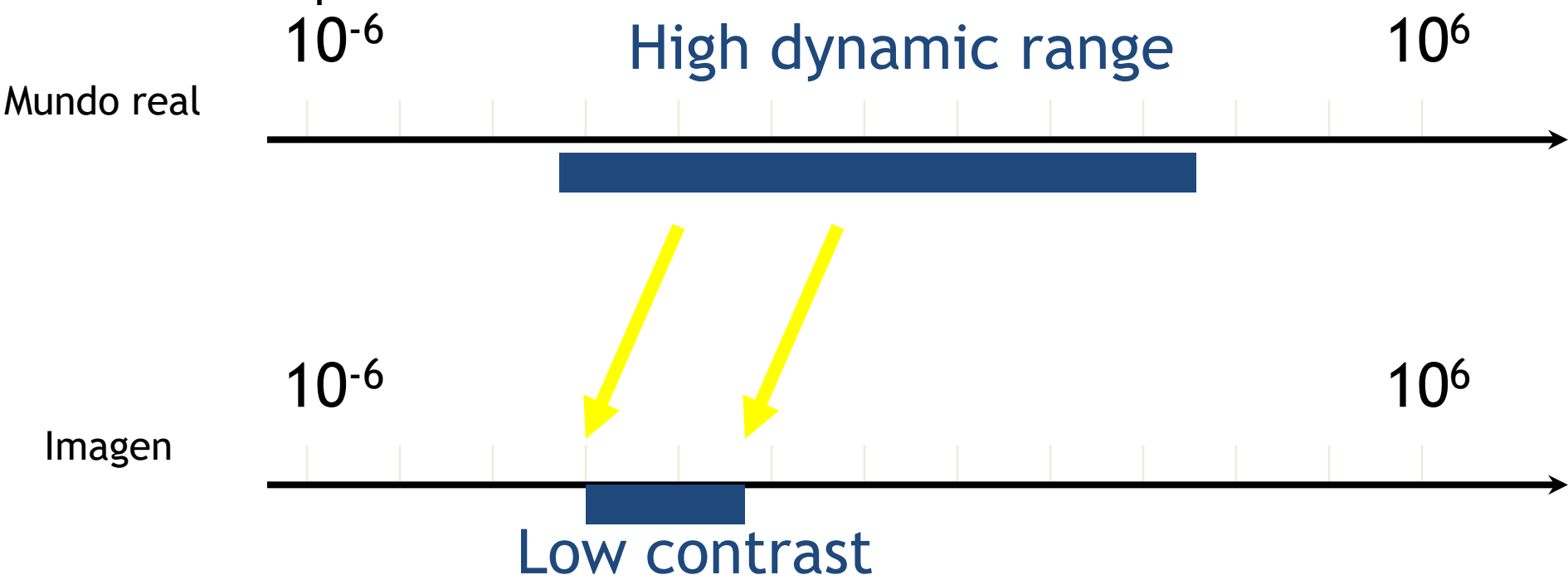
Multi exposición

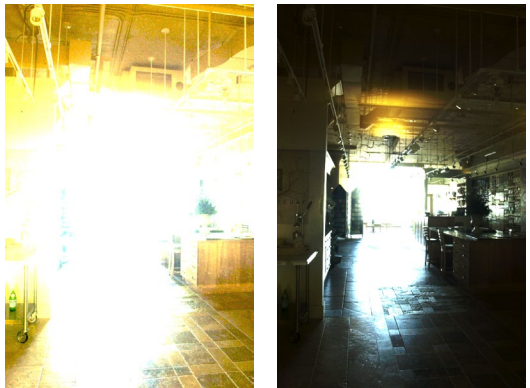


Fredo Durand

HDR

Multi exposición



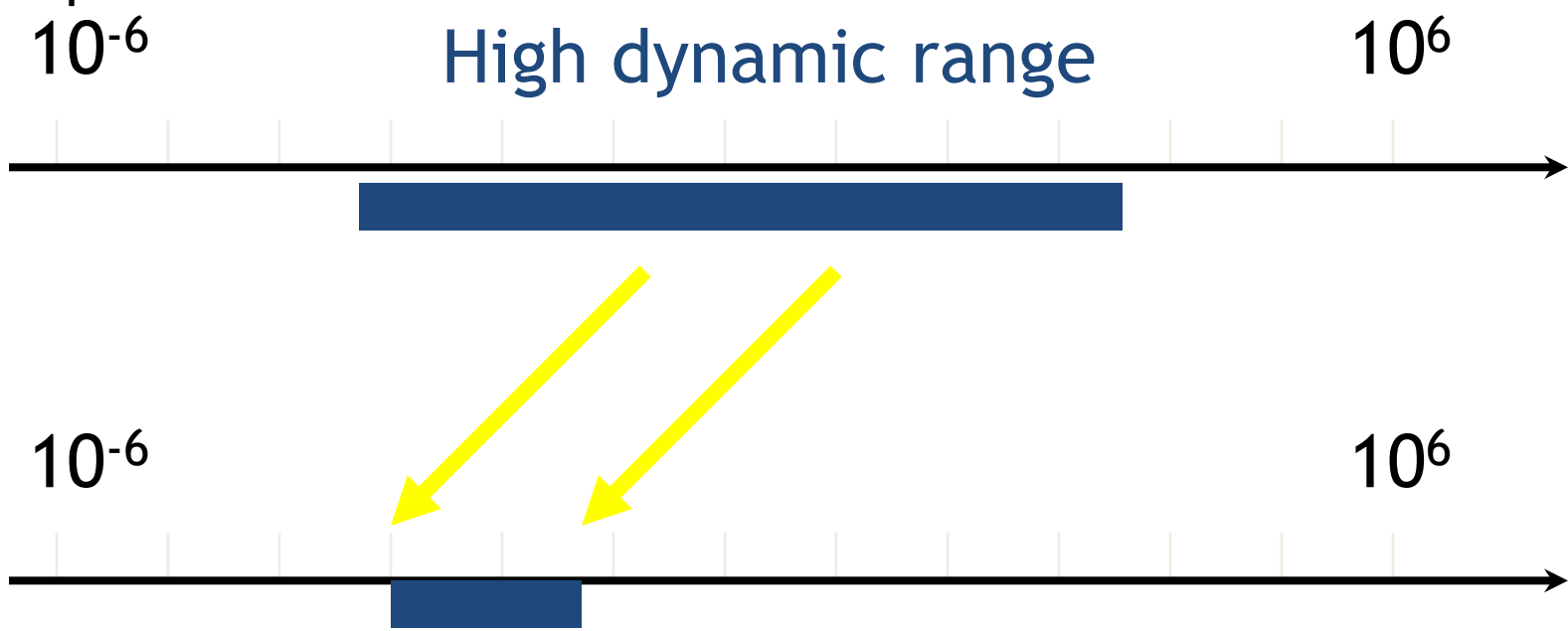


Fredo Durand

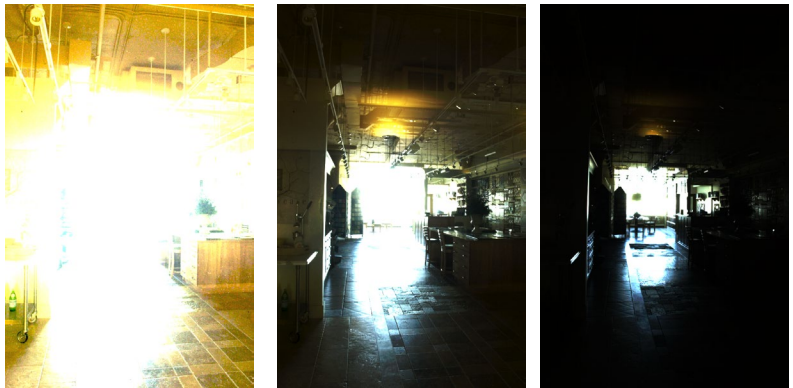
HDR

Multi exposición

Mundo real



Imagen

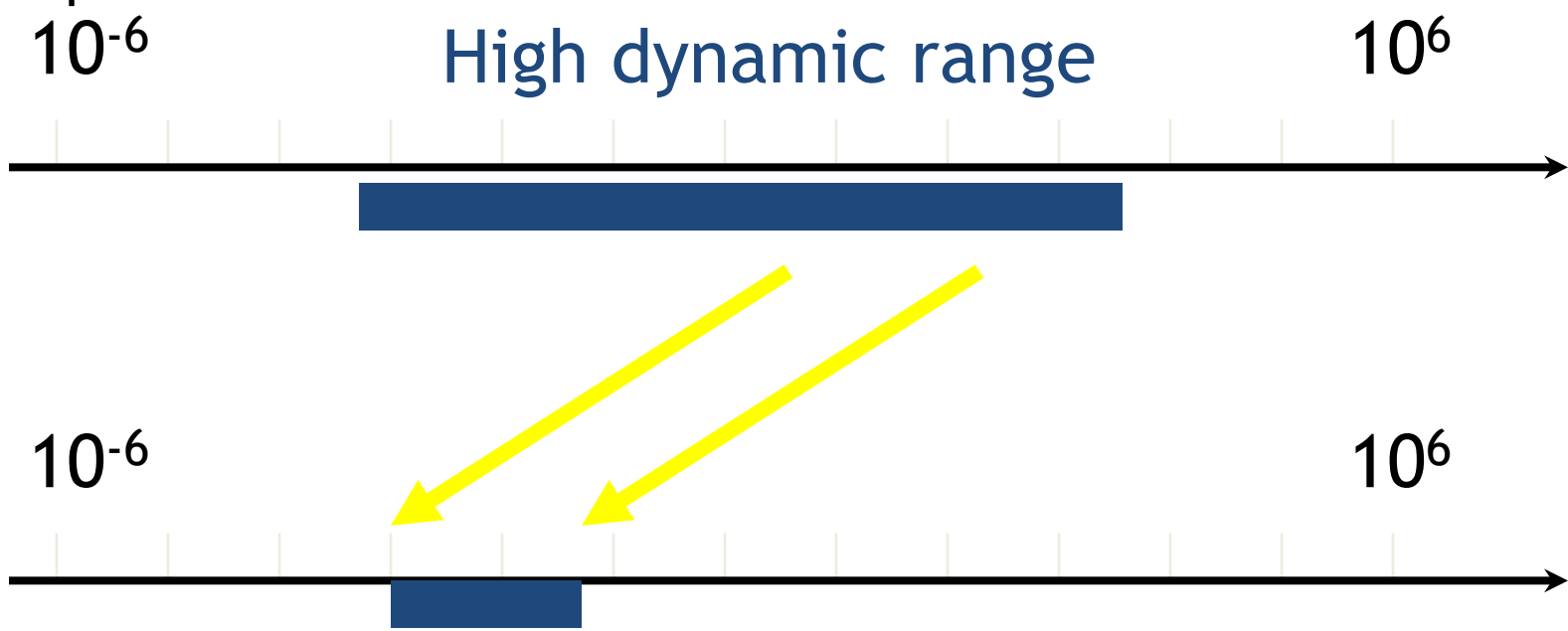


Fredo Durand

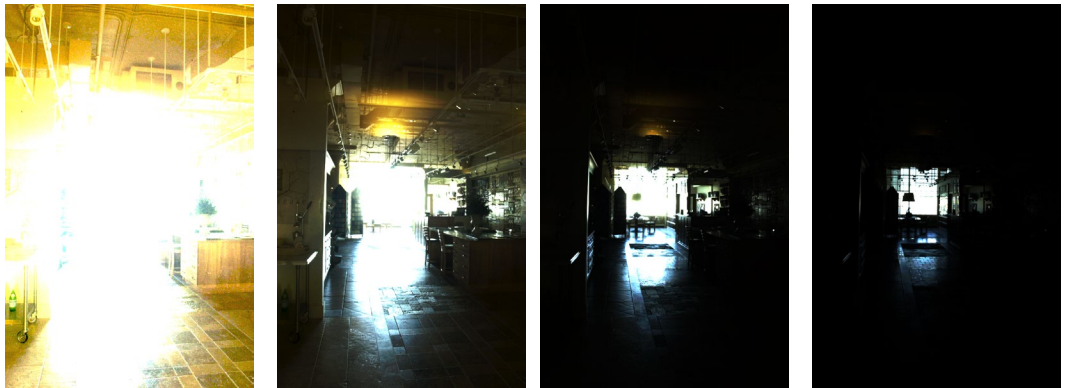
HDR

Multi exposición

Mundo real



Imagen

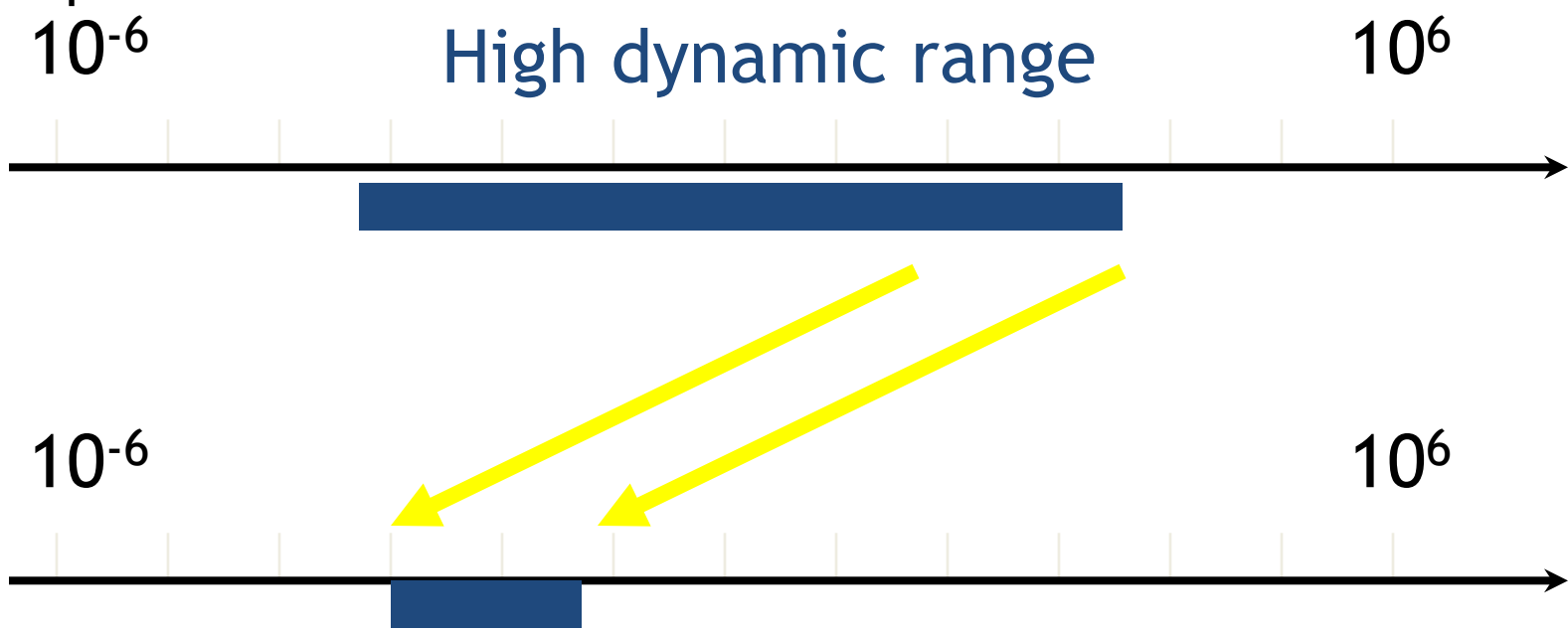


Fredo Durand

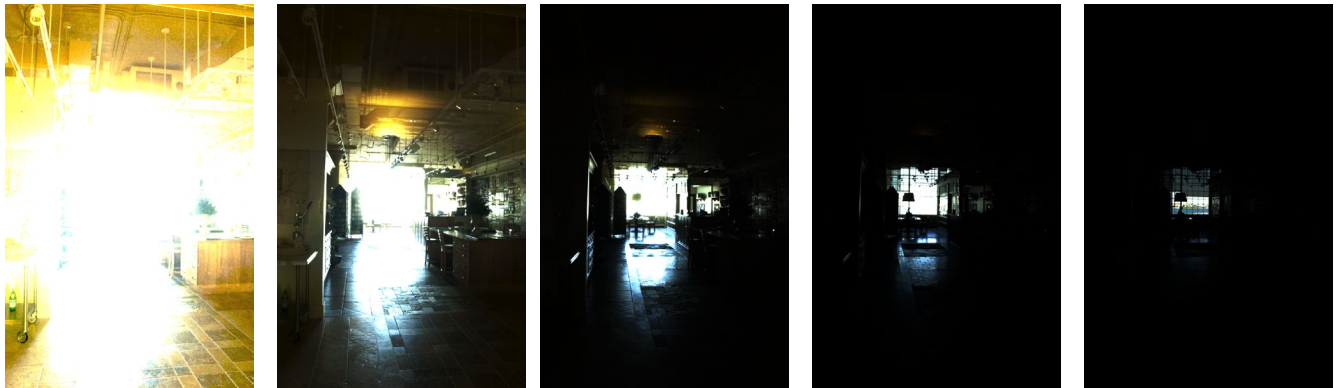
HDR

Multi exposición

Mundo real



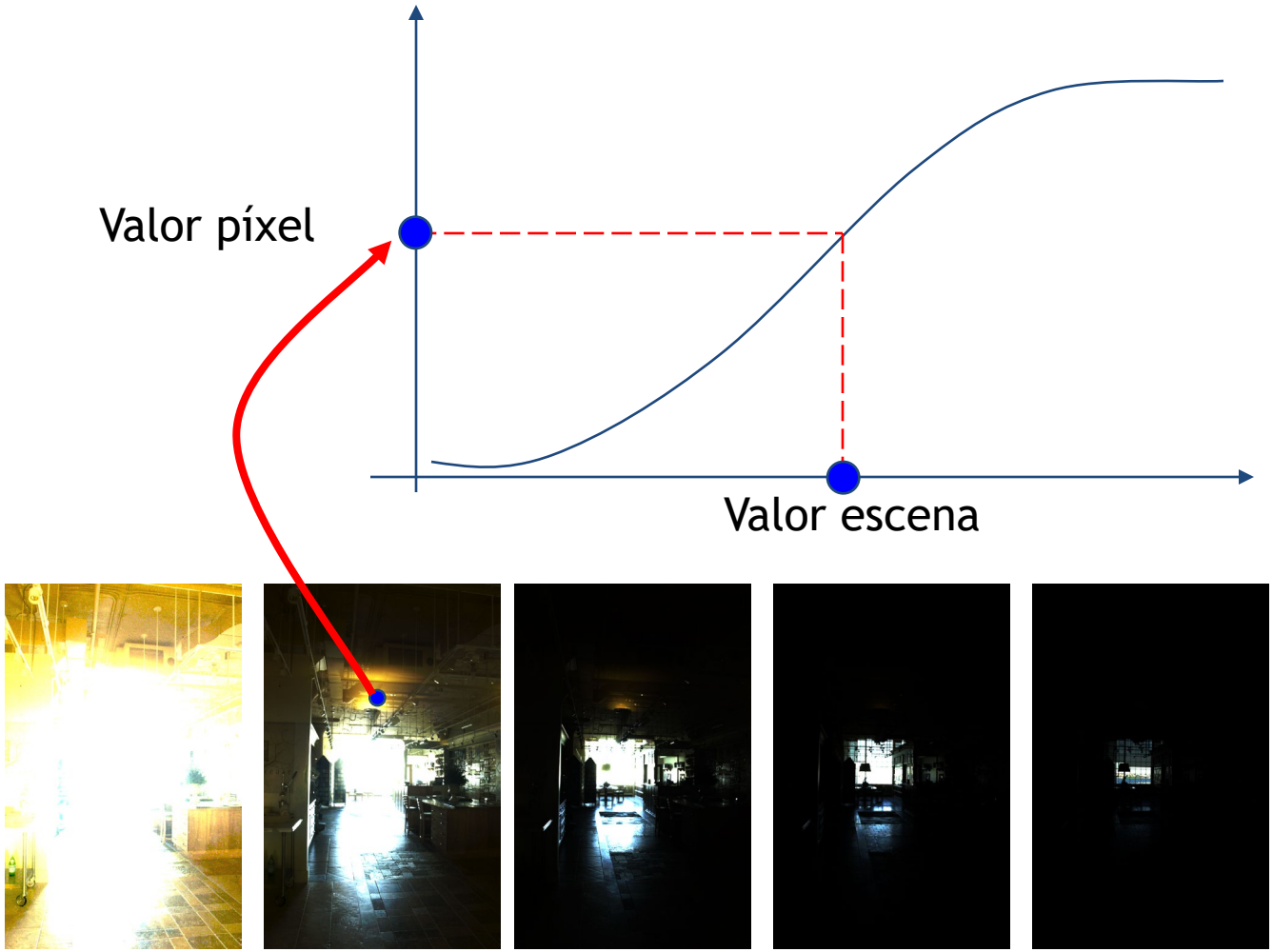
Imagen



Fredo Durand

HDR

Función de respuesta



Fredo Durand

HDR

Función de respuesta

Δt = 10 seg

Δt = 1 seg

Δt = 1/10 seg

Δt = 1/100 seg

Δt = 1/1000 seg

Adaptada de P. Debevec

Con *E* exposición y *R* radiancia o brillo

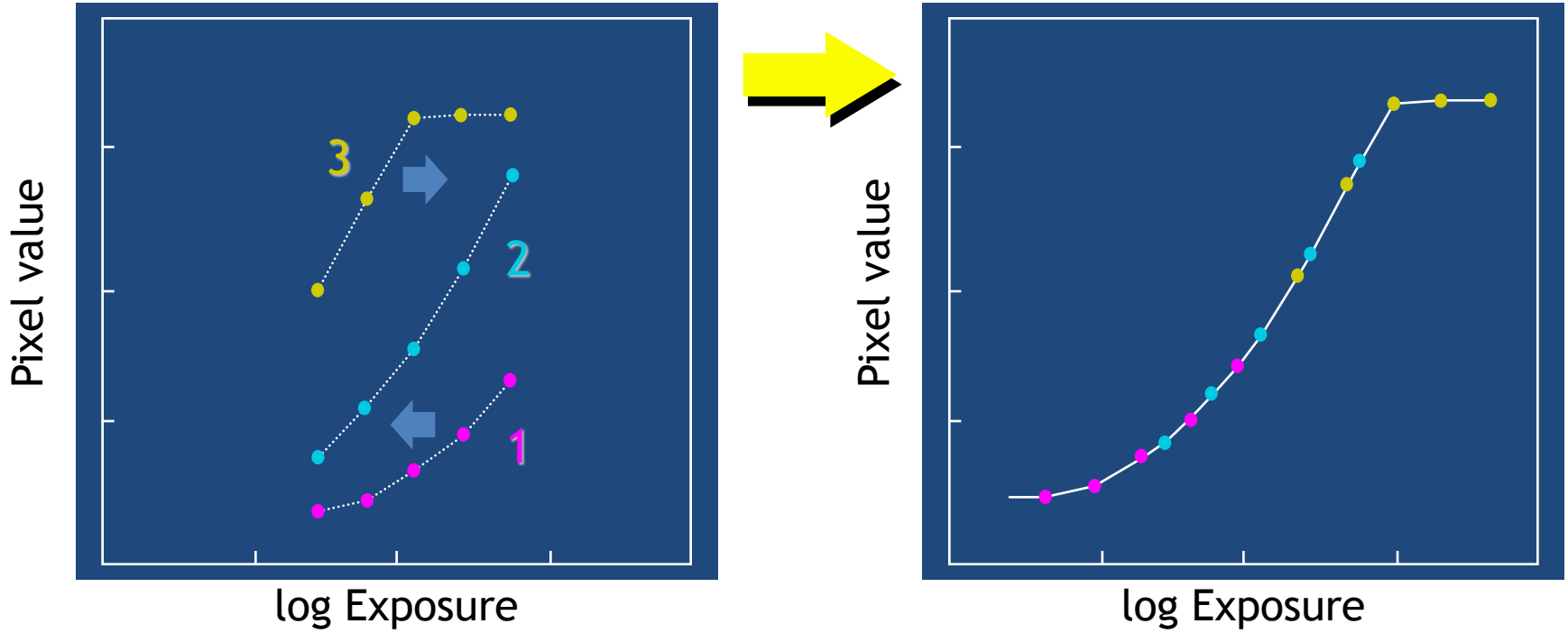
$$valor\ del\ píxel = f(E)$$
$$E = R \cdot \Delta t$$
$$\log E = \log R + \log \Delta t$$

HDR

Función de respuesta

Para cada pixel con R = 1

Ajusta R obteniendo curva



P. Debevec

HDR

Formato imágenes 8 bits (tif, bmp, jpg, etc.)

Adecuado para monitores e impresoras

Menos adecuado para película, no adecuado para HDR

Formato Radiance 32 bits por píxel (.hdr)

Codificación no lineal, frecuente curva gamma

También RGBE o Greg Ward *real pixels*

Flexibilidad sin llegar a 16 o 32 bits por canal

(145,215,87,149)= (145,215,87)*$2^{149-128}$=(1190000,1760000,713000)

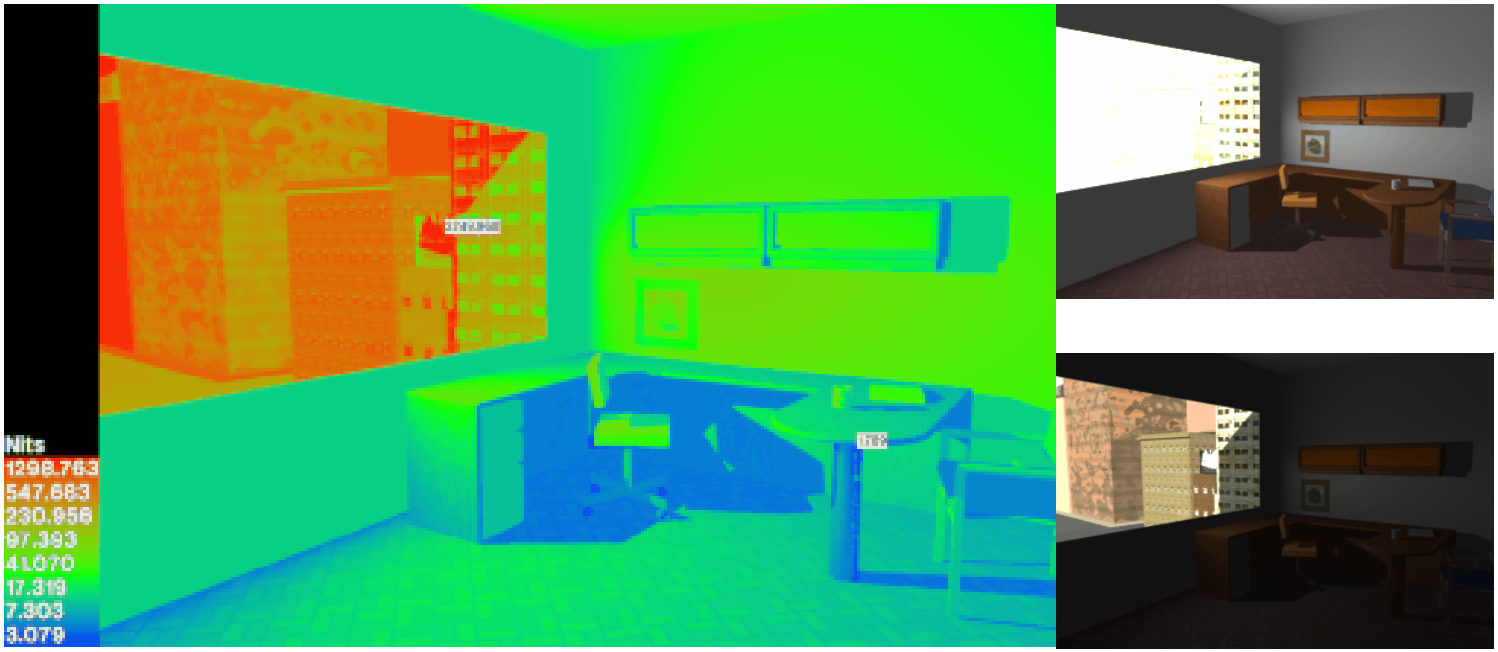
(145,215,87,103)= (145,215,87)*$2^{103-128}$=(0.00000432,0.00000641,0.00000259)

HDR

Mapeo tonal

Pasar HDR al nº de bits del dispositivo, p.e. 8 por canal

Mantener detalles

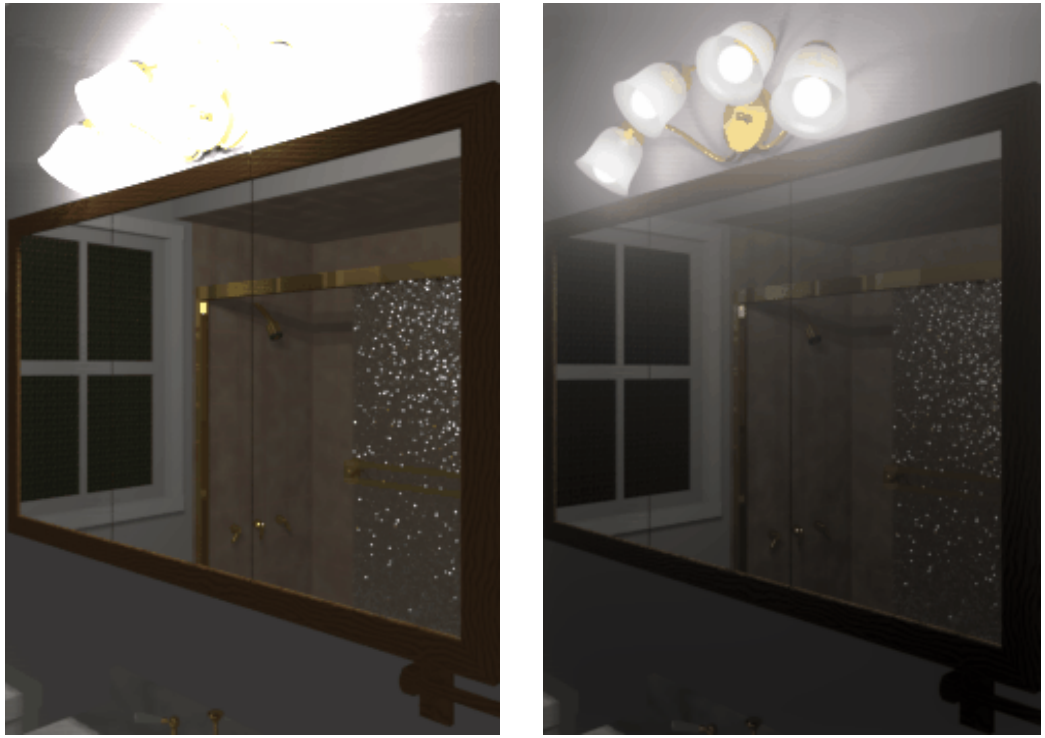


Greg Ward

HDR

Mapeo tonal

Lineal poco flexible



Greg Ward

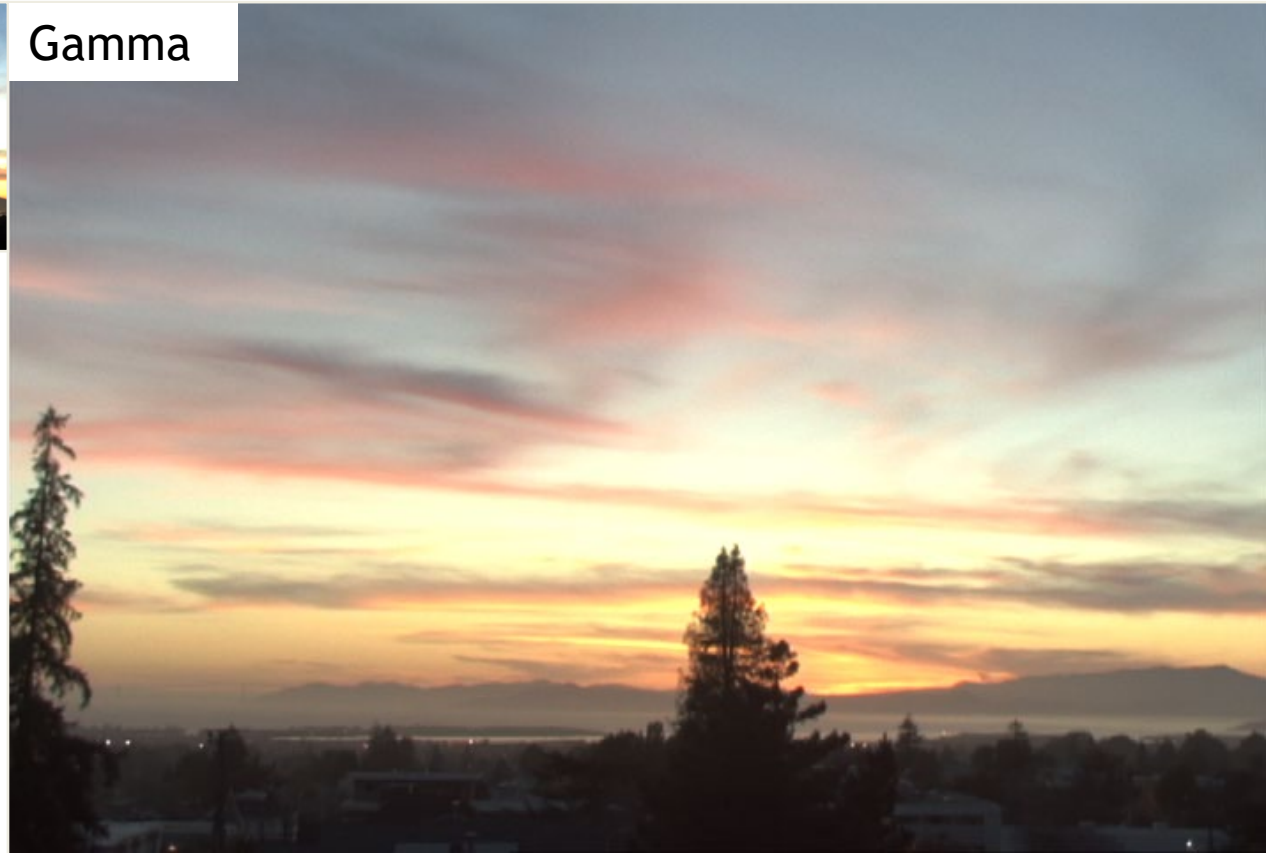
HDR

Global: Corrección gamma

Operación no lineal de codificación (γ<1) / decodificación

$$V = kV_{in}^{\gamma}$$

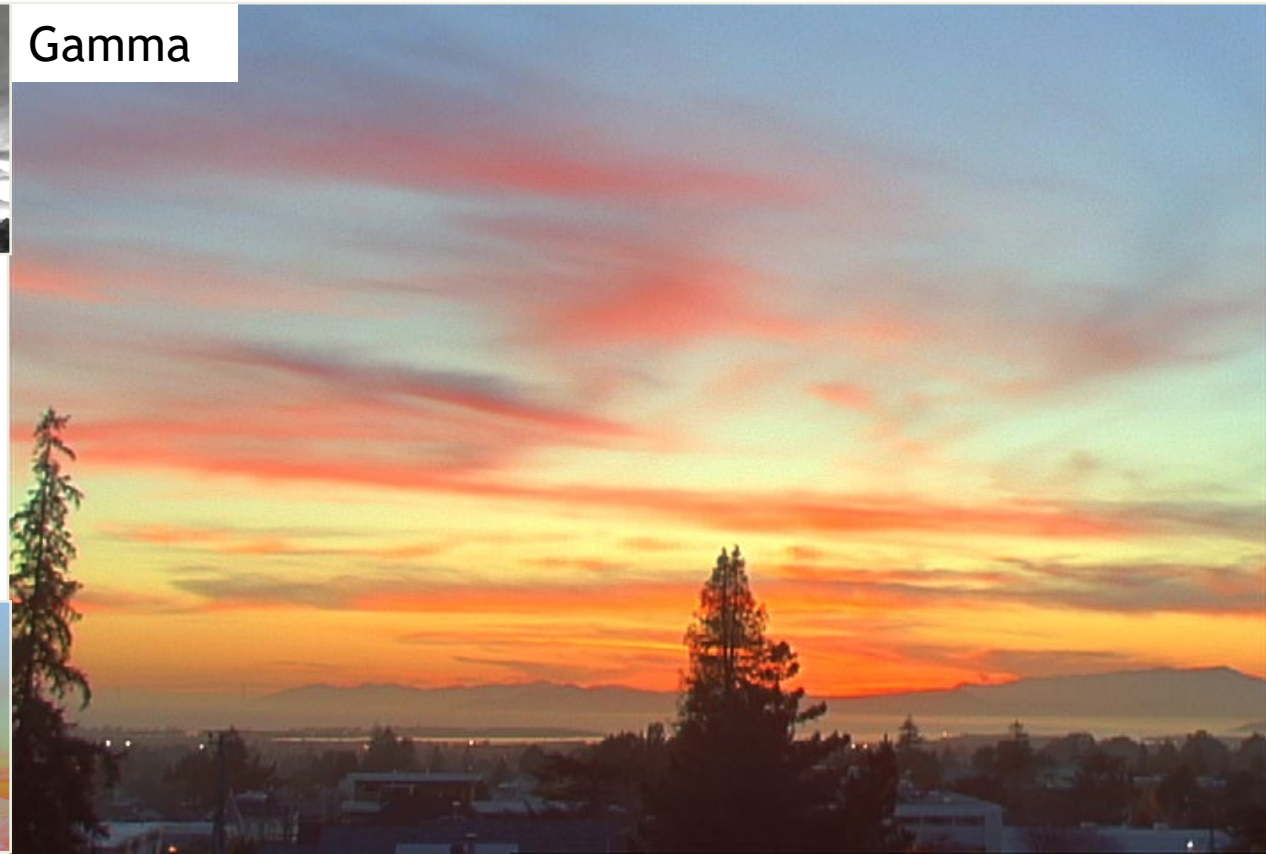
Con k=1 y γ=0.5

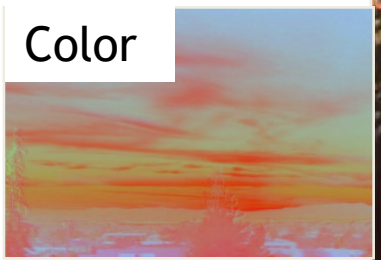


Adaptado de
F. Durand

HDR

Afecta a los colores
Corrección solo en intensidad
Mejora el color, pero hay *blur*

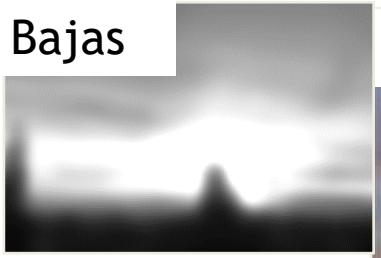


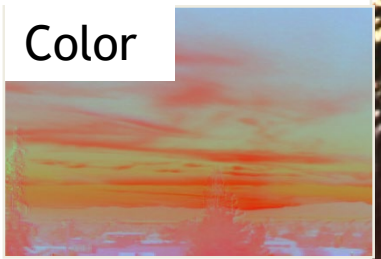


Adaptado de
F. Durand

HDR

Reducir contraste de bajas frecuencias
Mantener en altas

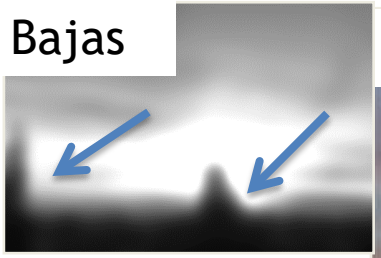


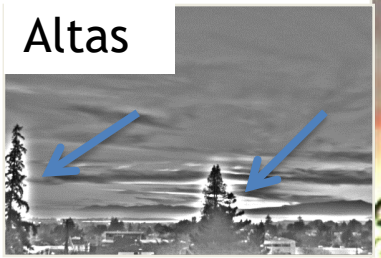


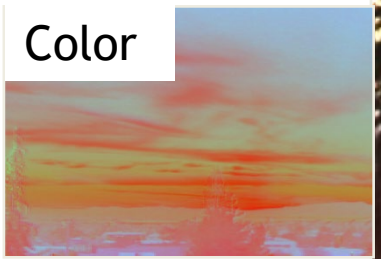
Adaptado de
F. Durand

HDR

Reducir contraste de bajas frecuencias
Mantener en altas
Halos en bordes fuertes, altas frecuencias







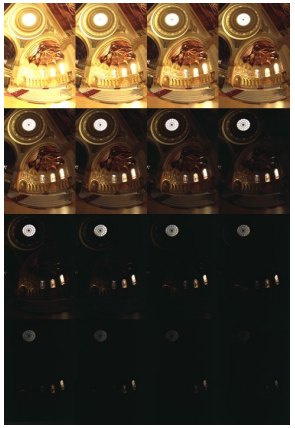
Adaptado de
F. Durand

HDR

Evitar bordes, filtrado no lineal

Adaptado de
F. Durand

HDR



OpenCV

Fusión con Robertson o Mertens (sin cálculo HDR)

HDR con método de Debevec

Mapeo tonal lineal, Drago, Mantiuk y Reinhard

Subexpuesta

Expuesta

Sobreexpuesta

Lineal

Mantiuk

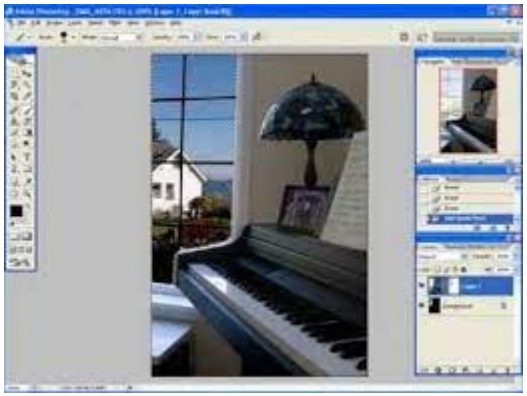
Drago

Reinhard

HDR

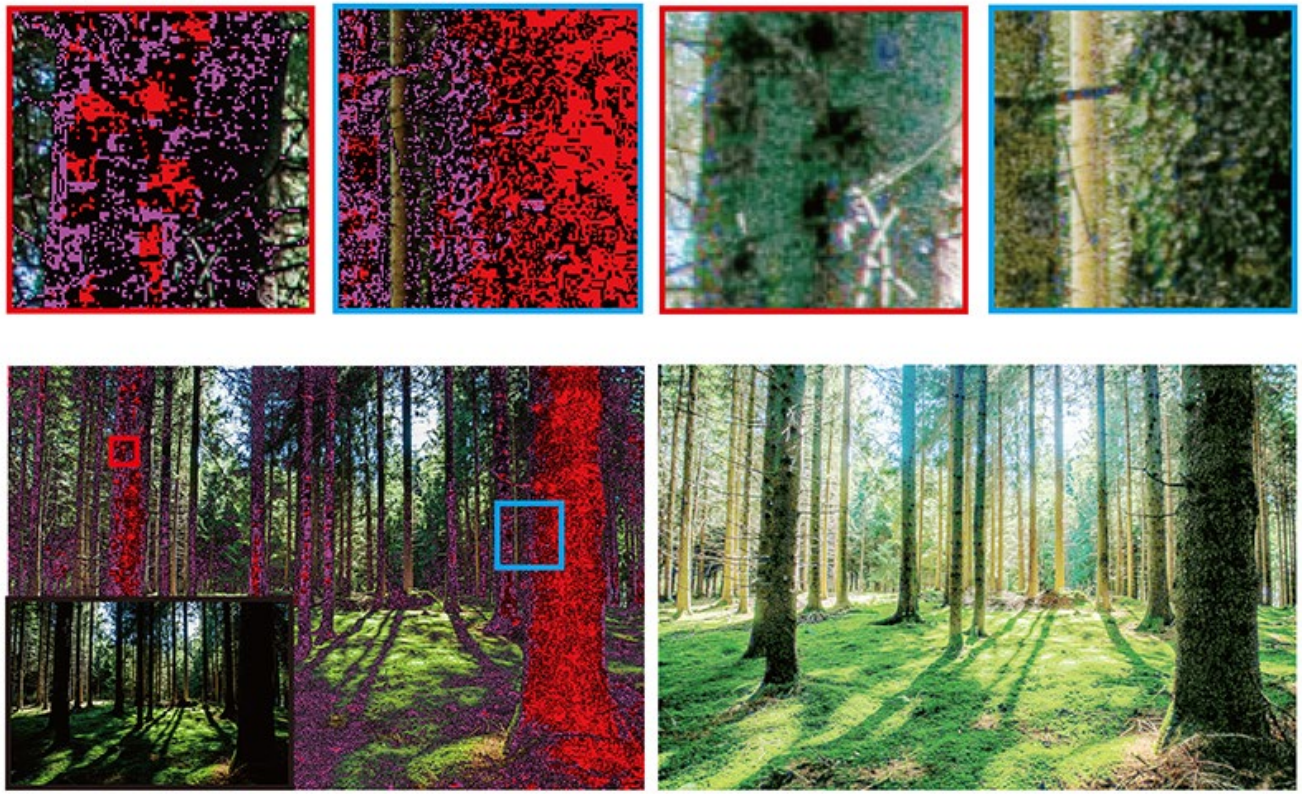
Basado en gradiente (Fattal et al.)

Interactivo (2006)



HDR

[Awesome-Deep-HDR]



Input image (inset) and clipped pixels

Our result

HDR

Raw (12-14 bits depende fabricante) en lugar de jpeg

Evita calcular mapa hdr

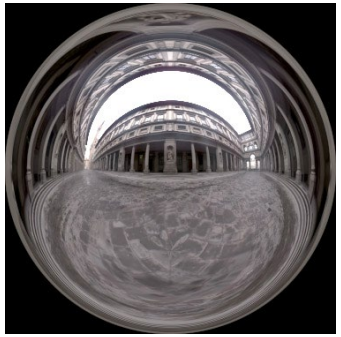
Directamente mapeo tonal

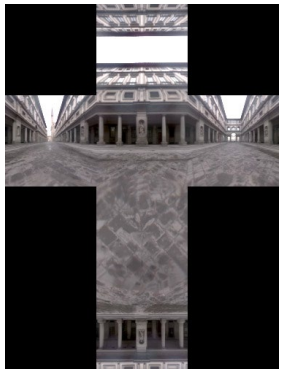
HDR

Iluminación del mundo real (HDRShop)

Bolas espejos, captura 10 imágenes con diversa exposición

Imágenes omnidireccionales





Formato hdf

Iluminación de objetos

Radiance

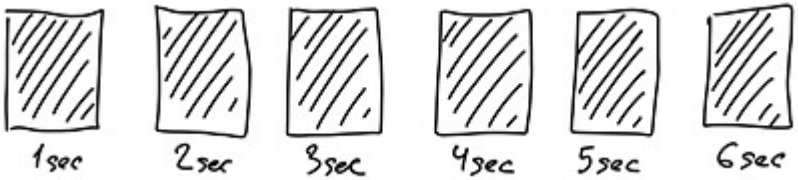
Rendering with natural light, P. Debevec

HDR

HDR no aplicable en escenas poco iluminadas

Time Stacking: larga exposición y *time lapse*

HDR+



HDR

HDR

HDR+

Mateado

Mateado de imágenes y composición (*image matting*)

Extraer objeto de imagen y pegarlo con otro fondo

Mateado

Mateado de imágenes y composición (*image matting*)
Extraer objeto de imagen y pegarlo con otro fondo

Efectos especiales en cine, edición de fotografía, etc.

Mateado

Mateado de imágenes y composición (*image matting*)
Extraer objeto de imagen y pegarlo con otro fondo

Efectos especiales en cine, edición de fotografía, etc.

Técnicas de segmentación

Dificultades en fronteras

Mateado

Copia efectiva del objeto *F* sobre un fondo *B*

Requiere opacidad parcial para la composición

$$C = (1 - \alpha)B + \alpha F$$

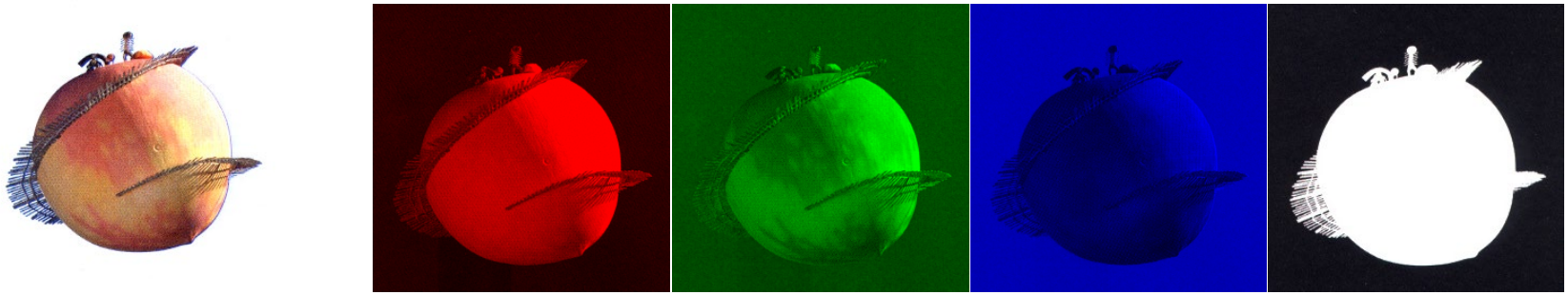
Mateado

Copia efectiva del objeto *F* sobre un fondo *B*

Requiere opacidad parcial para la composición

$$C = (1 - \alpha)B + \alpha F$$

Canal α, 32 bits RGBA



The Art & Science of Digital Compositing

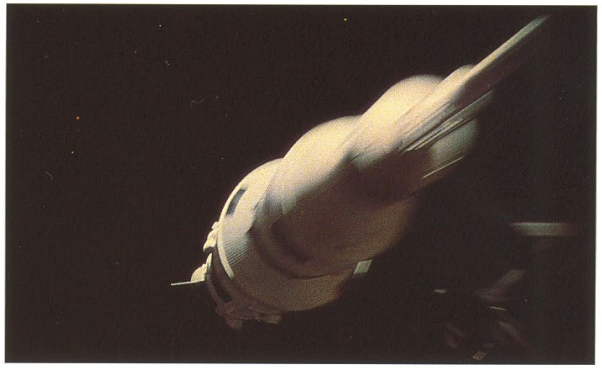
Interpretaciones:

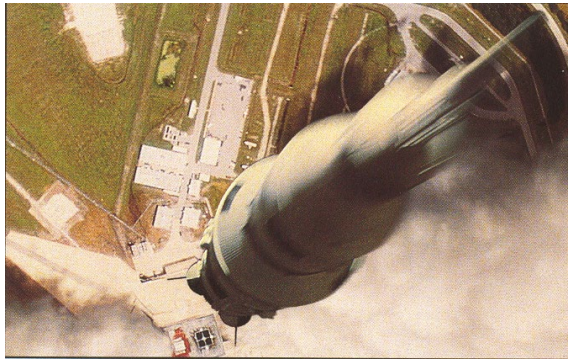
- Premultiplica, color R/α, G/α, B/α
- Color R,G,B y se multiplica por α en la composición

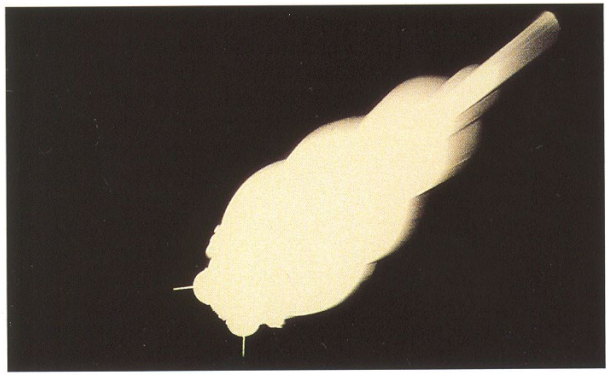
Mateado

Canal alpha

Valor entre 0 y 1 para oclusión parcial







Digital Domain

Mateado

No modela fenómenos complejos, p.e. vidrio tintado o lupa

Mateado

Operación inversa, separar figura *(F)* y fondo (*B*)
Estimar *F*, *B* y α desde *C*
No trivial

$$C = (1 - \alpha)B + \alpha F$$

Chuang et al.

Mateado

Operación inversa, estimar *F*, *B* y α desde *C*, no trivial

$$C = (1 - \alpha)B + \alpha F$$

Para cada píxel, 7 incógnitas:

- Tripleta *F*
- Tripleta *B*
- α

Si el fondo es conocido (pantalla azul/verde) se reduce a 4

$$C - \alpha F = (1 - \alpha)B$$

Mateado

Pantalla azul (*blue screen matting*)
Asume fondo, *B*, de color constante
Color no presente en *F*

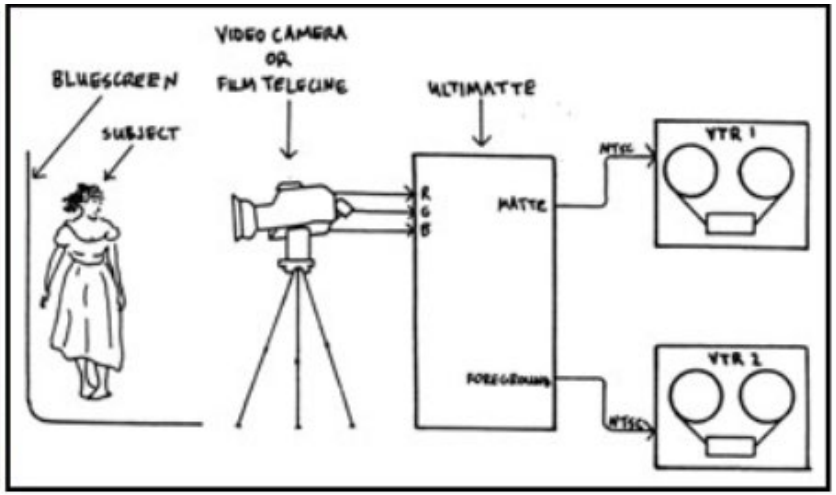
Creado por Larry Butler (1940) y mejorado por Petro Vlahos

Originalmente azul, hoy más el verde

Cinefex

Mateado

Pantalla azul (*blue screen matting*)



P. Hanrahan y M. Levoy

Natural matting

Nada conocido del *B*

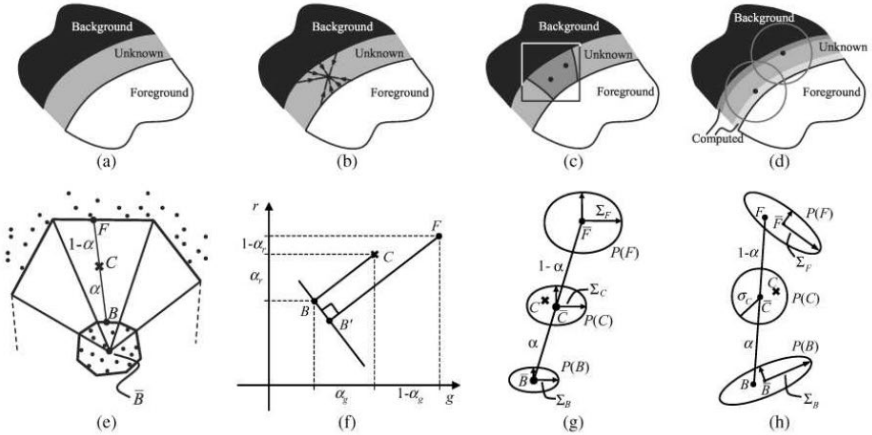
Disponible segmentación grosera, *trimap*:

- *F* seguro
- *B* seguro
- Indeterminado

Estimar *F*, *B* y α en zona indeterminada

Variedad aproximaciones

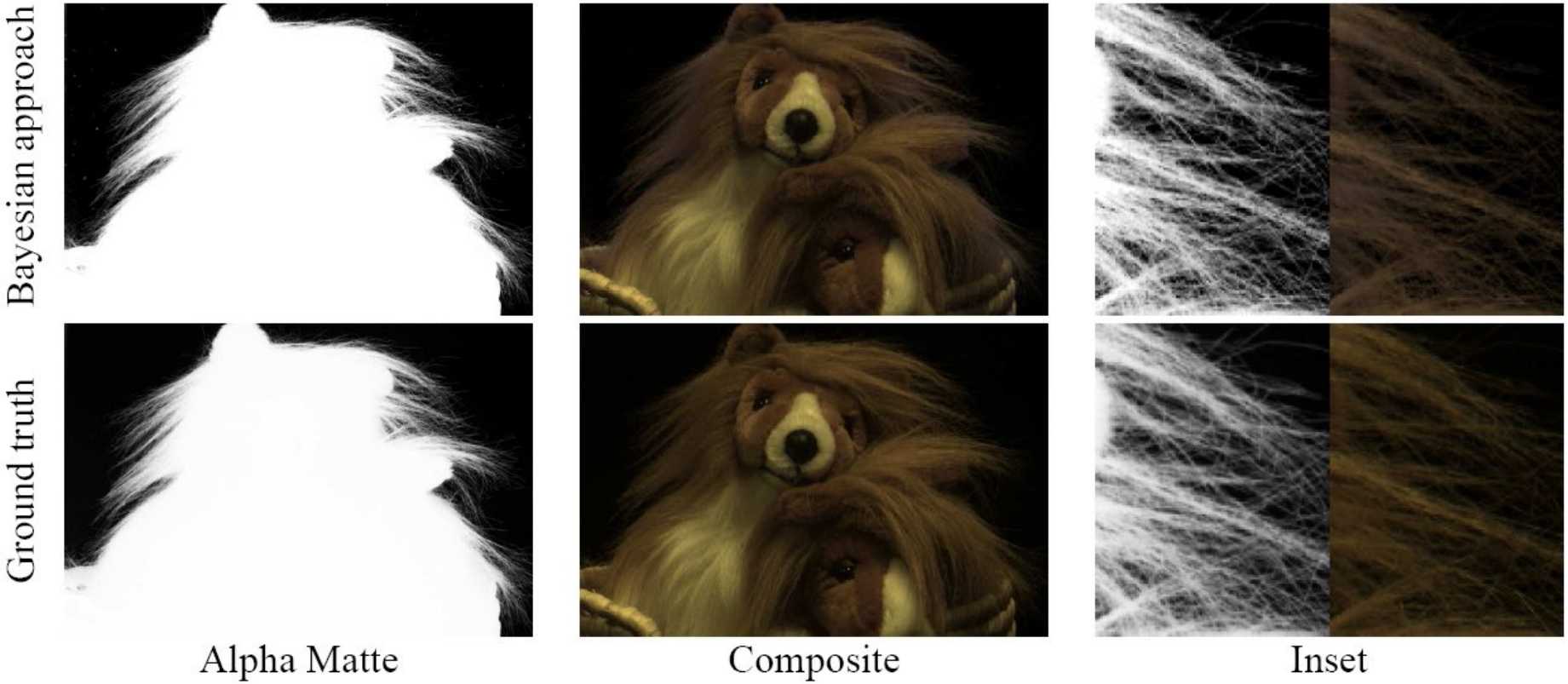
Chuang et al.



Mishima Knockout Ruzon–Tomasi Bayesian

Natural matting

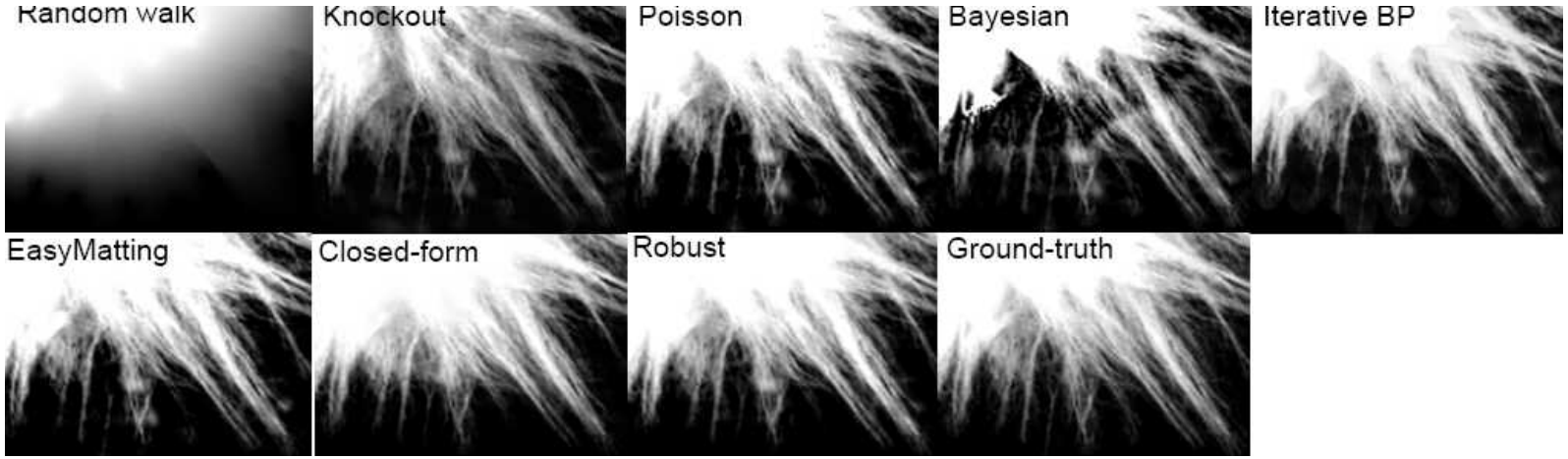
Resultados con estimación por píxel



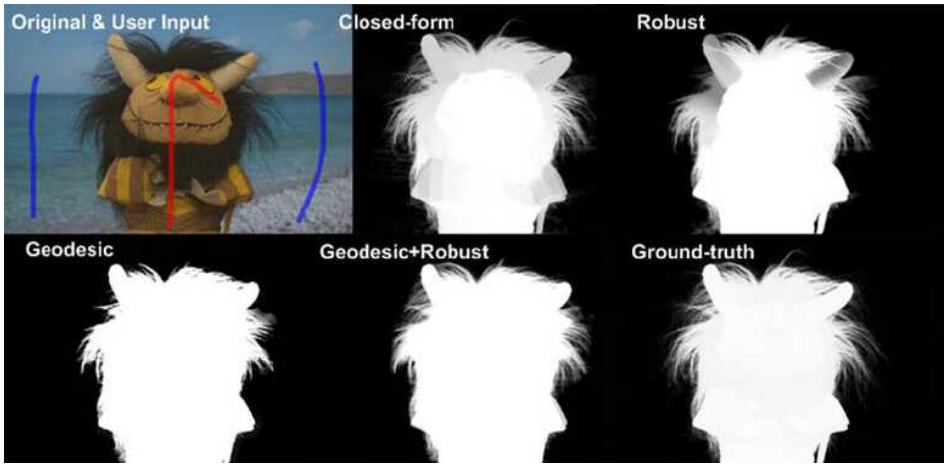
Chuang et al

Natural matting

Resultados con correlación con vecindad

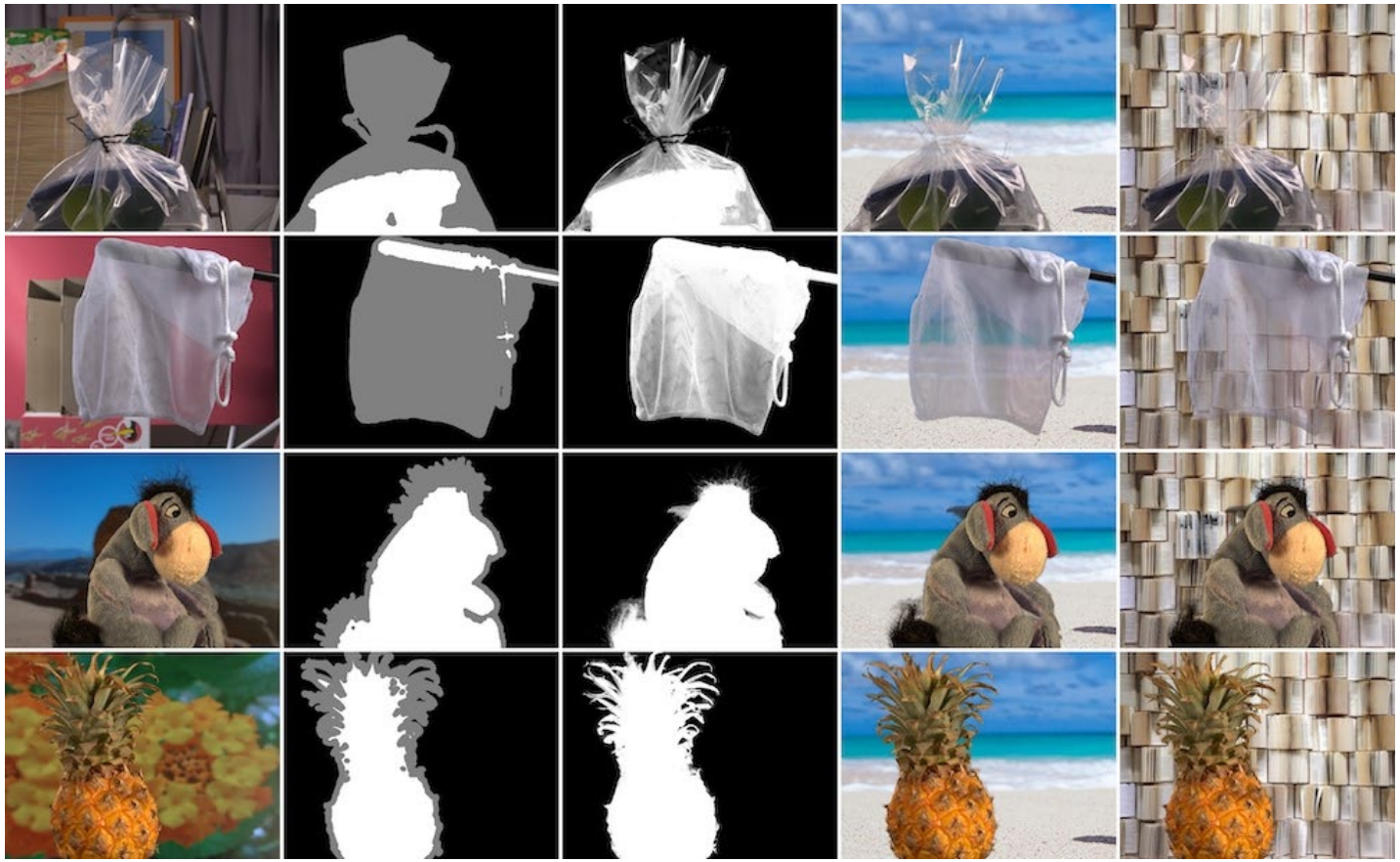


Wang and Cohen, 2009



Natural matting

OpenCV



Natural matting

Materiales traslúcidos: sombras, humo, etc.

(a) Foreground scene (b) Background scene (c) Blue screen composite (d) Our method (e) Reference photograph

Vídeo, combina con flujo óptico

Aprendizaje

Fondo y objeto con color similar

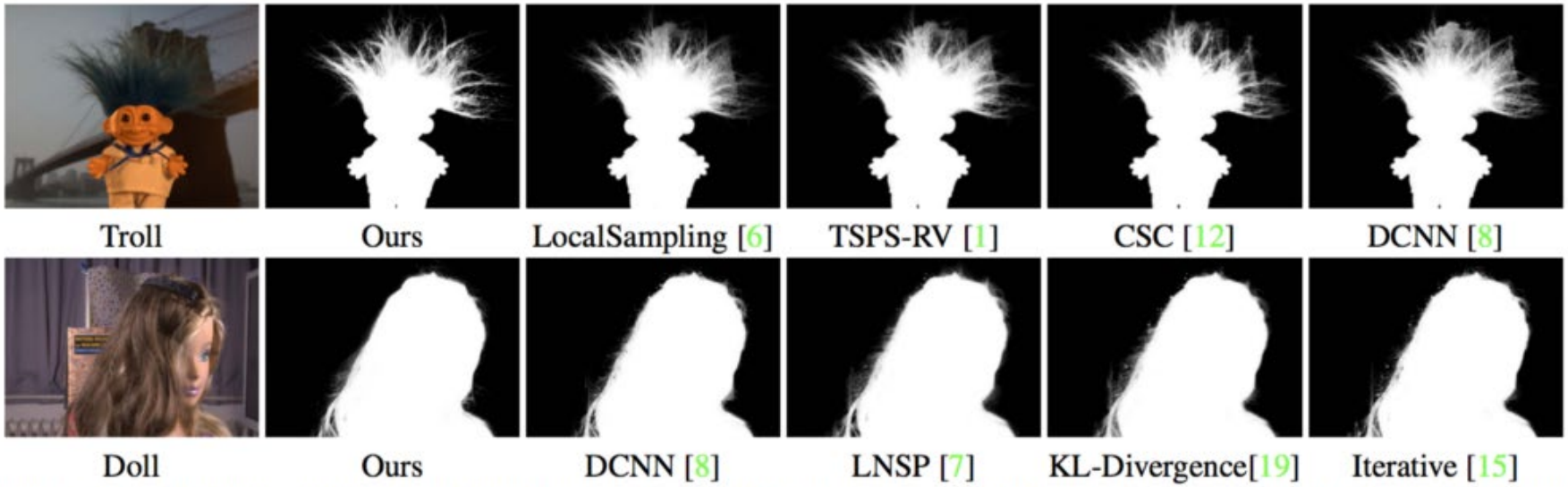


Figure 6. The alpha matte predictions of the test images "Troll" with trimap "user" and "Doll" with trimap "small". The first column shows the test images. For each test image, the 1st ranked result to the 5th ranked result under the SAD metric are displayed from column two to column six in decreasing orders. In both examples, our method achieves the best results.

Erase.bg

Xu et al. Deep Image Matting, 2017

Aprendizaje

DiffusionMat

Original

DiffusionMat

Textura

M

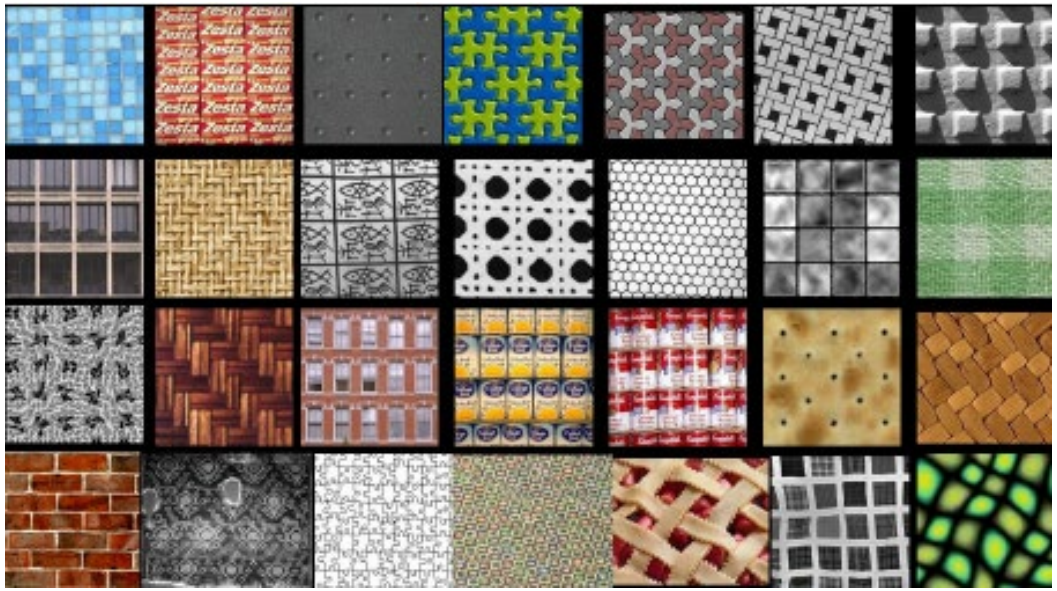
Define textura

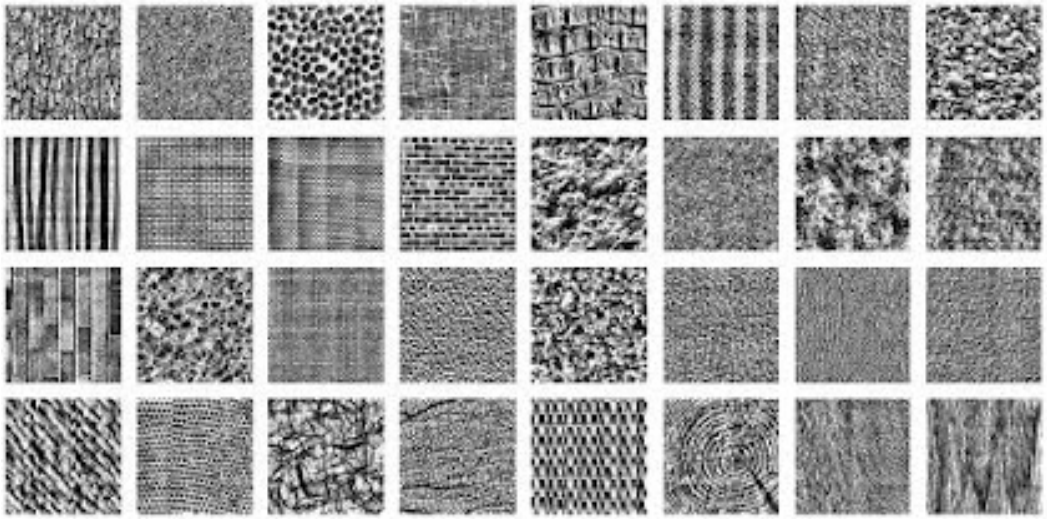
La textura se refiere a la sensación táctil o superficial de un objeto o material. También se puede referir a la estructura visual de una superficie, como la forma en que los colores, líneas y patrones se combinan en una imagen o en una pintura. La textura puede ser suave, rugosa, lisa, áspera, granulosa, lisa, entre otros.

En artes, la textura se utiliza para dar interés visual a una obra y para crear ciertas sensaciones en el espectador. Por ejemplo, una pintura con una textura áspera y rugosa puede transmitir sensación de frío o de desolación, mientras que una pintura con una textura suave y sedosa puede transmitir sensación de calidez y comodidad.

En resumen, la textura se refiere a las características superficiales o visuales de un objeto o material, y puede ser utilizada en diferentes campos, como el arte, la arquitectura y la diseño de productos, entre otros.

Textura



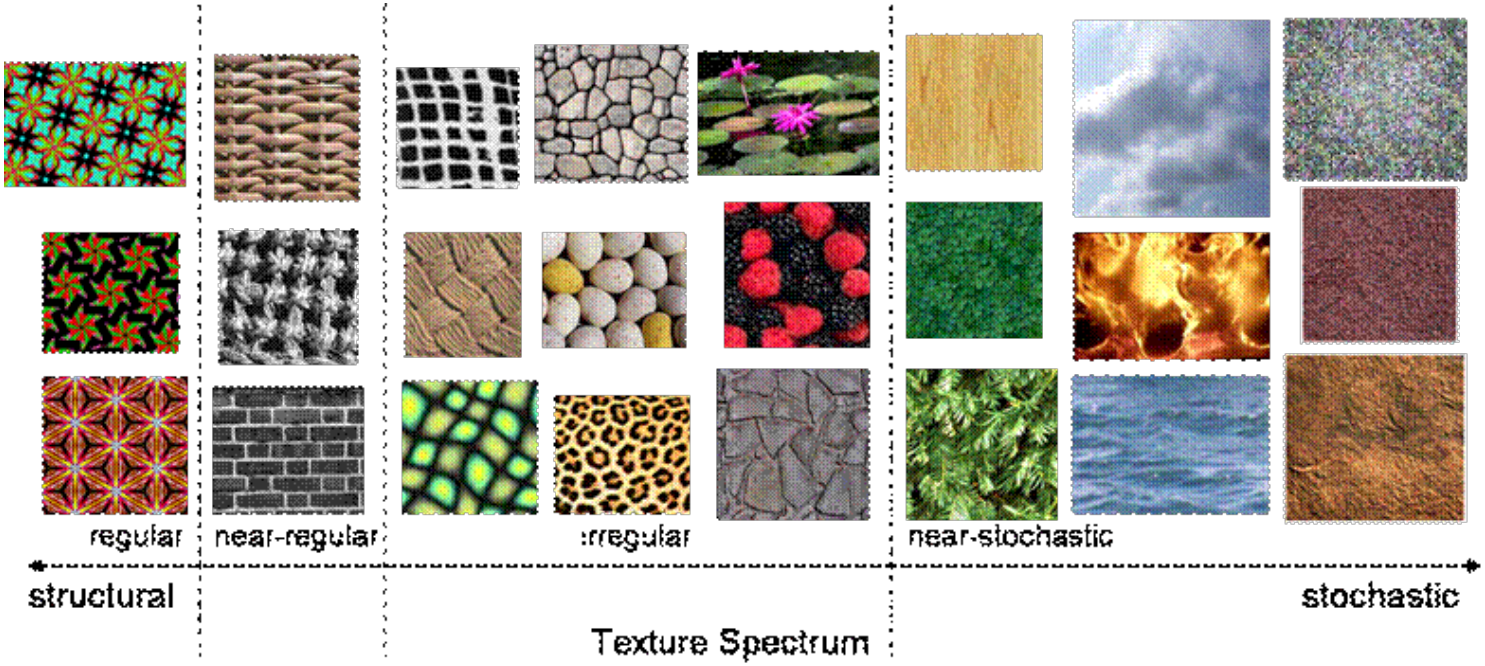


Textura

Homogeneidad de zonas

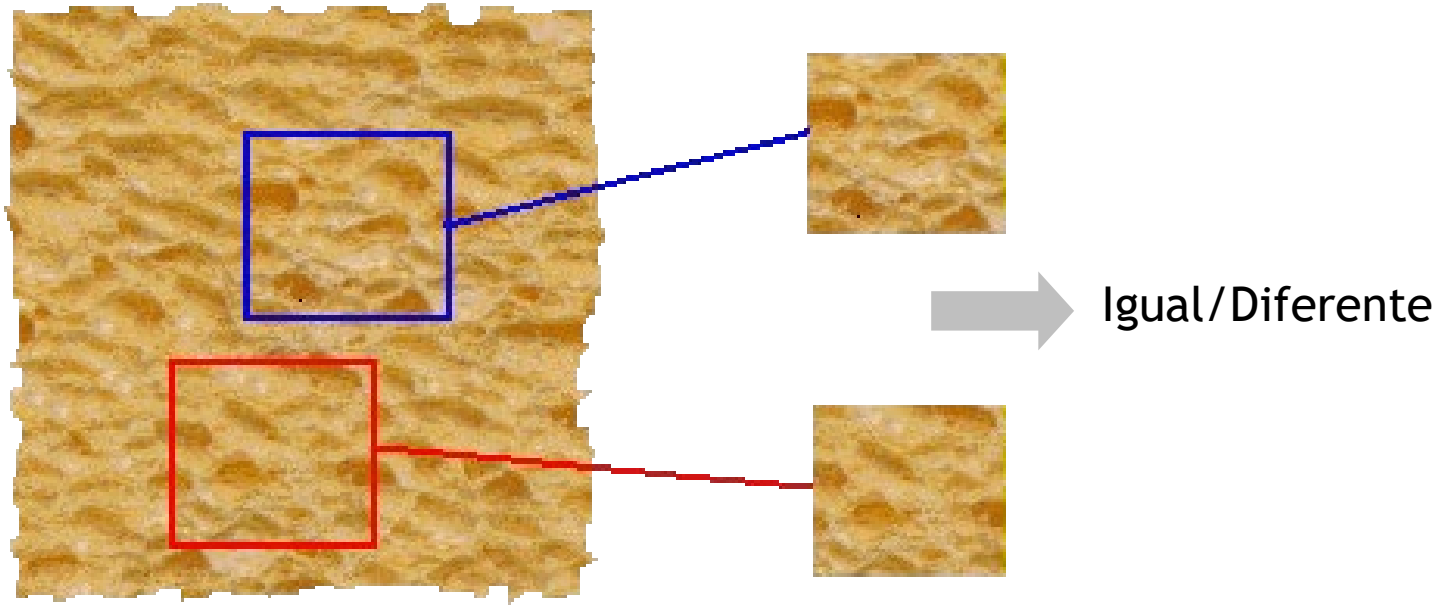
Repetición estructural y/o estadística

Sujeta a distorsiones



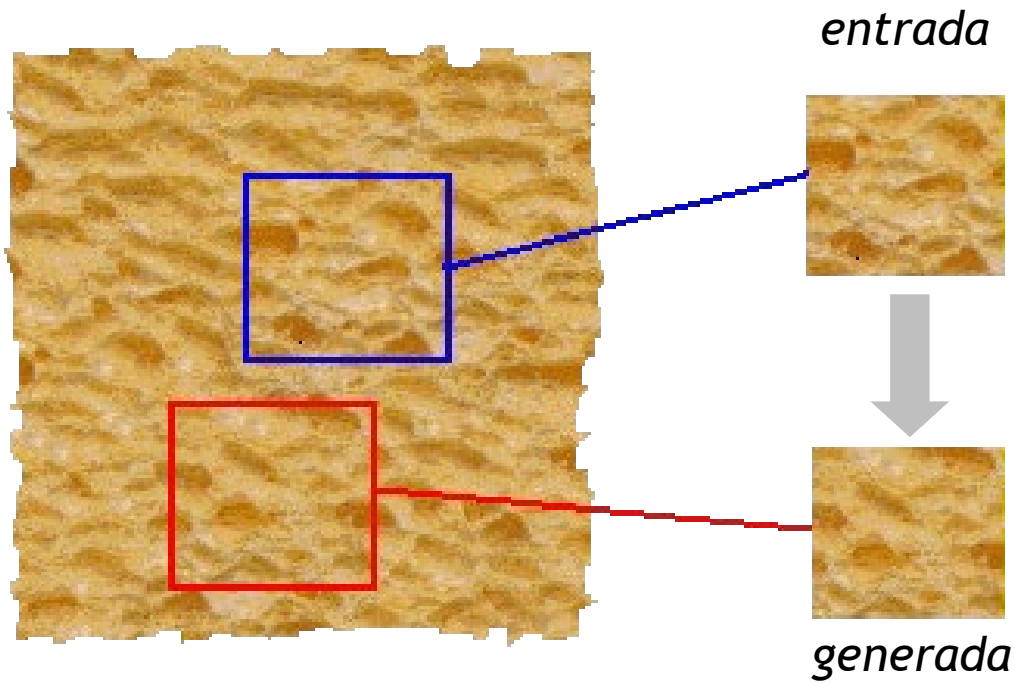
Textura

Análisis: Comparar y confirmar si son parte de lo mismo



Textura

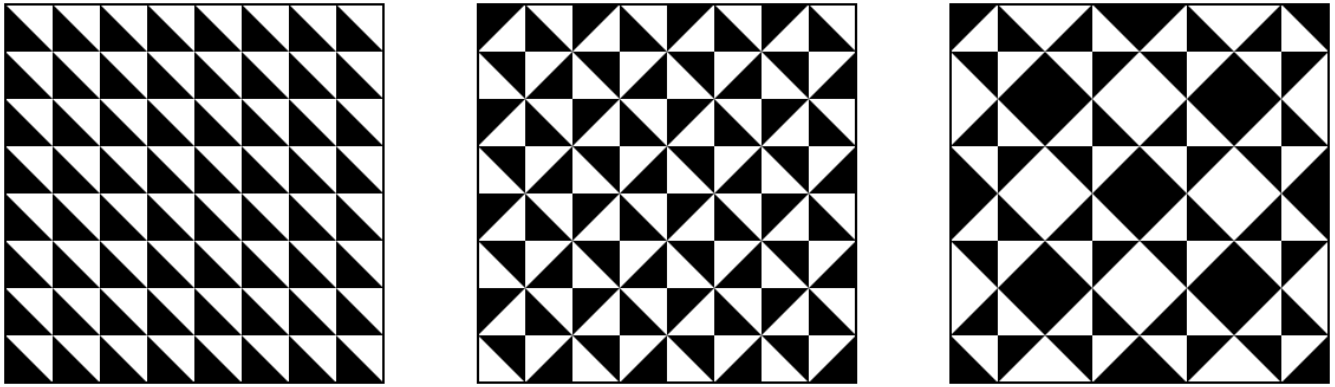
Síntesis: Dada muestra, generar imagen mayor similar



Textura

Textón: unidad básica de la textura estructural

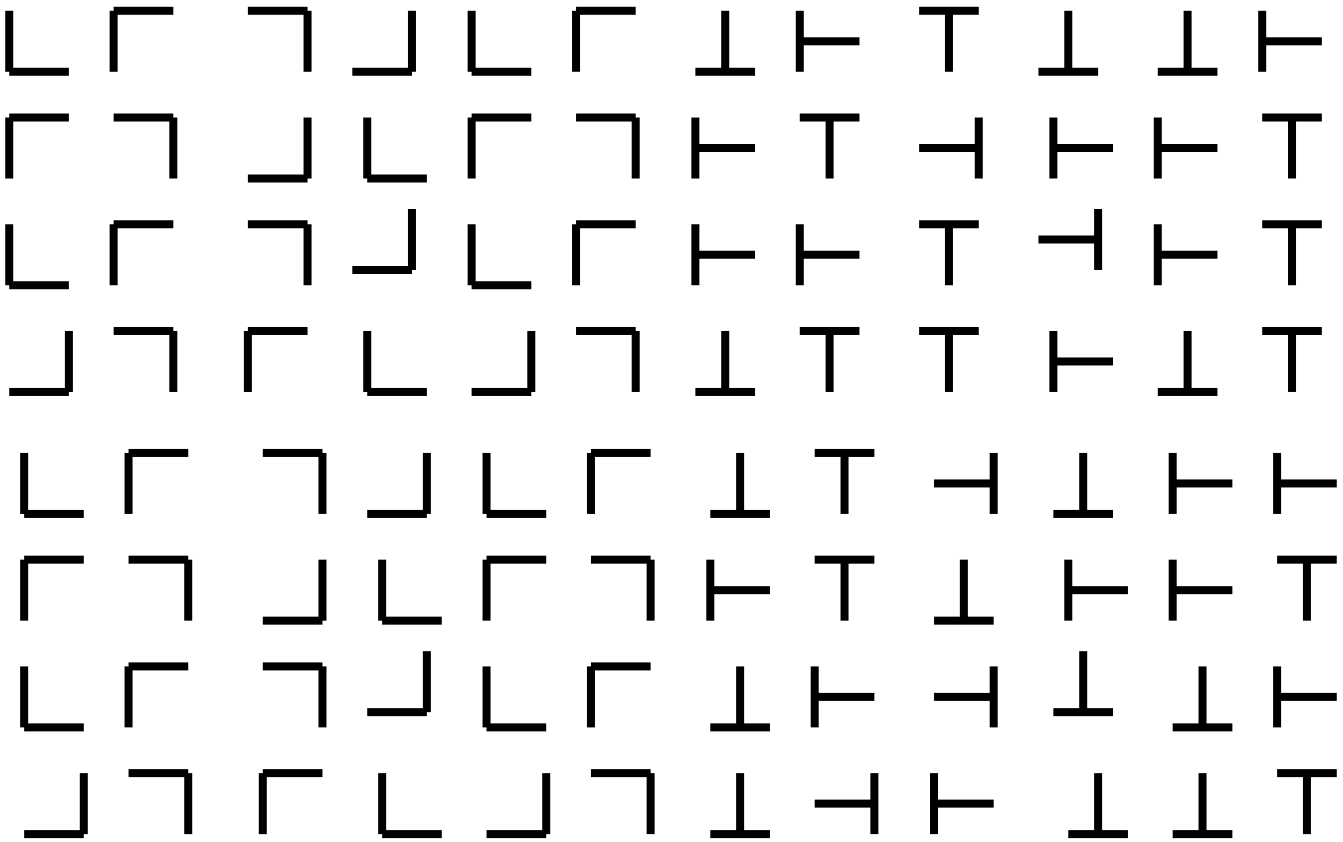
Es homogénea en forma, color, intensidad, etc.



B. Julesz. Textons, the elements of texture perception, and their interactions. Nature 1981
J. R. Bergen et al. Early vision and texture perception. Nature. 1988

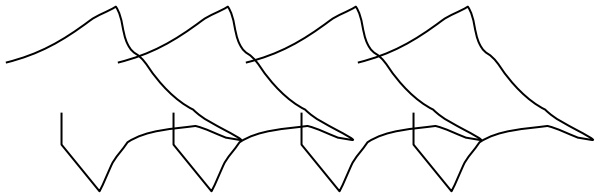
Textura

Discriminación preatentiva



Textura

Segmentar textón no siempre trivial

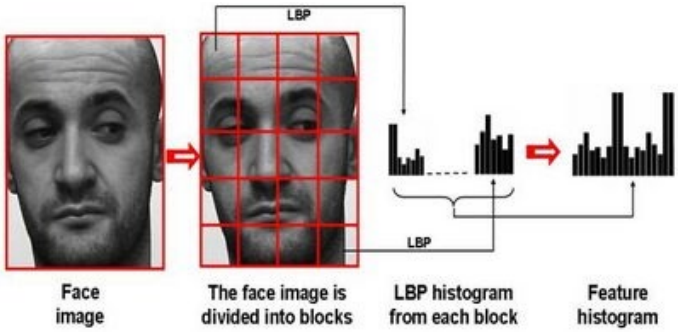


Propiedades numéricas o estadísticas de la imagen

Patronato de Turismo de GC

Textura

Estadísticos



- De primer orden
  - Histogramas (HOG, LBP, etc.)
  - Sin información de repetición
- De segundo orden
  - Pares de píxeles (*Grey Level Co-occurrence Matrix* (GLCM))
  - Contraste, disimilitud, energía, entropía, correlación, …
  - Respuesta a filtros (vecindad)

$$Energy = \sum_i \sum_j N_d^2(i,j) \tag{7.7}$$

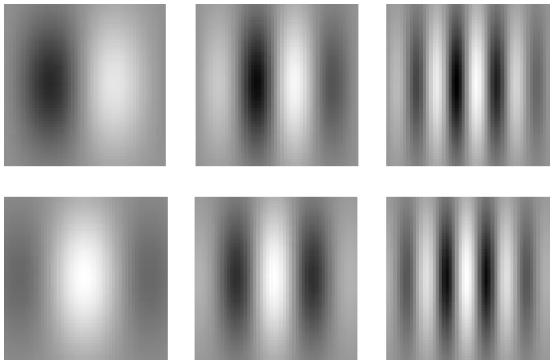
$$Entropy = -\sum_i \sum_j N_d(i,j) log_2 N_d(i,j) \tag{7.8}$$

$$Contrast = \sum_i \sum_j (i-j)^2 N_d(i,j) \tag{7.9}$$

$$Homogeneity = \sum_i \sum_j \frac{N_d(i,j)}{1+|i-j|} \tag{7.10}$$

$$Correlation = \frac{\sum_i \sum_j (i-\mu_i)(j-\mu_j) N_d(i,j)}{\sigma_i \sigma_j} \tag{7.11}$$

where μ_i, μ_j are the means and σ_i, σ_j are the standard deviations of the row and column



Textura

Síntesis de texturas: Paramétrico y no paramétrico

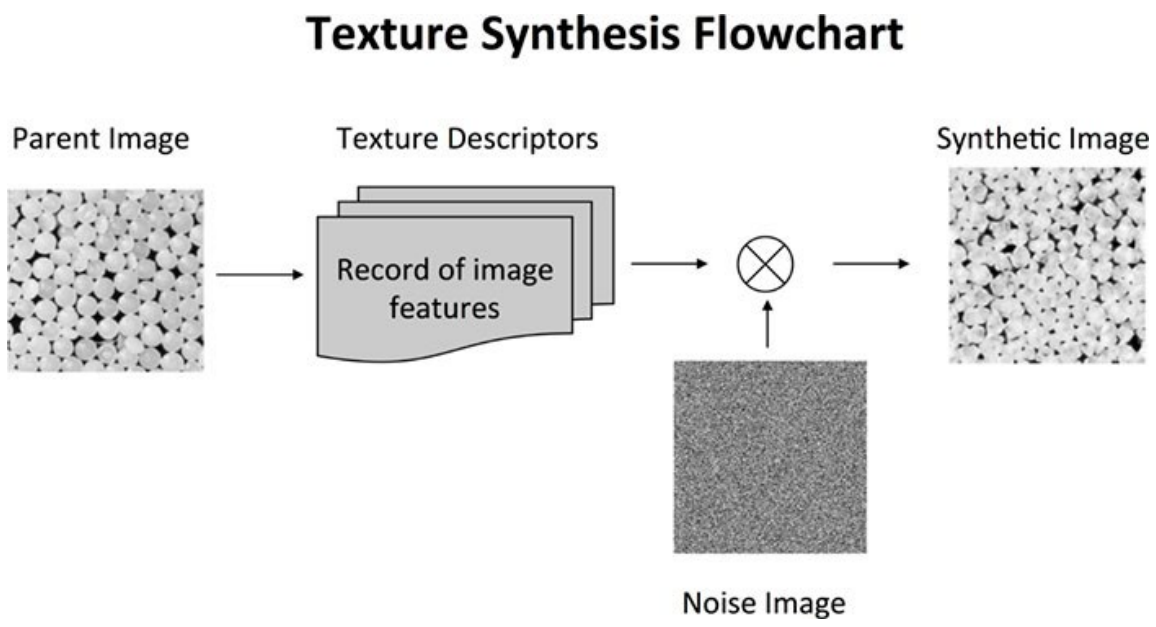
Textura

Síntesis de texturas estocásticas

Heeger y Bergen (1995)

Representación basada en pirámides

Proceso iterativo partiendo de imagen de ruido



Textura

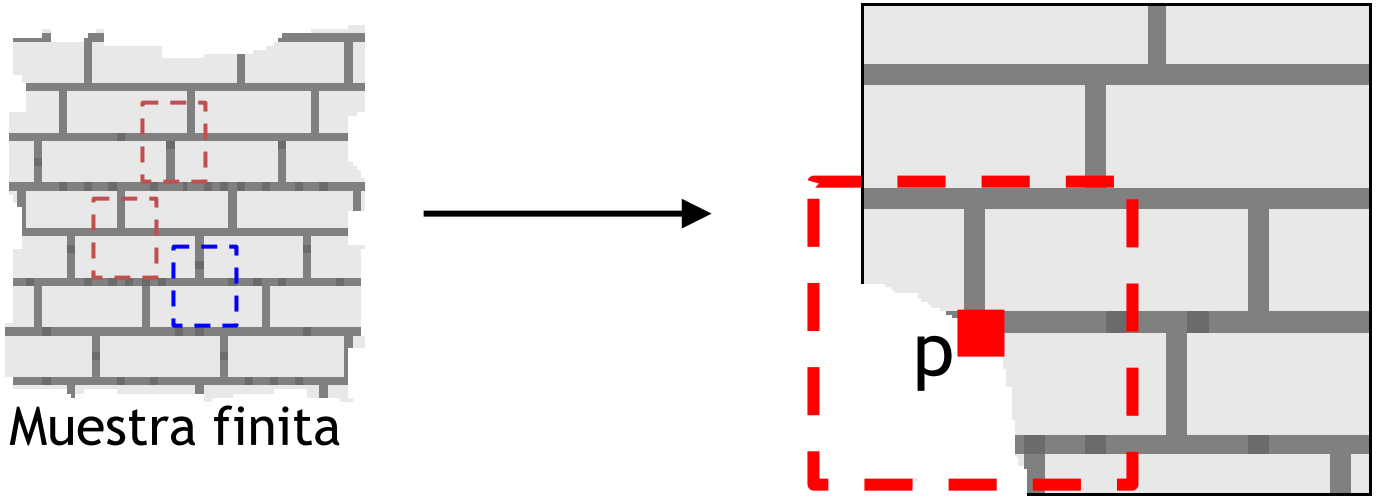
Síntesis de texturas estocásticas

Efros y Leung (1999)

Probabilidad de distribución de *p* según vecindad

Mejor encaje de histogramas en la muestra, selección aleatoria

Proceso iterativo para cada píxel



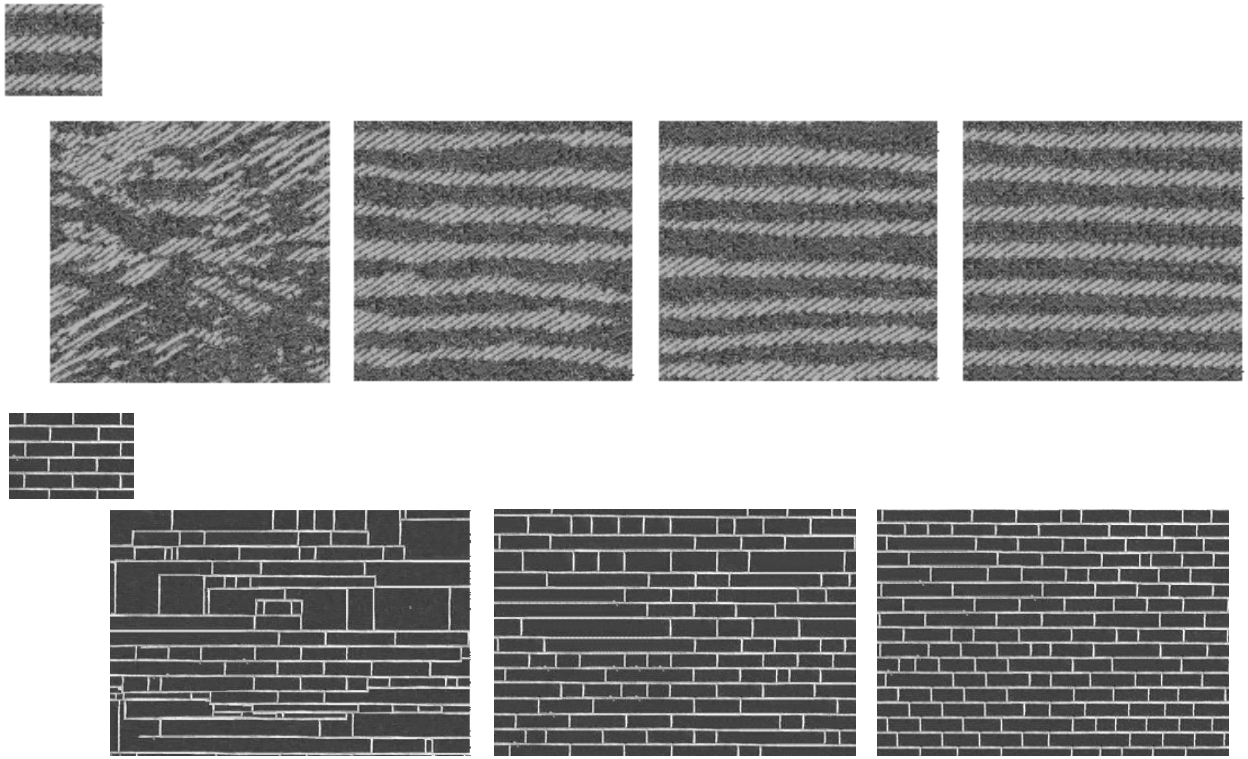
Efros y Leung

Textura

Síntesis de texturas estocásticas

Efros y Leung (1999)

Dimensión vecindad

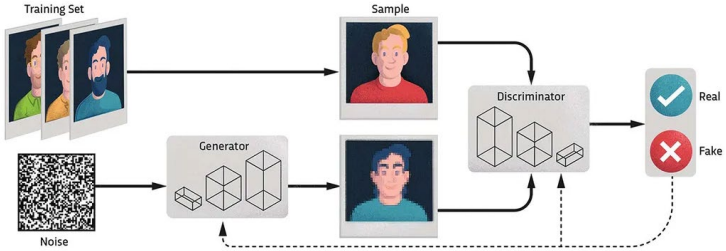


Tamaño ventana →

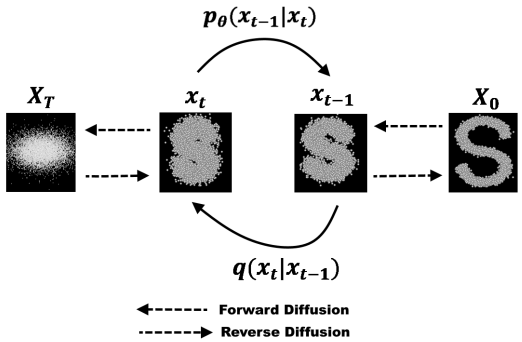
Efros y Leung

Textura

Heeger y Bergen conectado con GANs, crear una textura con estadísticos del histograma similares

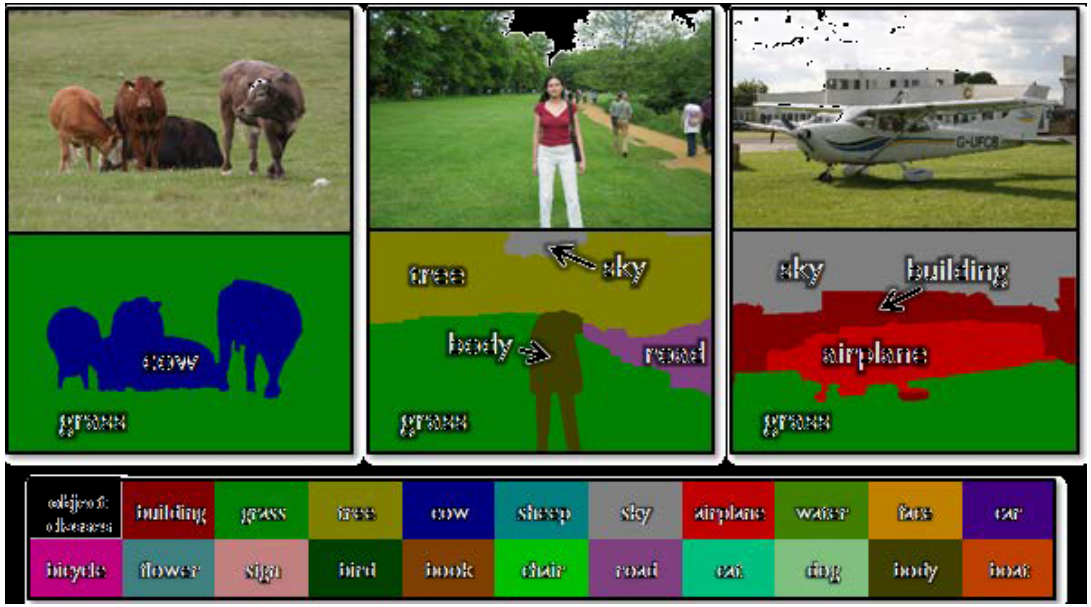


El proceso de optimización de Efros y Leung es eliminación de ruido, próximo a modelos de difusión



Textura

Aprendizaje automático desde vector de características



Shotton

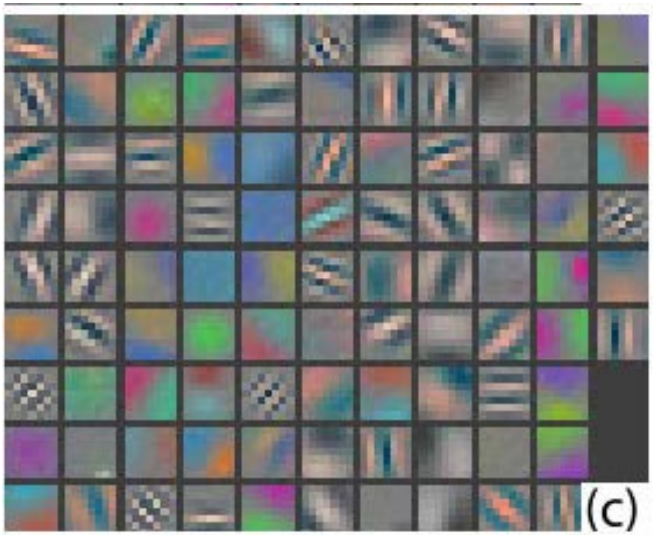
Textura

Aprendizaje profundo

CNN aprendizaje de banco de filtros

Requiere muchos datos

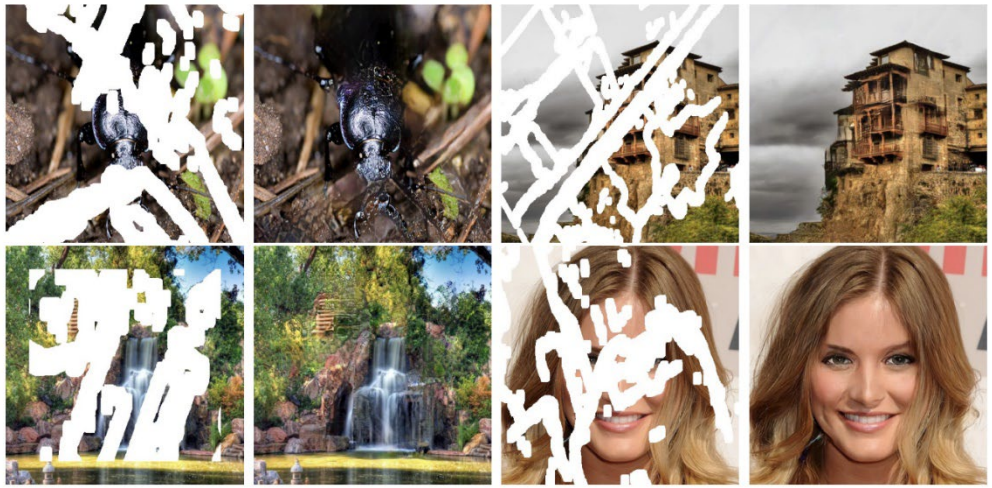
U-Net, aplicable con pocos datos



P. Fua

Aplicaciones

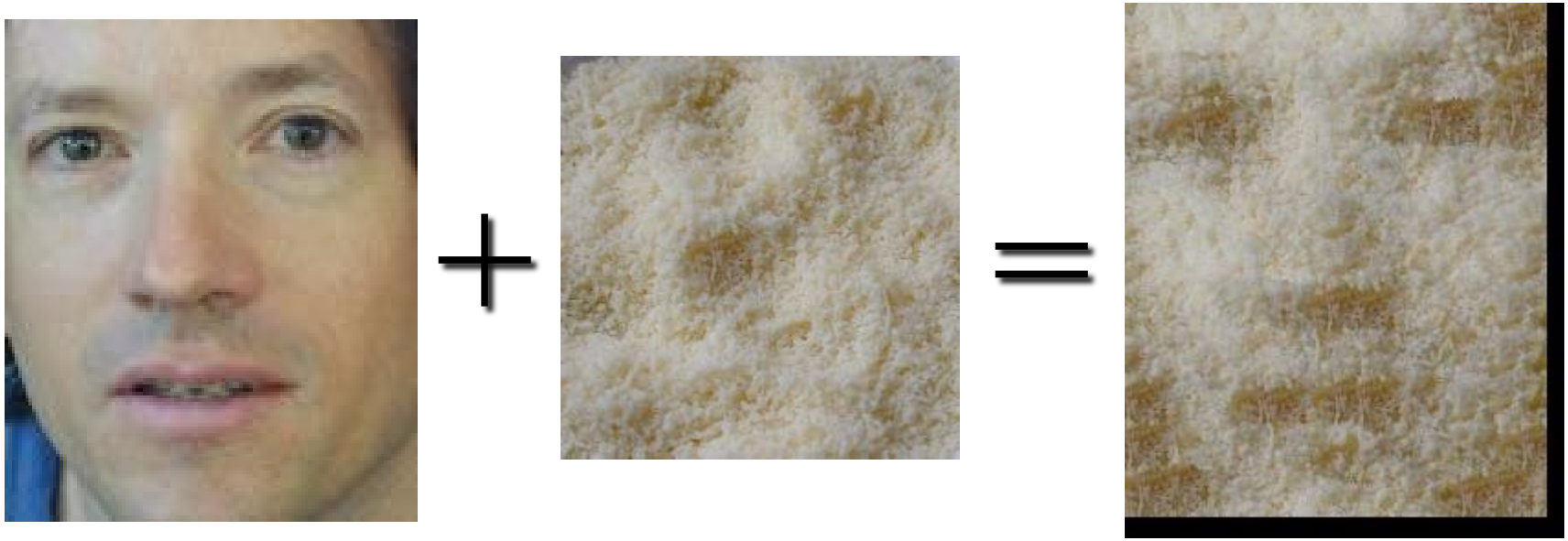
Image inpainting/outpainting



KREA

Aplicaciones

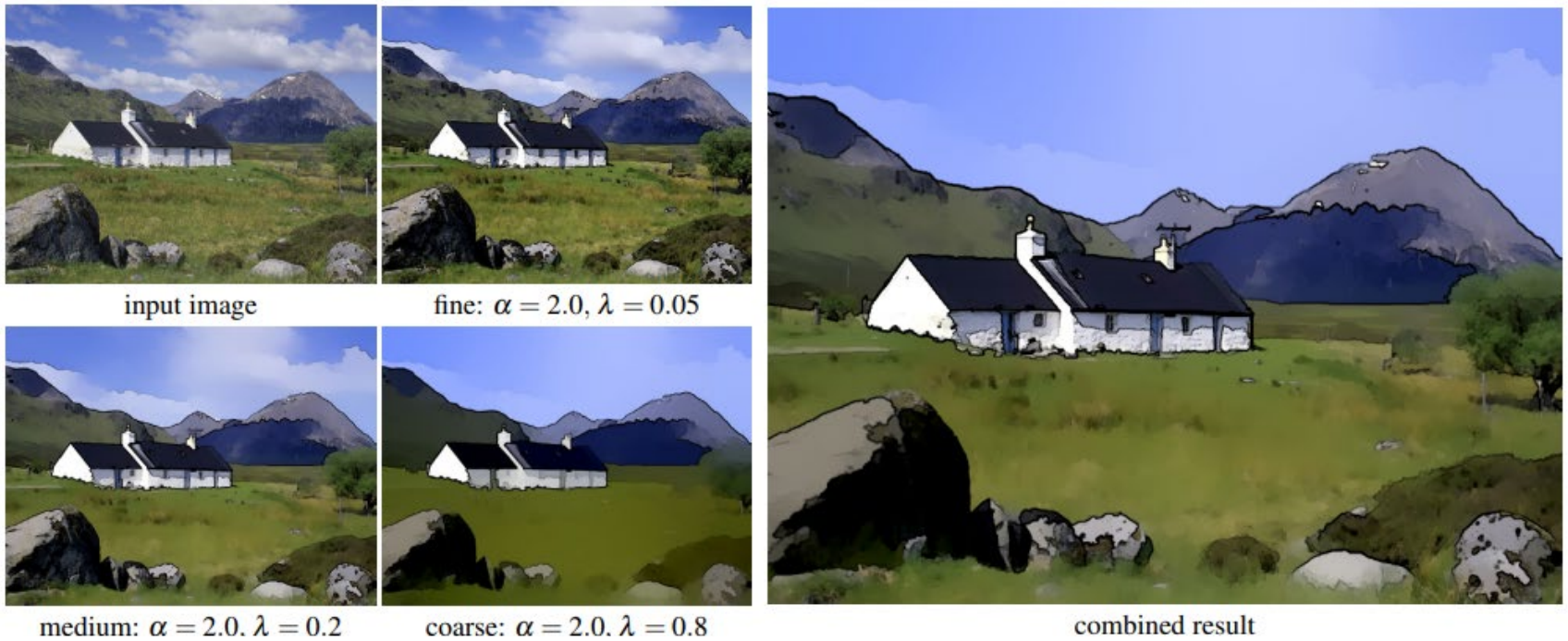
Transferencia de textura



A. Efros et al. Image Quilting for Texture Synthesis & Transfer. SIGGRAPH 2001

Aplicaciones

Filtros, NPR, transferencia de estilo



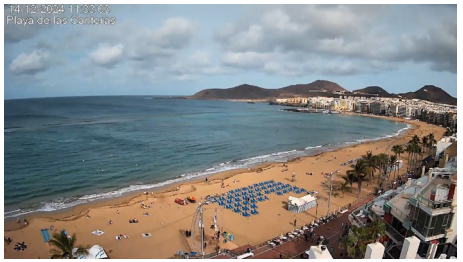
Szeliski

Aplicaciones

Superresolución
Mejora

Luz, cámara y píxeles

Contenido

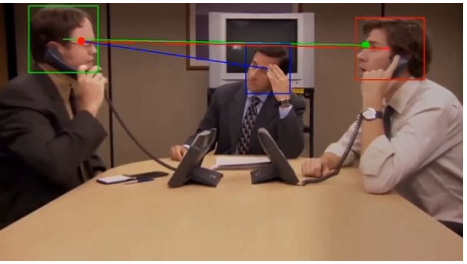


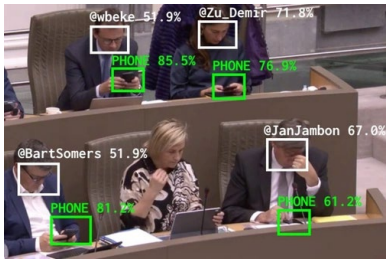
Boom actual aprendizaje automático

Aplicaciones

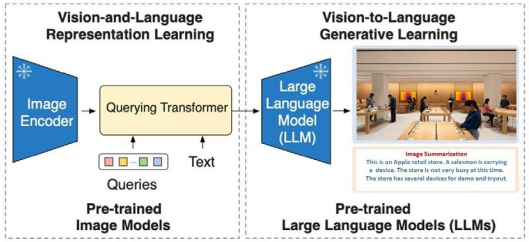
roboflow

runway





VLMs



Bibliografía

- Paul Debevec
- Fredo Durand, Computational Photography and Videon
- Marc Levoy, New Techniques in Computational photography
- R. Szeliski. Computer Vision: Algorithms and Applications, 2nd ed. 2022
- A. Torralba et al. Foundations of Computer Vision, 2024

SUPERB wallpapers
That's all Folks!