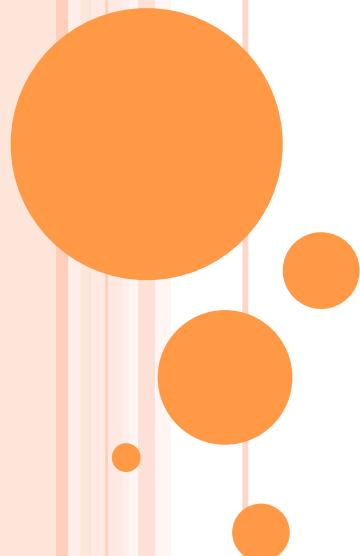


# TÉCNICAS AVANZADAS DE GRÁFICOS 3D

## RENDERIZADO REALISTA DE LA PIEL HUMANA

Luis Gasco Poderoso  
Alejandro Ribao Valverde

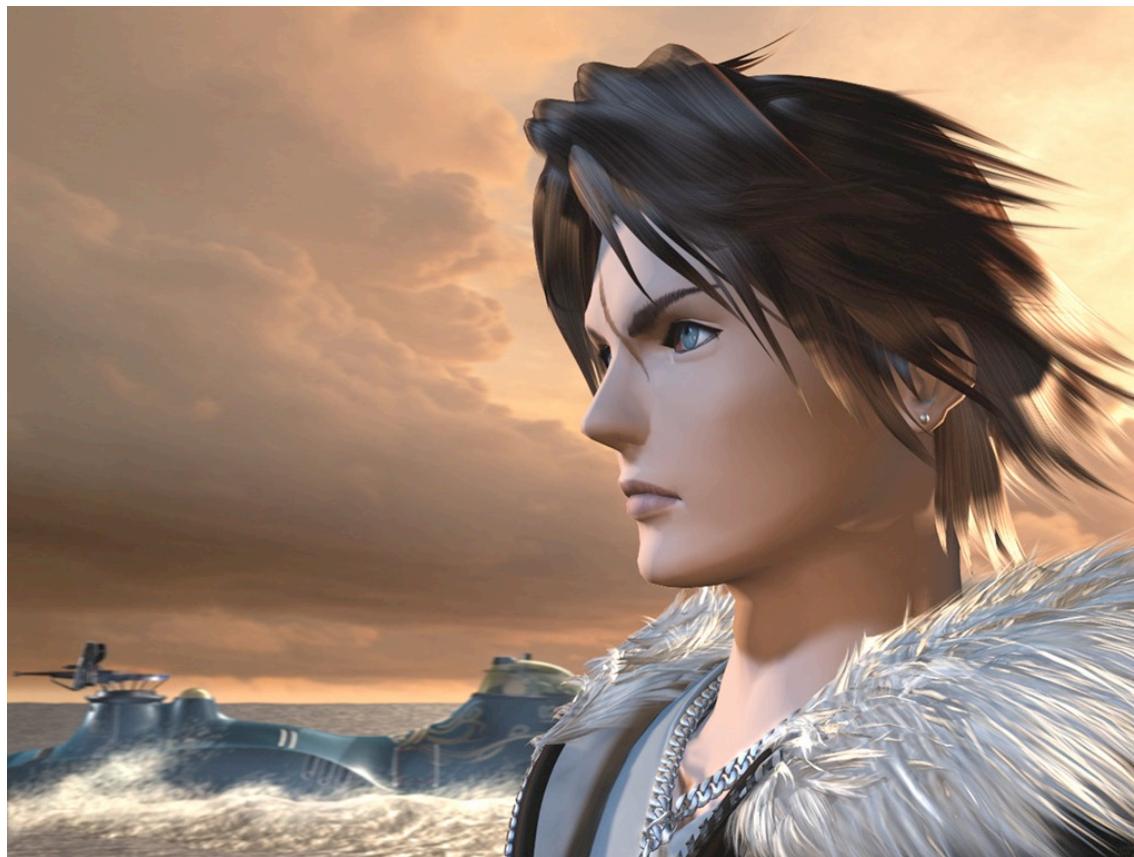


# INTRODUCCIÓN

- La representación en 3D de los seres humanos siempre ha sido un reto.
- Se tacha de poco natural, especialmente por varios aspectos:
  - Falta de expresividad (y de “alma”):
    - Facial
    - Movimientos
  - Aspecto de “muñecos”. Especialmente:
    - Pelo
    - Piel

# ANTES

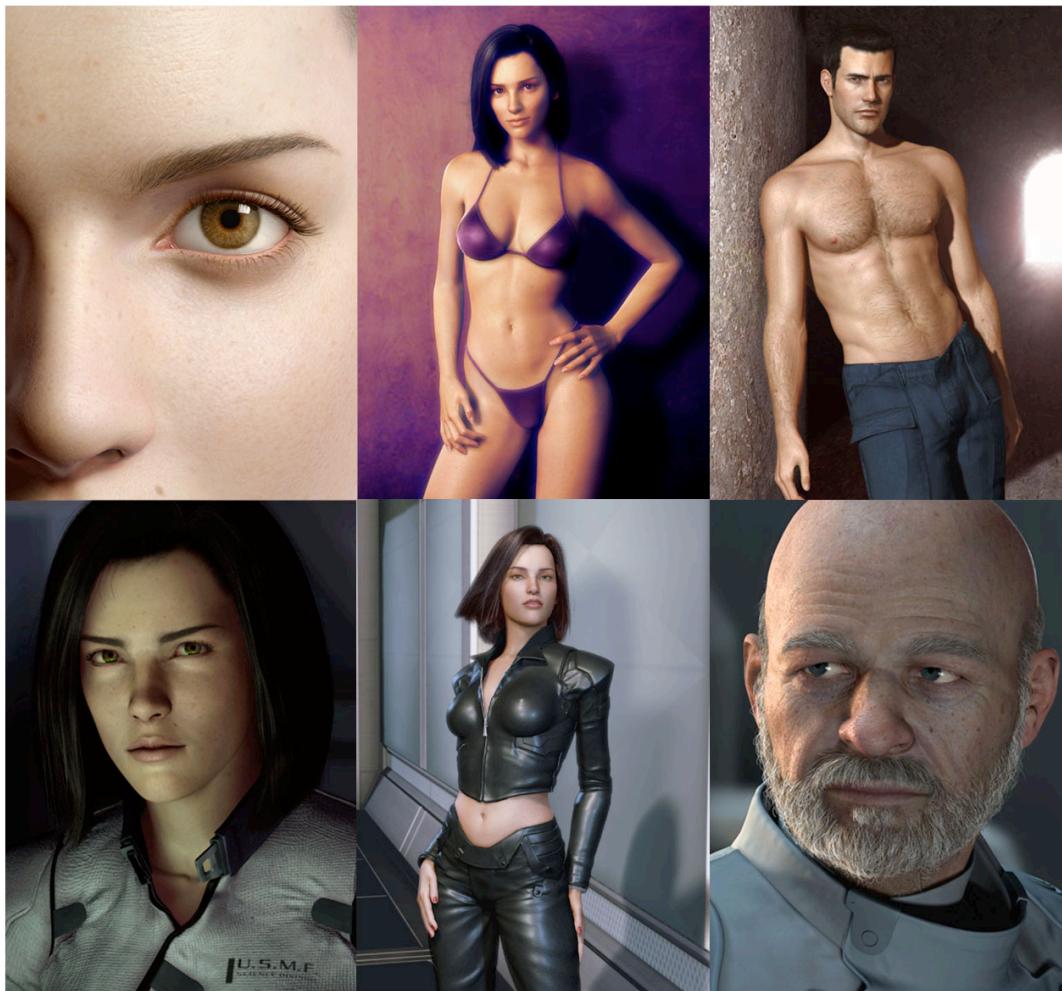
- Final Fantasy VIII, SquareSoft 1999



Renderizado realista de la piel humana

# ANTES

- Final Fantasy : The Spirits Within SquareSoft 2001



Renderizado realista de la piel humana

## ANTES

- Final Fantasy : The Spirits Within, SquareSoft  
2001

- Francisco A. Cortina:
  - *“Our shading department (Square) wrote some very specific shaders for the way skin works. Think of skin as layers. Although our shaders for Final Fantasy did not include the separate controls for the epidermis and the dermis, we had control over side specularity and normal specularity, a side-bump which you get on the skin from the shininess of the oil layers. We concentrated on the components of the skin. (...)"*



Renderizado realista de la piel humana

# AHORA

- Render Off-Line

Beowulf 2007



## AHORA

- Render en tiempo real

NVIDIA Demo: Human Head 2007



## AHORA

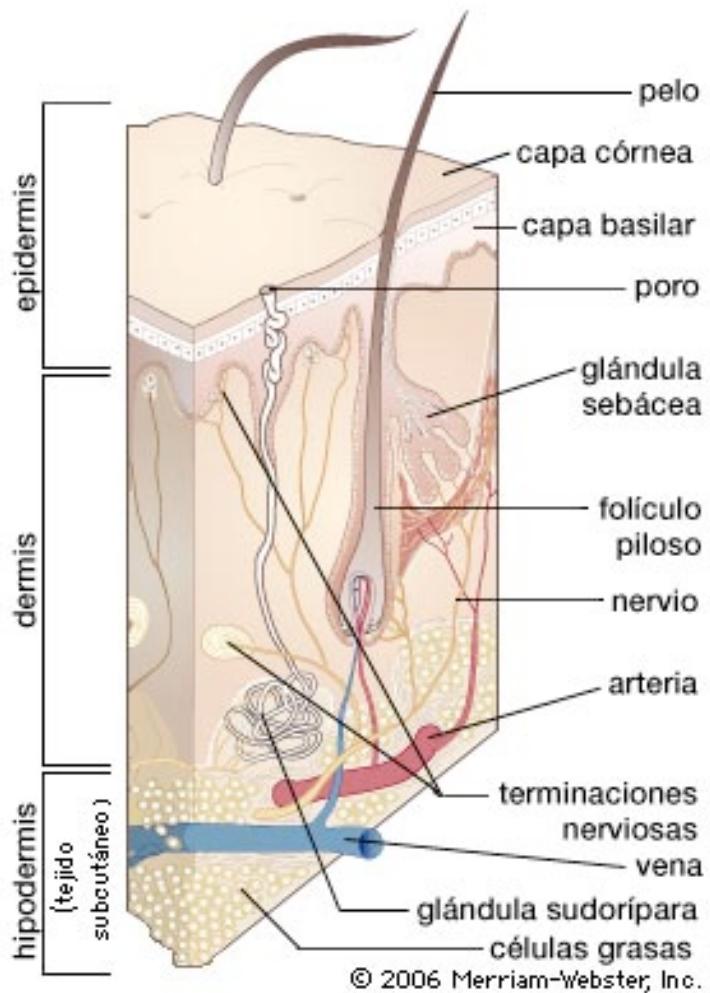
- ¿Qué fallaba?

- Las texturas son todo lo fotorrealistas que queramos...
- Pero los organismos están compuestos en su mayor parte por agua, por lo que es **traslúcida**, no opaca.
- Aprovechar el trabajo ya hecho por la medicina para analizar el comportamiento de la piel respecto de la luz.

Renderizado realista de la piel humana

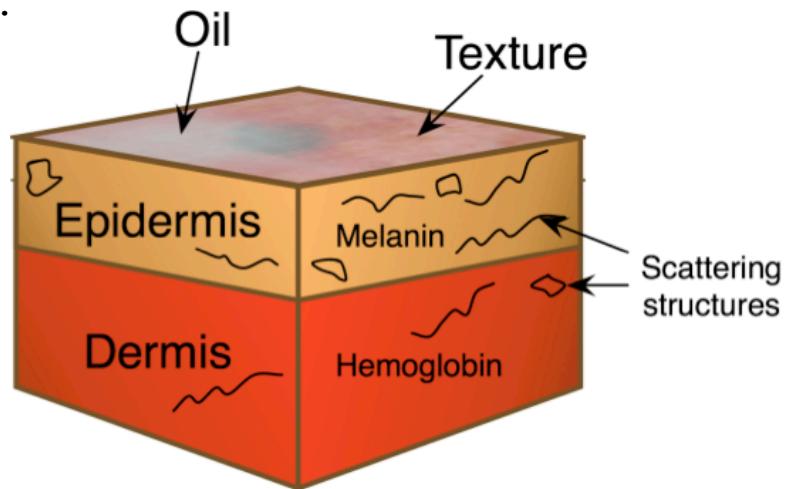
9

# ANATOMÍA DE LA PIEL



# ANATOMÍA DE LA PIEL

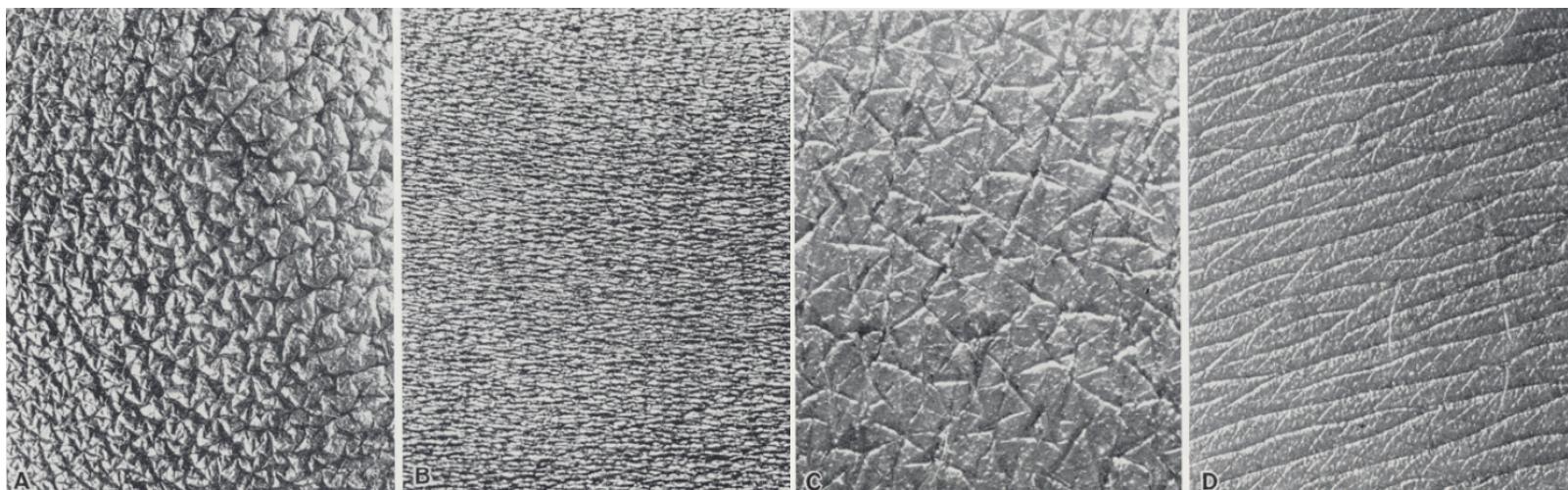
- Está dividida en capas
  - Hay varias aproximaciones, pero la mayoría coinciden en dividirla en dos:
    - **Epidermis:** Caracterizada por la *Melanina*. Diferencia los distintos colores de piel.



- **Dermis:** Influída por la *Hemoglobina*. Añade enrojecimiento.

# ANATOMÍA DE LA PIEL

- Está dividida en capas
  - Además, la grasa de la superficie aporta la especularidad y la rugosidad.



Renderizado realista de la piel humana

# ANATOMÍA DE LA PIEL

- Valores medidos

- **Base:**  $\mu_{a.skinbaseline}(\lambda) = (7.84 \times 10^8) (\lambda^{-3.255}) \quad [cm^{-1}]$

- **Melanina:**  $\mu_{a.melanosome}(\lambda) = (6.6 \times 10^{11}) (\lambda^{-3.33}) \quad [cm^{-1}]$

- 1~3% piel clara
- 11~16% piel muy morena
- 18~43% piel negra

- **Coeficiente de dispersión (scattering):**

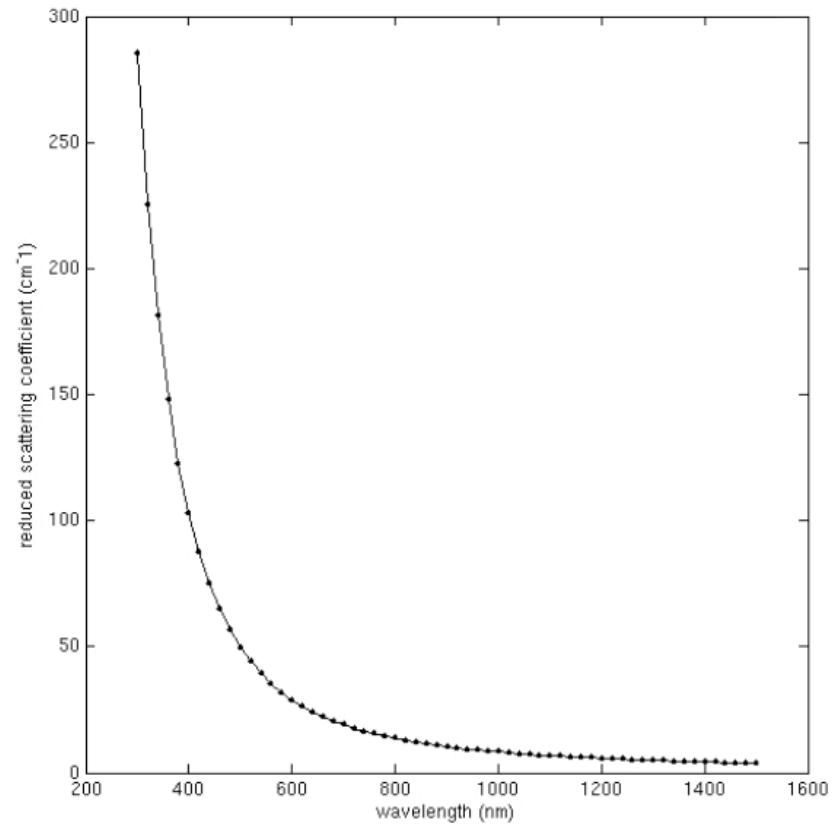
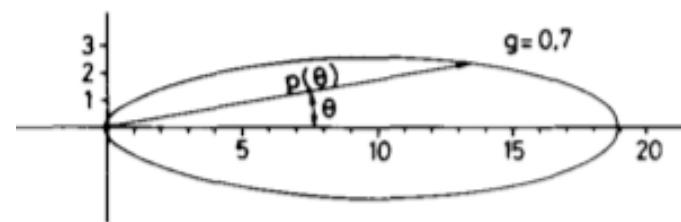
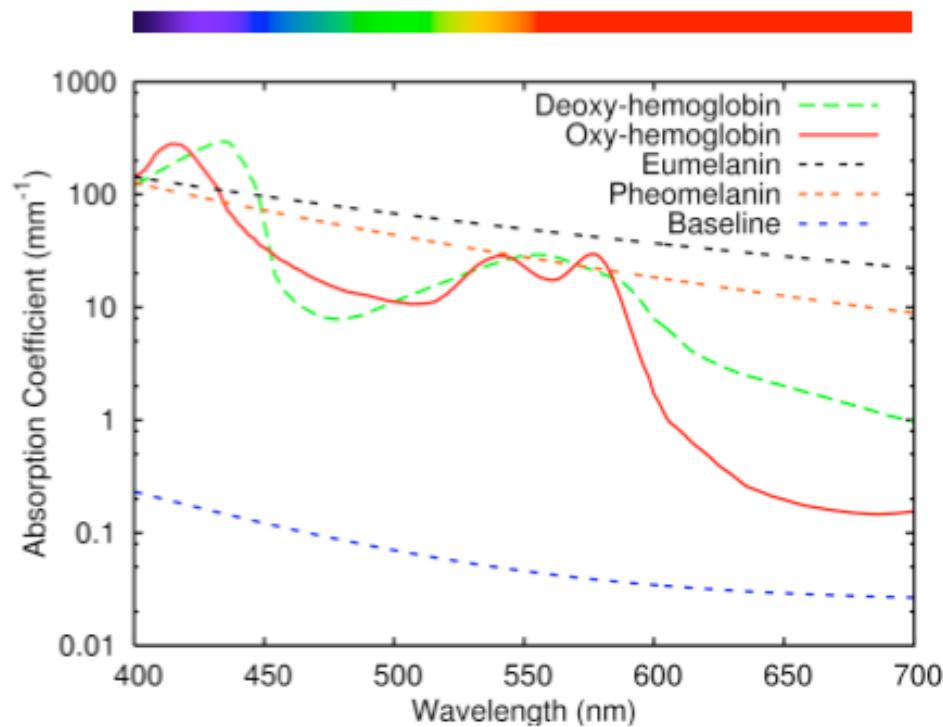
$$\mu_{sp.Mie}(\lambda) = (2 \times 10^5) (\lambda^{-1.5}) \quad [cm^{-1}].$$

- **Función de fase para la dispersión:**

$$P_{Henyey-Greenstein}(\cos \alpha, g) = \frac{1 - g^2}{(1 + g^2 - 2g \cos \alpha)^{3/2}}$$

# ANATOMÍA DE LA PIEL

- Valores medidos



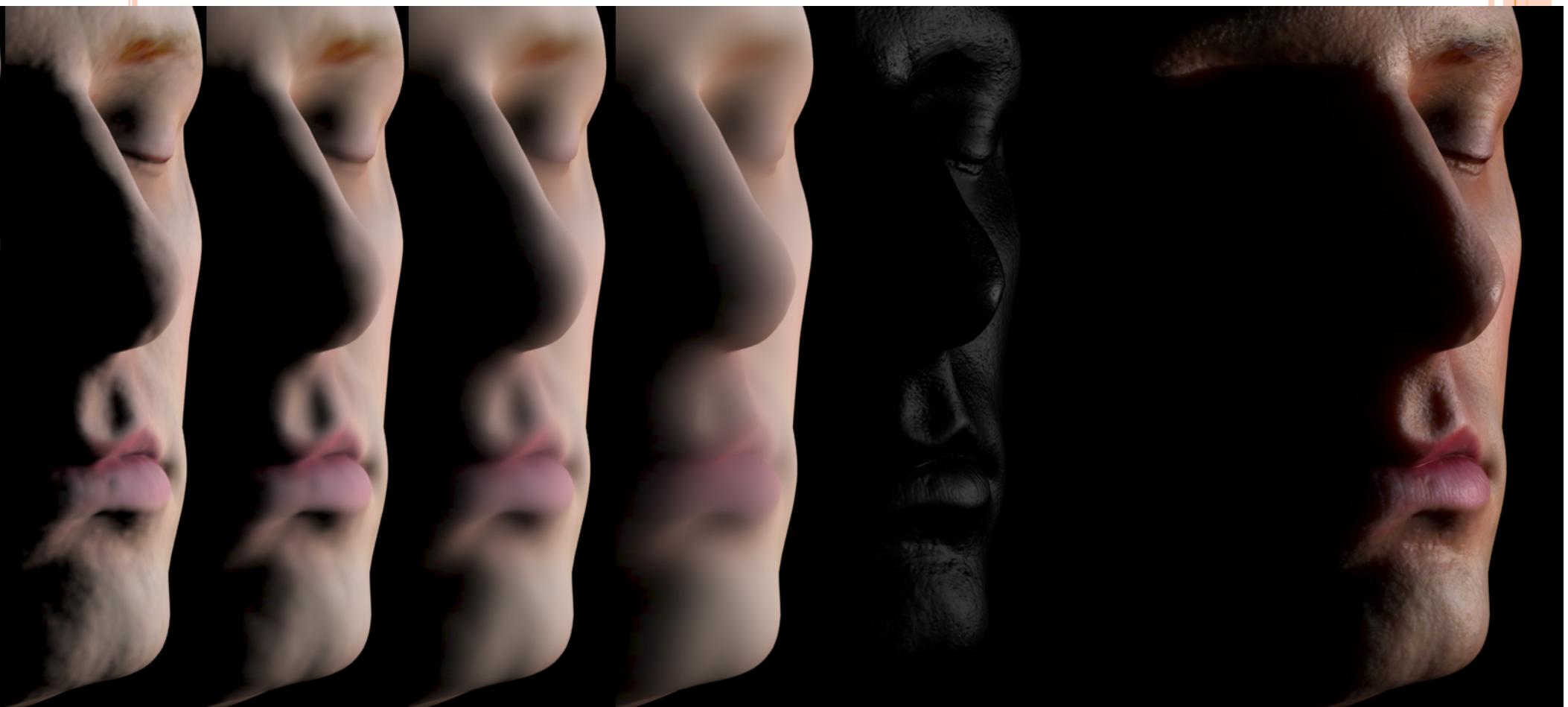
# TIEMPO REAL

- Propuesta de NVIDIA:



# TIEMPO REAL

- Propuesta de NVIDIA:



# TIEMPO REAL

- Calcular la componente difusa.
- Volcarla textura.
  - Las coordenadas UV son importantes. Se debe intentar que la distancia entre cada punto se asemeje a la real.
- Aplicar filtros Gaussianos (4 veces).
- Recombinar ponderando.

Blur Width(mm)	Blur Weights			
	red	green	blue	
.	0.042	0.22	0.437	0.635
.	0.220	0.101	0.355	0.365
.	0.433	0.119	0.208	0
.	0.753	0.114	0	0
.	1.412	0.364	0	0
.	2.722	0.080	0	0

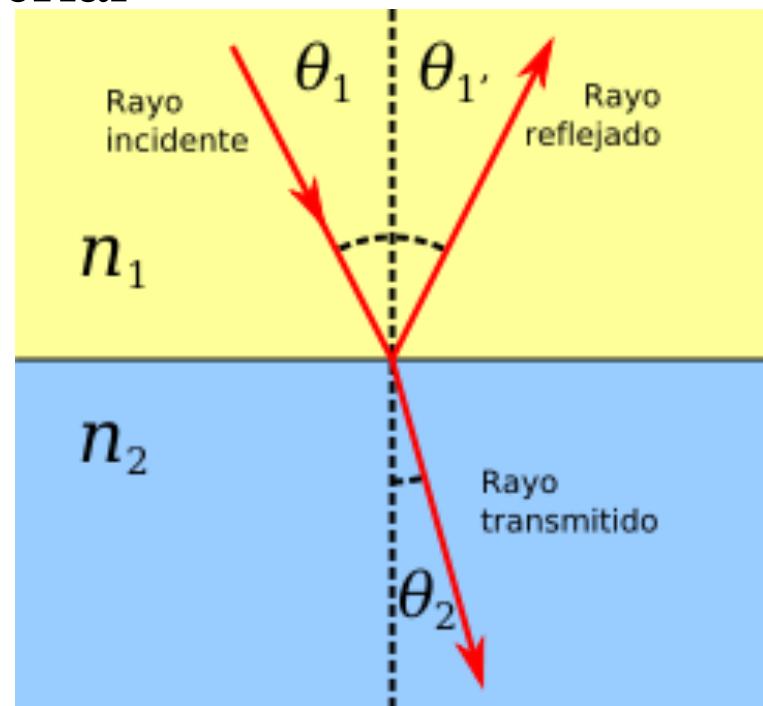
## RENDER OFF-LINE Y PREPROCESO

- Leyes de Snell y Beer-Lambert
- BSSRDFs
- Síntesis de piel basada en imágenes

# LEY DE SNELL

- Modela el comportamiento de la luz al cambiar de medio
- Refracción
- Caso particular  $\theta_1 = 0 \rightarrow \theta_2 = 0$ 
  - Coeficientes  $n_i$  dependen del material
    - Vacío: 1 (exacto)
    - Aire: 1.000293
    - Agua: 1.333
    - Silicona: 4.01
    - [http://en.wikipedia.org/wiki/List\\_of\\_indices\\_of\\_refraction](http://en.wikipedia.org/wiki/List_of_indices_of_refraction)
    - **Epidermis y dermis:  $1.4 \sim 1.5$**

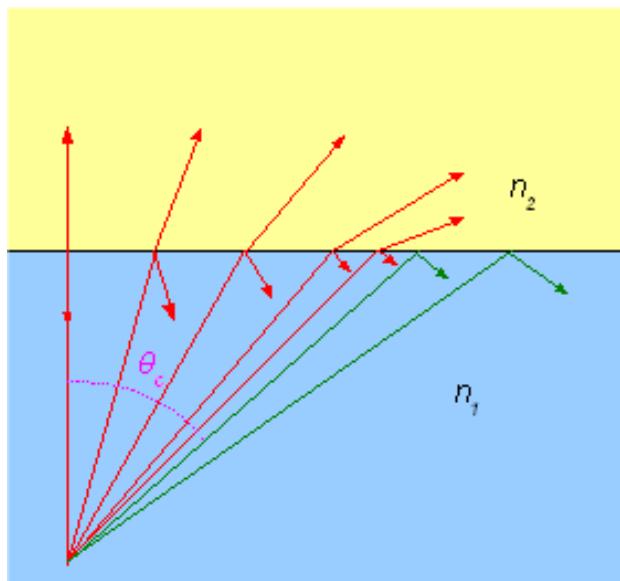
$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$$



# LEY DE SNELL

## ○ Reflexión total interna

- Ángulo límite  $\sin \theta_c = \frac{n_2}{n_1}$
- Se produce si el ángulo de incidencia  $\theta_1$  es mayor que  $\theta_c$
- Esta reflexión es del 100% (¡¡un espejo perfecto!!)

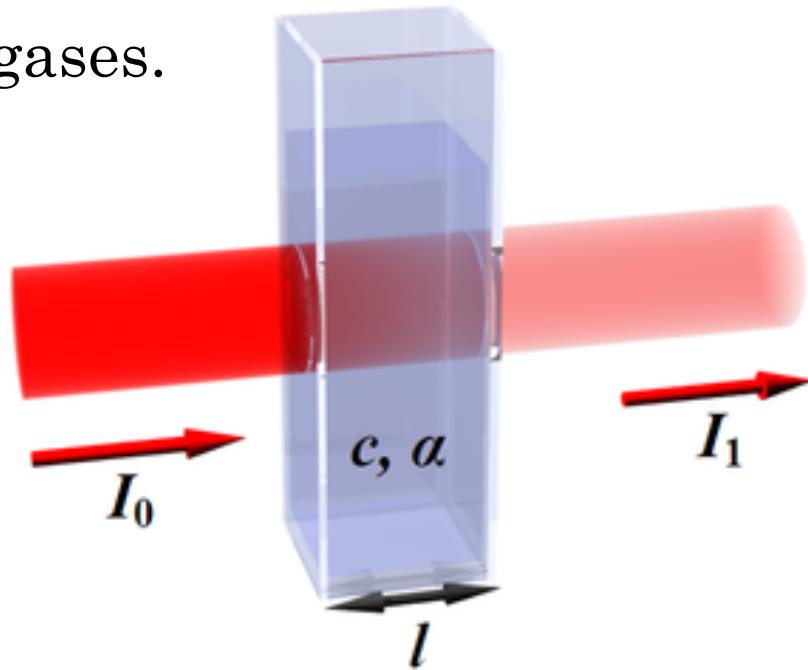


## LEY DE BEER-LAMBERT

- Modela la absorción de la luz al atravesar un determinado material.
- Es una relación empírica.
- Existen varias fórmulas para calcular la relación o la absorción en líquidos y gases.

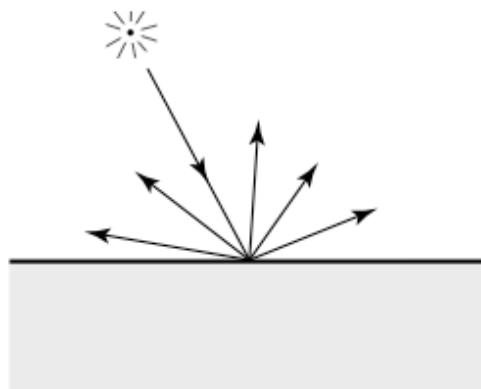
- A: Absorción del material
- T: Relación
- l: longitud del objeto atravesado
- $\alpha$ : coeficiente de absorción
- c: concentración de partículas absorbentes

$$A = \alpha l \quad T = \frac{I_1}{I_0} \quad \frac{I_0}{I_1} = 10^{-\alpha lc}$$

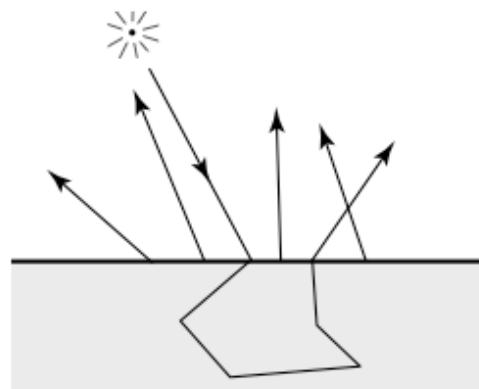


# BSSRDFs

- Bidirectional Surface Scattering Reflection Distribution Function
- El punto de incidencia y de salida de la luz en las BRDF es el mismo.



BRDF



BSSRDF

Renderizado realista de la piel humana

# BSSRDFs

$$dL_o(x_o, \vec{\omega}_o) = S(x_i, \vec{\omega}_i; x_o, \vec{\omega}_o) d\Phi_i(x_i, \vec{\omega}_i)$$

$$(\vec{\omega} \cdot \vec{\nabla}) L(x, \vec{\omega}) = -\sigma_t L(x, \vec{\omega}) + \sigma_s \int_{4\pi} p(\vec{\omega}, \vec{\omega}') L(x, \vec{\omega}') d\omega' + Q(x, \vec{\omega})$$

$$g = \int_{4\pi} (\vec{\omega} \cdot \vec{\omega}') p(\vec{\omega} \cdot \vec{\omega}') d\omega'$$

$$L_{ri}(x_i + s\vec{\omega}_i, \vec{\omega}_i) = e^{-\sigma_t s} L_i(x_i, \vec{\omega}_i)$$

$$Q(x, \vec{\omega}) = \sigma_s \int_{4\pi} p(\vec{\omega}', \vec{\omega}) L_{ri}(x, \vec{\omega}') d\omega'$$

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{E}(x) = -\sigma_a \phi(x) + Q_0(x)$$

$$Q_0(x) = \int_{4\pi} Q(x, \vec{\omega}) d\omega, \quad \vec{Q}_1(x) = \int_{4\pi} Q(x, \vec{\omega}) \vec{\omega} d\omega$$

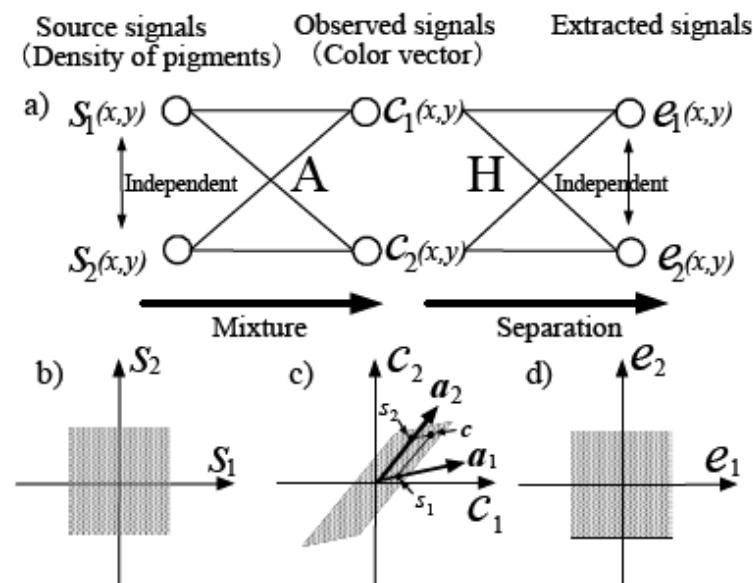
$S$	BSSRDF
$R_d$	Diffuse BSSRDF
$F_r$	Fresnel reflectance
$F_t$	Fresnel transmittance
$F_{dr}$	Diffuse Fresnel reflectance
$\vec{E}$	Vector irradiance
$\phi$	Radiant fluence
$\sigma_a$	Absorption coefficient
$\sigma_s$	Scattering coefficient
$\sigma_t$	Extinction coefficient
$\sigma'_t$	Reduced extinction coefficient
$\sigma_{tr}$	Effective extinction coefficient
$D$	Diffusion constant
$\alpha$	Albedo
$p$	Phase function
$\eta$	Relative index of refraction
$g$	Mean cosine of the scattering angle
$Q$	Volume source distribution
$Q_0$	0th-order source distribution
$\vec{Q}_1$	1st-order source distribution

## SÍNTESIS BASADA EN IMÁGENES

- Análisis y síntesis del color de la piel
- Eliminación del sombreado por separación color-espacial
  - Modelo de imagen
  - Color de la piel
  - Técnicas de proyección para la eliminación del sombreado
- Experimentos
- Síntesis de color facial

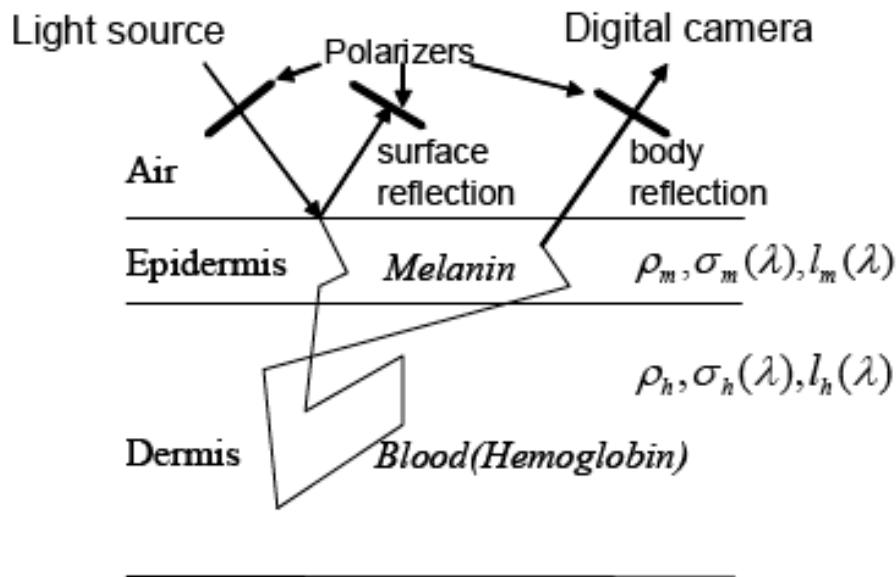
# ANÁLISIS Y SÍNTESIS DEL COLOR

- La Melanina y Hemoglobina, tal y como comentamos antes, caracterizan el color.
- Se pueden generar una textura para cada componente.



# ELIMINACIÓN DEL SOMBREADO

- El modelo anterior es demasiado simple



- Los filtros (polarizadores) eliminan la reflexión para la correcta obtención de la imagen.

# ELIMINACIÓN DEL SOMBREADO POR SEPARACIÓN COLOR-ESPACIAL

- La ecuación puede refinarse como:

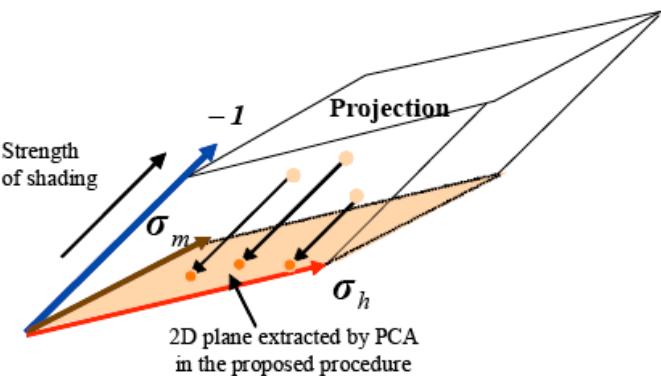
$$L(x, y, \lambda) = \exp\{-\rho_m(x, y)\sigma_m(\lambda)l_m(\lambda) - \rho_h(x, y)\sigma_h(\lambda)l_h(\lambda)\}E(x, y, \lambda)$$

- E y L son la Irradiancia espectral incidente y la Radianza espectral reflejada respectivamente.
- $\lambda$  es la longitud de onda
- $\rho$  y  $\sigma$  son la densidad de pigmentación y la relación entre hemoglobina y melanina respectivamente.
- l es la longitud media del camino que recorren los fotones
- Para el punto (x, y) de la capa de melanina o hemoglobina (m y h respectivamente).

# ELIMINACIÓN DEL SOMBREADO POR SEPARACIÓN COLOR-ESPACIAL

- Con el modelo anterior se tiene un método para obtener la densidad de pigmentación de cada capa:

- Step 1. Prepare the facial image taken by digital camera.
- Step 2. Set the window size  $N \times M$  as a local area for independent component analysis.
- Step 3. Set the scanning start point for the analysis of the face.
- Step 4. Determine the angle  $\theta$  between the extracted skin color plane by PCA and the vector  $\mathbf{I}$ . If this is not acceptable, go to Step 6. If acceptable, go to Step 5.
- Step 5. Determine the extracted relative absorbance vectors  $\sigma_m$ ,  $\sigma_h$  obtained by independent component analysis. If these are not acceptable, go to Step 6. If acceptable, go to Step 7.
- Step 6. Shift the window for analysis, and go back to Step 4.
- Step 7. The obtained absorbance vectors  $\sigma_m$ ,  $\sigma_h$  are the analysis result for the face.



# EXPERIMENTOS

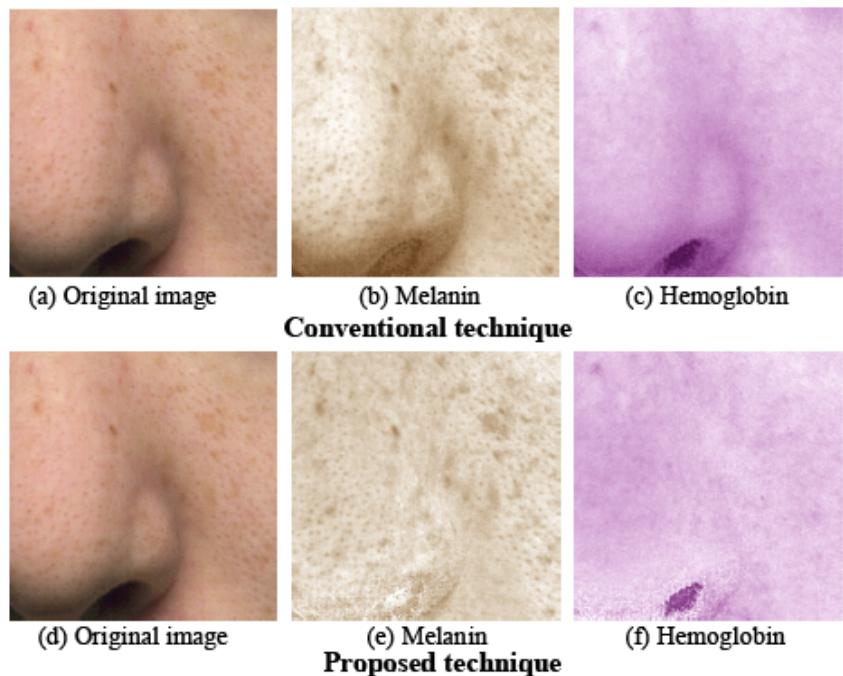


Figure 7. The results of independent component analysis: (a),(d) original image, (b),(e)melanin, (c),(f) hemoglobin by the conventional technique (b)(c), and by the proposed technique (e)(f)

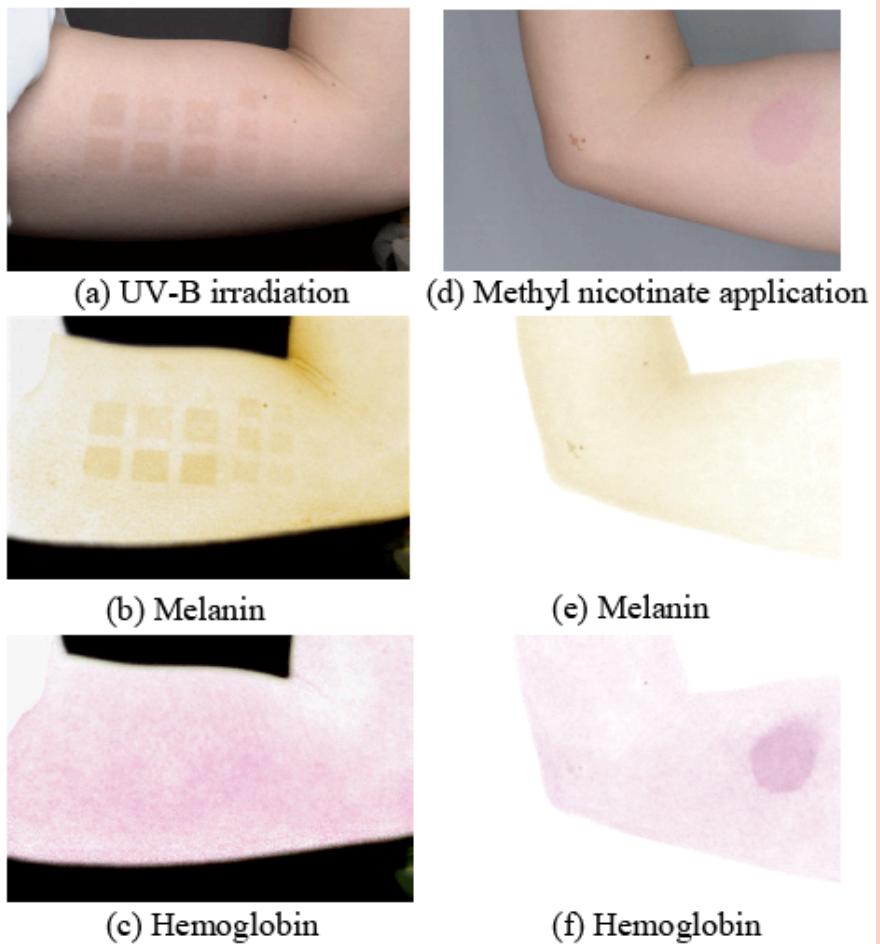


Figure 8. UV-B irradiation: (a) original, (b) melanin, (c) hemoglobin, Application of methyl nicotinate: (d) original, (e) melanin, (f) hemoglobin

# SÍNTESIS DE COLOR FACIAL

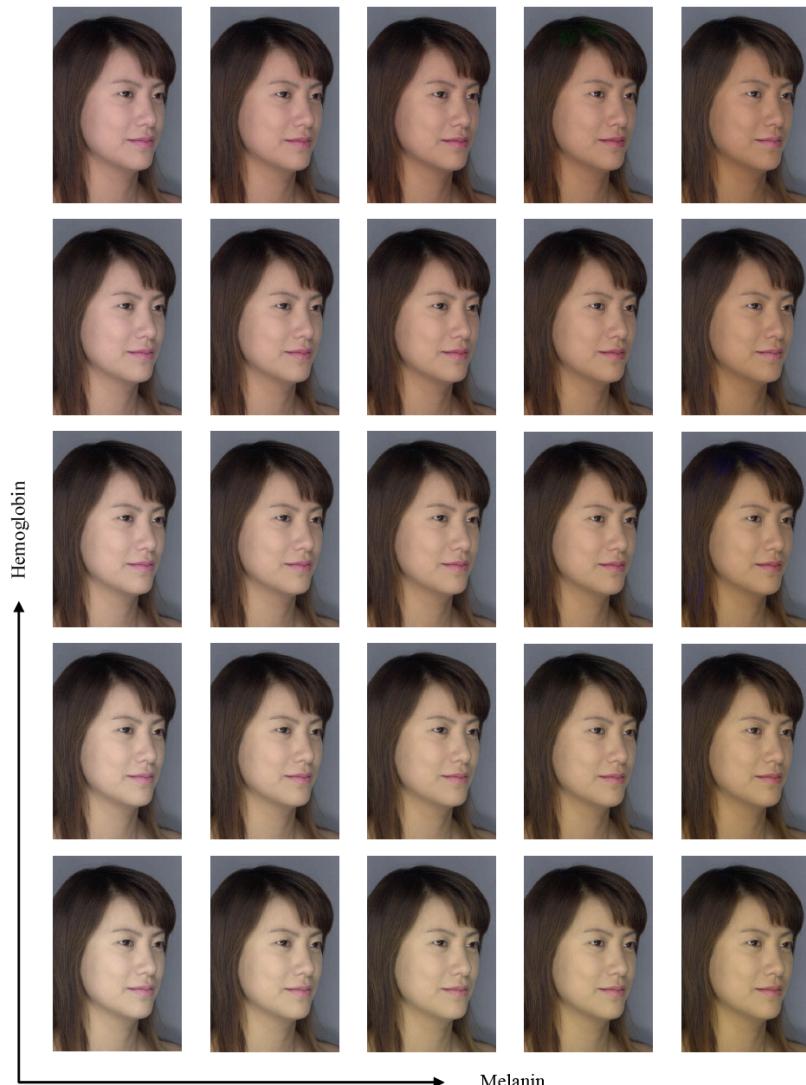


Figure 9. Skin color synthesis with the change in pigmentation using the proposed shading removal technique for analysis. The center image is the image of the original skin color.



Figure 10. Alcohol consumption: (a) original image (b) synthesized image (c) real image after alcohol consumption

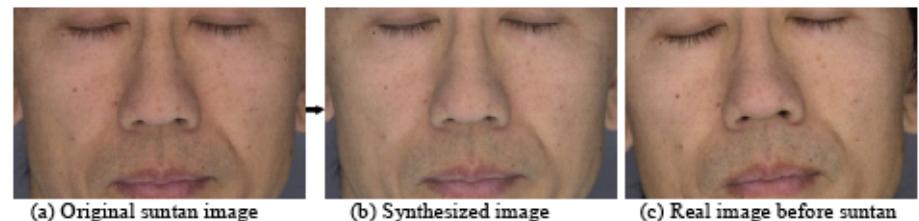


Figure 11. Tanning: (a) original tanning image (b) synthesized image (c) real image before tanning

# SÍNTESIS DE COLOR FACIAL

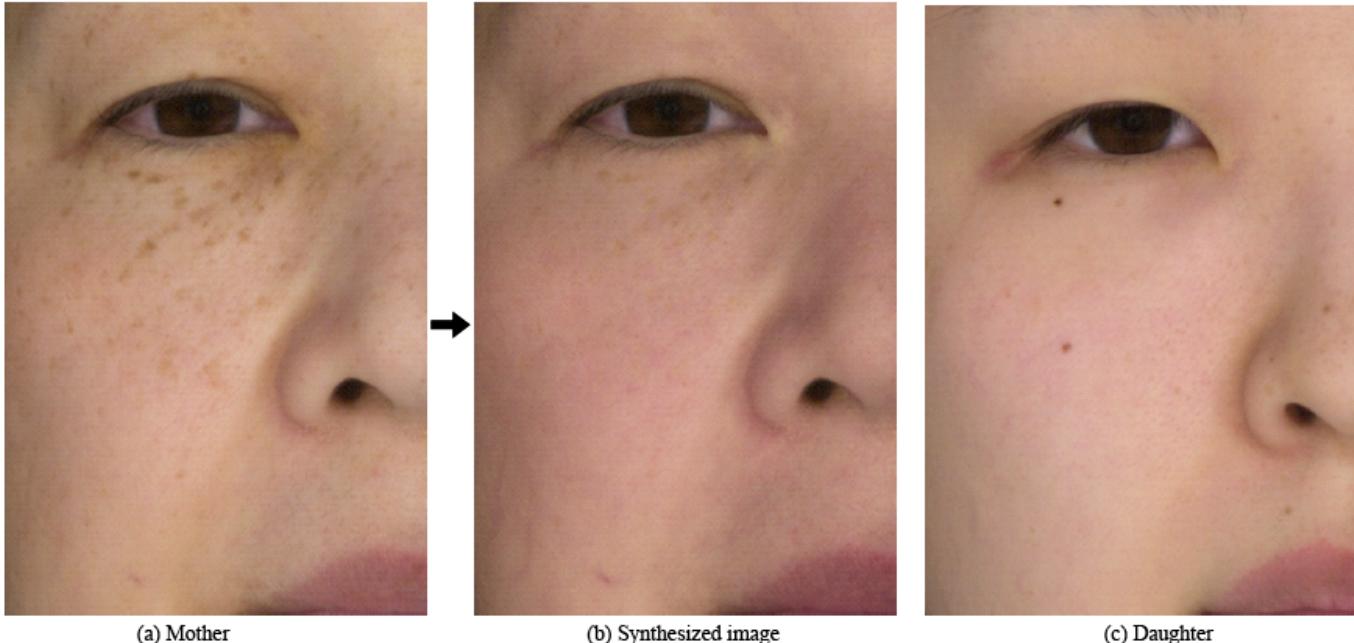


Figure 12. Skin color and texture synthesis for simulating cosmetic application: (a) original skin image of a 50 year-old woman, (b) synthesized image from the proposed analysis and process of the original image (a), (c) original skin image of a 20 year-old woman.

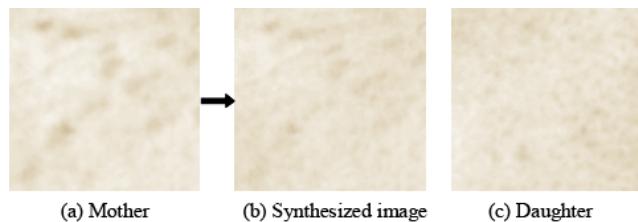


Figure 13. Skin texture synthesis for melanin: original melanin texture of 50 year-old woman, (b) synthesized melanin texture from the proposed analysis and process of the original image (a), (c) original melanin texture of a 20 year-old woman used as a target texture for the processing.

Renderizado realista de la piel humana

# BIBLIOGRAFÍA

- Poirier, Guillaume Human Skin Modelling and Rendering. Master of Mathematics (MMath) in School of Computer Science, Faculty of Mathematics, 2004.
- N. Tsumura, T. Nakaguchi, N. Ojima, K. Takase, S. Okaguchi, K. Hori, and Y. Miyake, "Image-based control of skin melanin texture," *Appl. Opt.* 45, 6626-6633 (2006)
- M.J.C. van Gemert, S.L. Jacques, H.J.C.M Sterenborg, and W.M.Star. Skin optics. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 36(12):1146–1154, 1989.
- Eugene D'On, GDC 2007 Demo Team Secrets: Advanced Skin Rendering, NVIDIA Corporation.
- Eugene d'Eon, David Luebke, Eric Enderton, Efficient Rendering of Human Skin: Eurographics Symposium on Rendering 2007. NVIDIA Corporation.
- Matt Pharr & Greg Humphreys. *Physically Based Rendering : From Theory to Implementation*.The Morgan Kaufmann Series in Interactive 3D Technology
- H. W. Jensen, S. R. Marschner, M. Levoy, and P. Hanrahan. A Practical Model for Subsurface Light Transport. In Proc. SIGGRAPH, pages 511--518, August 2001.
- Donner, C., and Jensen, H. W. 2006. A spectral BSSRDFfor shading human skin. In *Proceedings of the Eurographics Symposium on Rendering*, 409-417.