

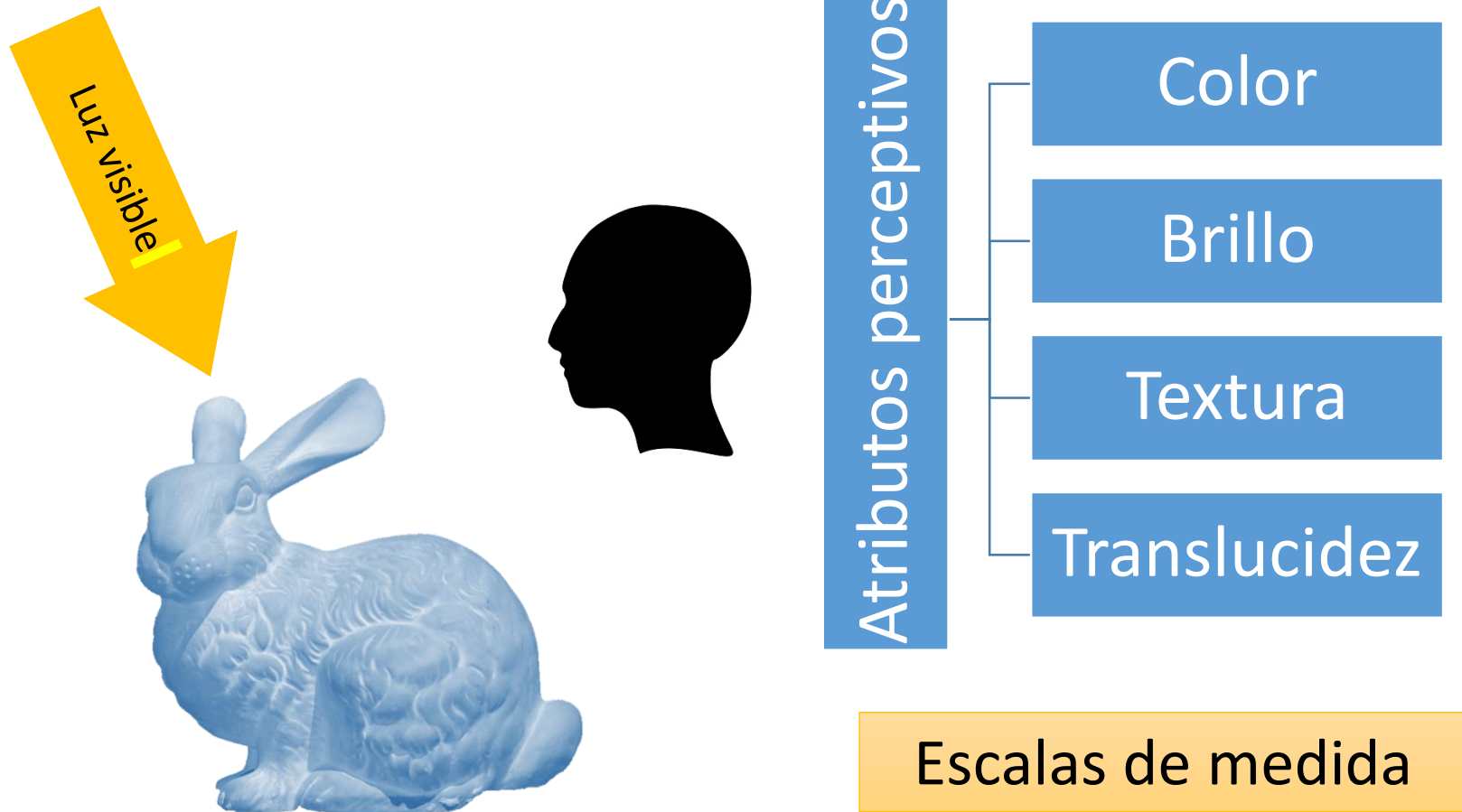
# REALIZACIÓN DE UNA ESCALA DE REFLECTANCIA BIDIRECCIONAL CON COMPONENTE DE SCATTERING SUB-SUPERFICIAL EN EL RANGO VISIBLE (BSSRDF)

**P. Santafé-Gabarda, A. Ferrero, N. Tejedor, J. Campos**

Instituto de Óptica “Daza de Valdés”, Consejo Superior de Investigaciones Científicas (IO-CSIC), Grupo de Investigación en Medidas de Radiación Óptica (GIMRO). C/ Serrano 144, 28006 Madrid.

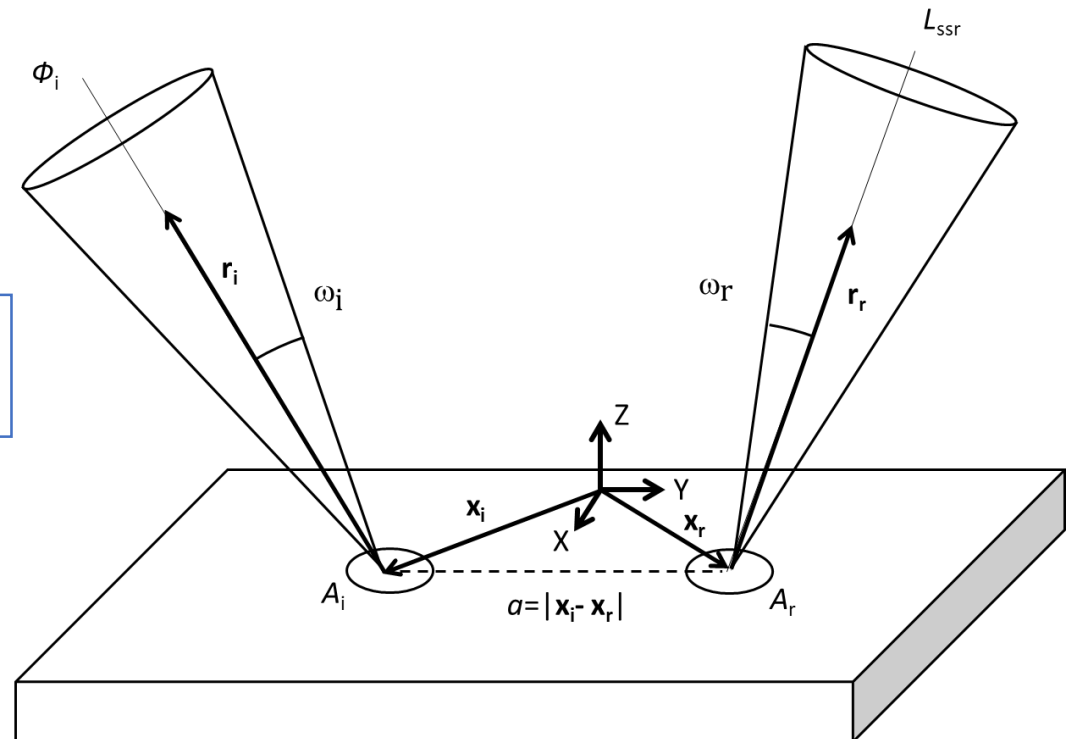
E-mail: [pablo.santafe@csic.es](mailto:pablo.santafe@csic.es)

# Apariencia de un objeto

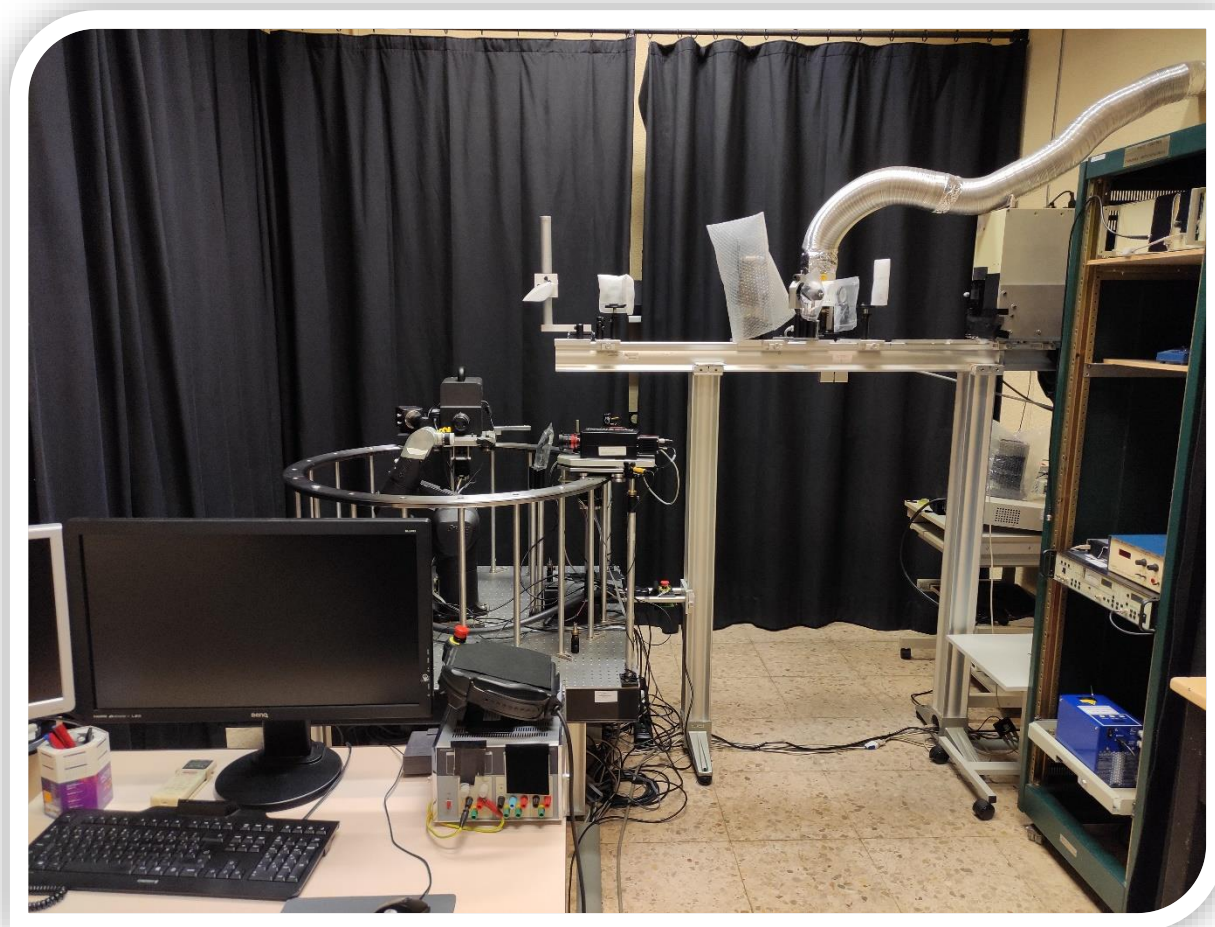


# Función de distribución de reflectancia bidireccional con componente de *scattering* sub-superficial (BSSRDF)

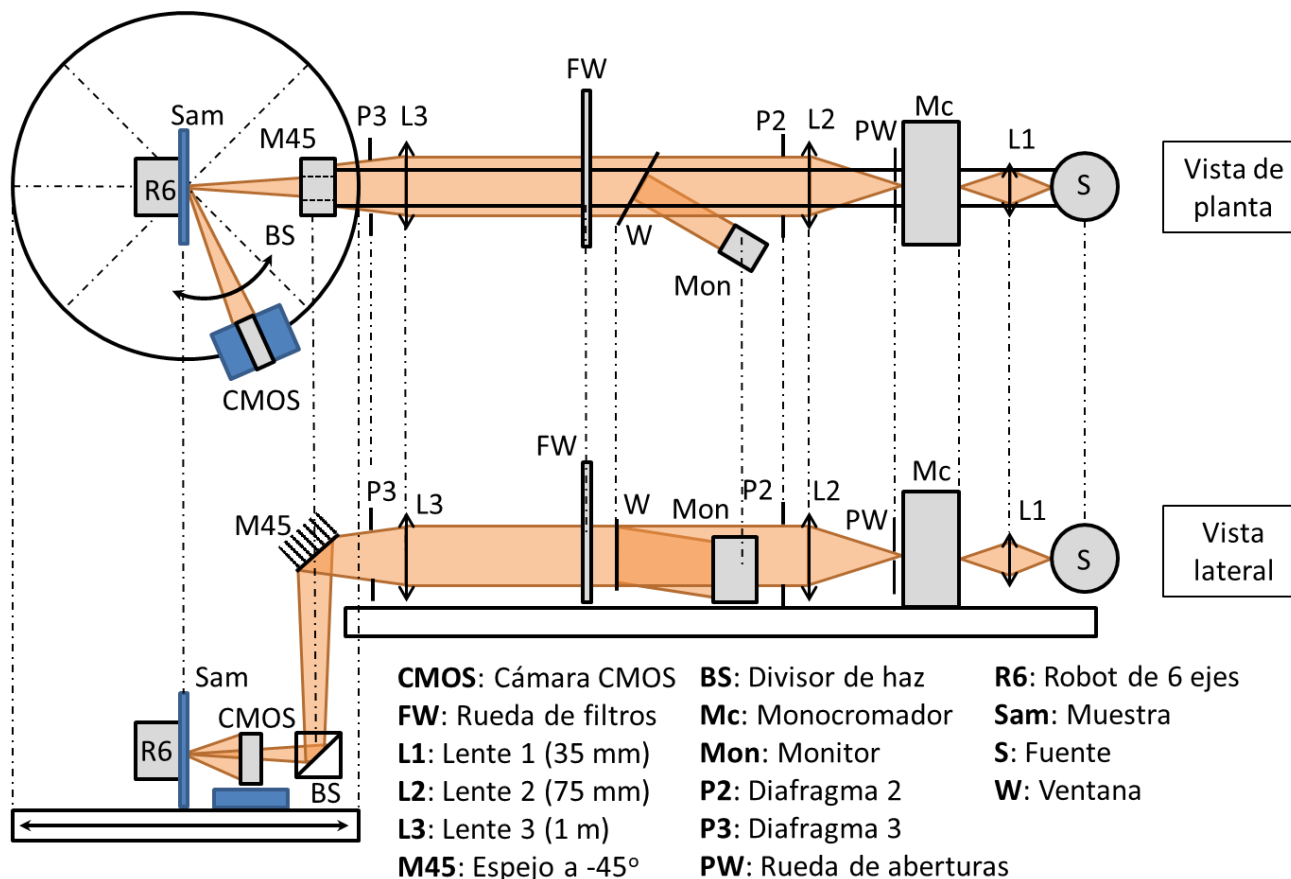
$$f_{ssr}(\mathbf{x}_i, \mathbf{r}_i; \mathbf{x}_r, \mathbf{r}_r) = \frac{dL_{ssr}(\mathbf{x}_i, \mathbf{r}_i; \mathbf{x}_r, \mathbf{r}_r)}{d\Phi_i(\mathbf{x}_i, \mathbf{r}_i)}$$



## Para la medida: gonio-espectrofotómetro (IO-CSIC)



# Esquema del gonio para la medida de la BSSRDF



## Ecuación de medida

$$f_{SSR}(\mathbf{x}_i, \mathbf{r}_i; \mathbf{x}_r, \mathbf{r}_r) = \frac{dL_{SSR}(\mathbf{x}_i, \mathbf{r}_i; \mathbf{x}_r, \mathbf{r}_r)}{d\Phi_i(\mathbf{x}_i, \mathbf{r}_i)}$$

$$f_{SSR}(\mathbf{x}_i, \mathbf{r}_i; \mathbf{x}_r, \mathbf{r}_r) \cong \frac{L_{SSR}(\mathbf{x}_i, \mathbf{r}_i; \mathbf{x}_r, \mathbf{r}_r)}{\Phi_i(\mathbf{x}_i, \mathbf{r}_i)}$$

$$\longrightarrow L_{SSR}(\mathbf{x}_i, \mathbf{r}_i; \mathbf{x}_r, \mathbf{r}_r) \cong \frac{\Phi_r(\mathbf{x}_i, \mathbf{r}_i; \mathbf{x}_r, \mathbf{r}_r)}{A_r \cos \theta_r \omega_r}$$

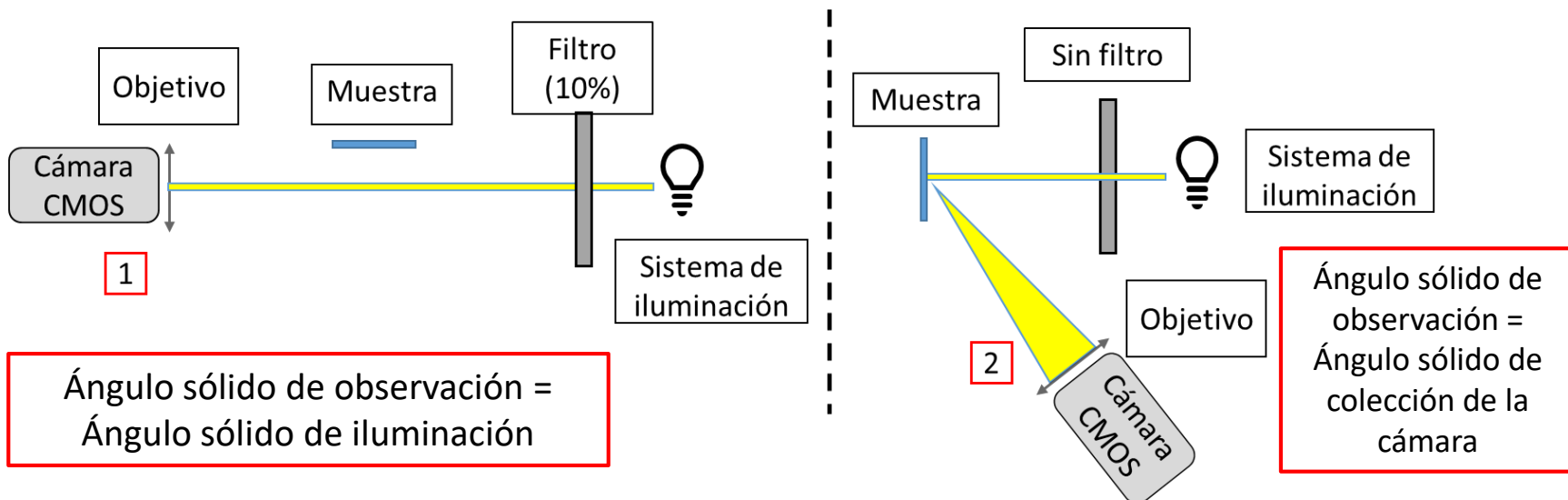
$$f_{SSR}(\mathbf{x}_i, \mathbf{r}_i; \mathbf{x}_r, \mathbf{r}_r) \cong \frac{1}{A_r \cos \theta_r \omega_r} \frac{\Phi_r(\mathbf{x}_i, \mathbf{r}_i; \mathbf{x}_r, \mathbf{r}_r)}{\Phi_i(\mathbf{x}_i, \mathbf{r}_i)}$$

## Proceso de medida

$$f_{ssr}(\mathbf{x}_i, \mathbf{r}_i; \mathbf{x}_r, \mathbf{r}_r) \cong \frac{1}{A_r \cos \theta_r \omega_r} \frac{\Phi_r(\mathbf{x}_i, \mathbf{r}_i; \mathbf{x}_r, \mathbf{r}_r)}{\Phi_i(\mathbf{x}_i, \mathbf{r}_i)}$$

$$\longrightarrow N = \frac{\lambda}{hc} F \tau \eta_e t_{\text{exp}} \Phi$$

Pueden variar según la condición de observación de la cámara



## Ecuación de medida

$$f_{ssr,k} = \frac{1}{A_r \cos \theta_r \omega_r} \left( \frac{N_{k,r}}{\sum_k N_{k,i}} \right) \left( \frac{t_{exp,k,i}}{t_{exp,k,r}} \right) \frac{1}{C_{rr}} \frac{1}{C_{nl}}$$

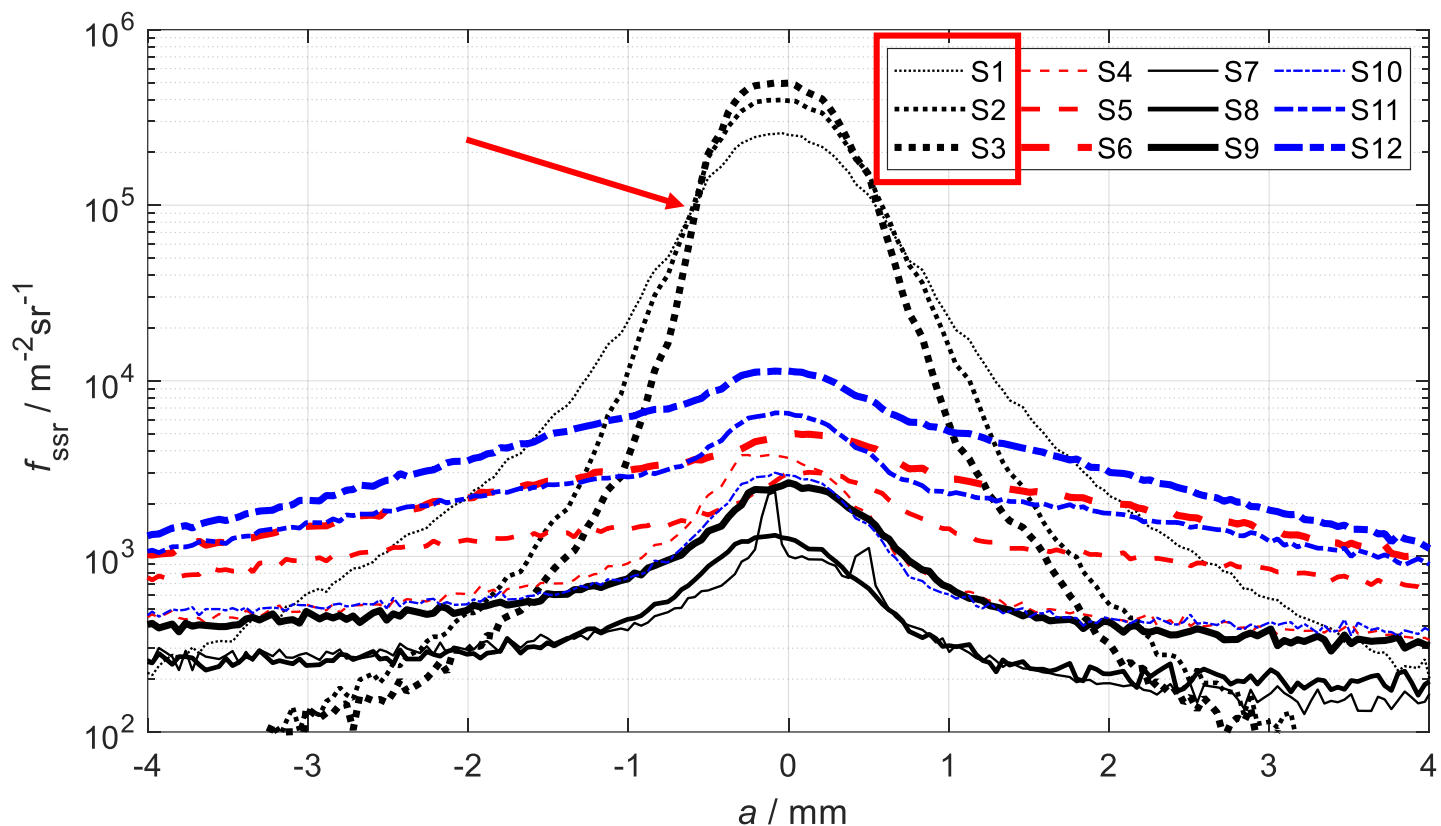
- $C_{rr} \equiv$  Relación de responsividades de la cámara CMOS.
- $C_{nl} \equiv$  Factor de corrección de la linealidad de la cámara CMOS en tiempos de exposición diferentes

## Muestras translúcidas de *Covestro Deutschland AG*



## Resultados previos

BSSRDF para  $\lambda = 550 \text{ nm}$ ,  $\theta_i = 15^\circ$  y  $\theta_r = 30^\circ$

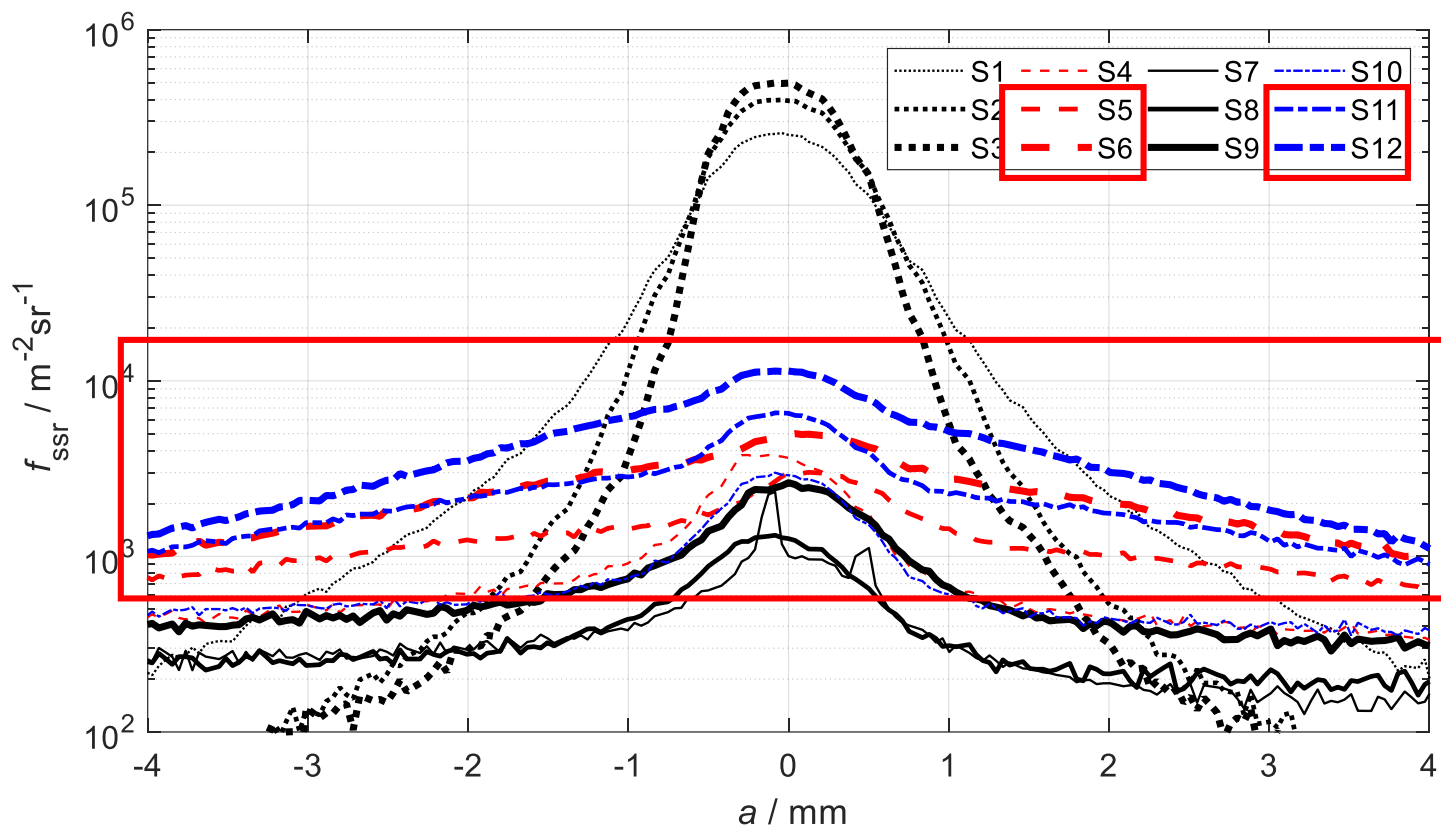


## Muestras translúcidas de *Covestro Deutschland AG*



## Resultados previos

BSSRDF para  $\lambda = 550 \text{ nm}$ ,  $\theta_i = 15^\circ$  y  $\theta_r = 30^\circ$

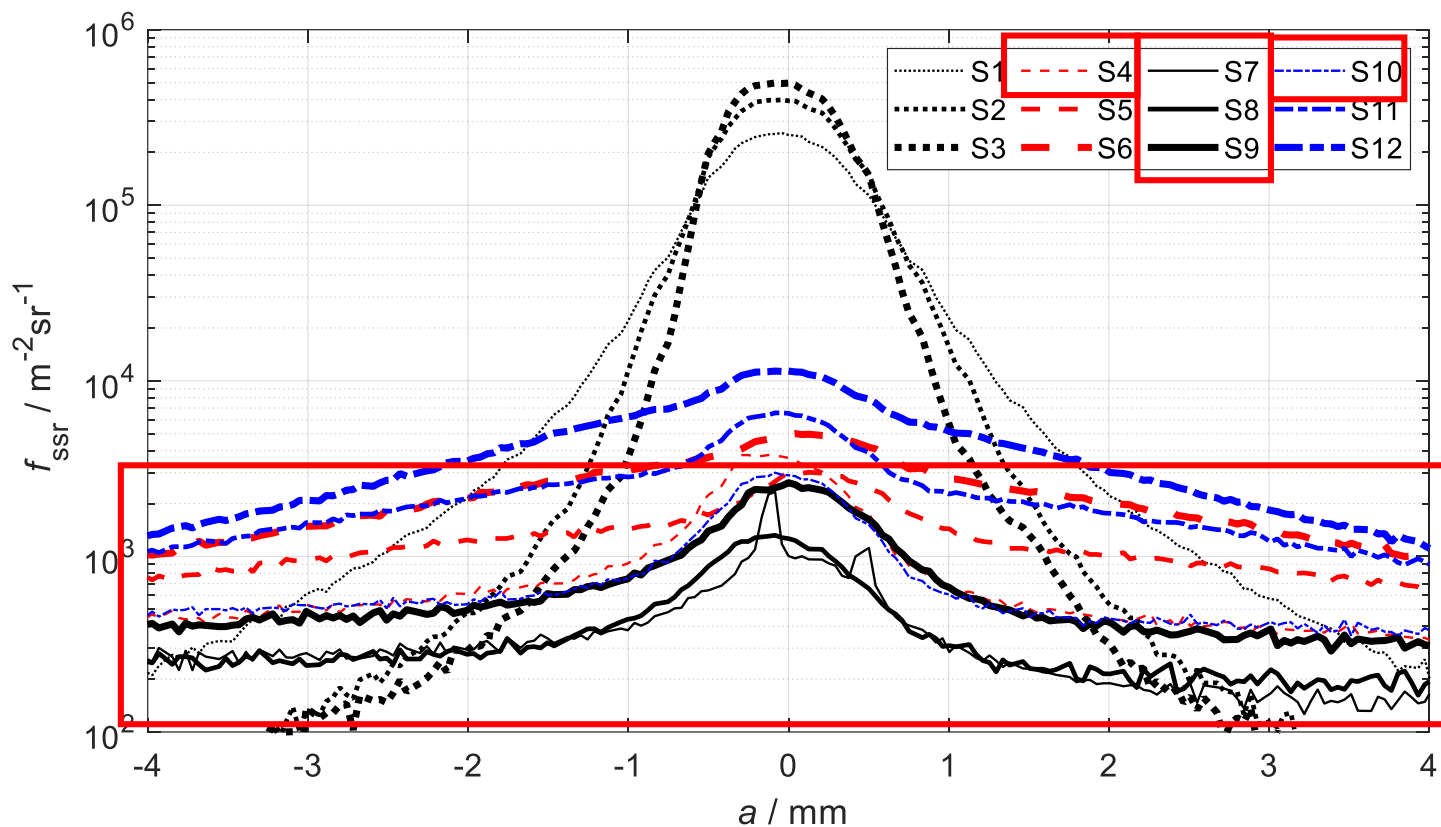


## Muestras translúcidas de *Covestro Deutschland AG*



## Resultados previos

BSSRDF para  $\lambda = 550 \text{ nm}$ ,  $\theta_i = 15^\circ$  y  $\theta_r = 30^\circ$



## Muestras translúcidas de *Covestro Deutschland AG*



## Conclusiones

1. La lámpara de descarga LDLS ha permitido obtener un área de iluminación sobre la superficie de la muestra mucho más pequeña y con suficiente flujo radiante incidente.
2. La cámara CMOS de alta sensibilidad y bajo ruido de lectura permite obtener respuesta de los píxeles suficiente para diferenciar el comportamiento observado en las muestras usadas para la escala.
3. Cabe esperar que, tras la caracterización radiométrica completa del sistema y la identificación de las fuentes de incertidumbres correspondientes, se pueda establecer la primera escala de medida de la BSSRDF y transferir el patrón a otros laboratorios.



# Gracias por vuestra atención

Instituto de Óptica “Daza de Valdés”, Consejo Superior de Investigaciones Científicas (IO-CSIC), Grupo de Investigación en Medidas de Radiación Óptica (GIMRO). C/ Serrano 144, 28006 Madrid.

E-mail: [pablo.santafe@csic.es](mailto:pablo.santafe@csic.es)

La CIE define la reflectancia y la transmitancia como:

- $R = \frac{\Phi_R(A_R, \omega_R, \dots)}{\Phi_i(A_i, \omega_i, \dots)}$
- $T = \frac{\Phi_T(A_T, \omega_T, \dots)}{\Phi_i(A_i, \omega_i, \dots)}$

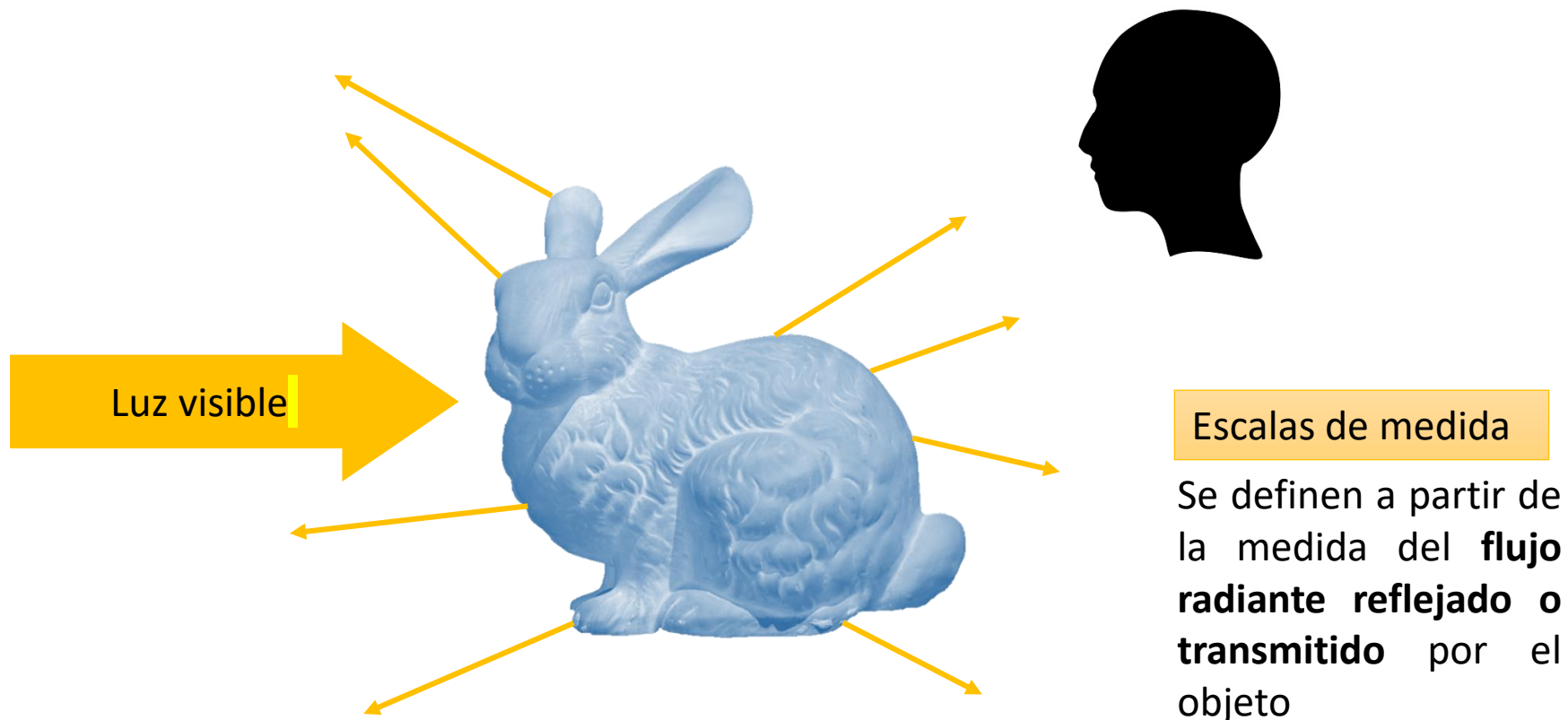
**Condiciones específicas** de medida, insuficiente para proporcionar una **descripción general** de la reflectancia y la transmitancia de un objeto

F. E. Nicodemus et. al. (1977)

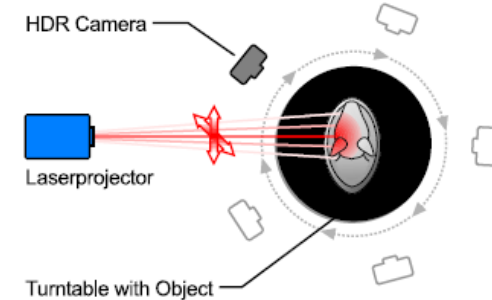
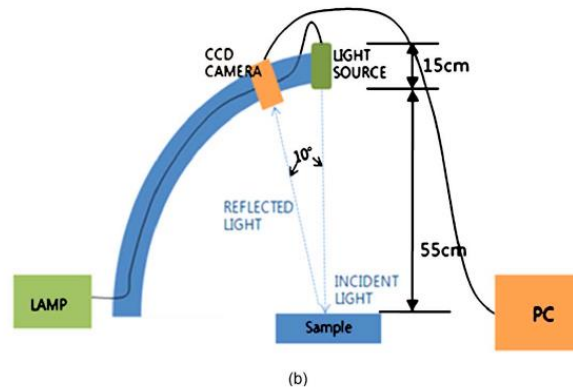
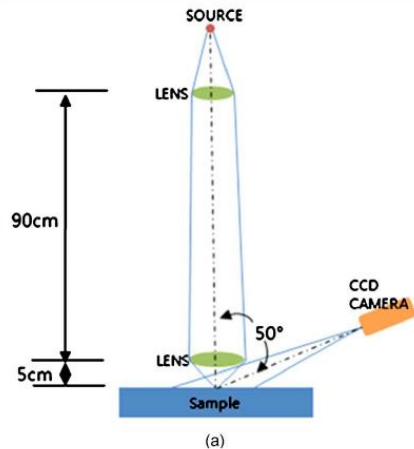


Funciones de distribución de reflectancia

## Apariencia de un objeto



## Sistemas de medida de la BSSRDF



Jensen et. al. (2001). A practical model for subsurface light transport. Proceedings of the ACM SIGGRAPH Conference on Computer Graphics, 511–518.

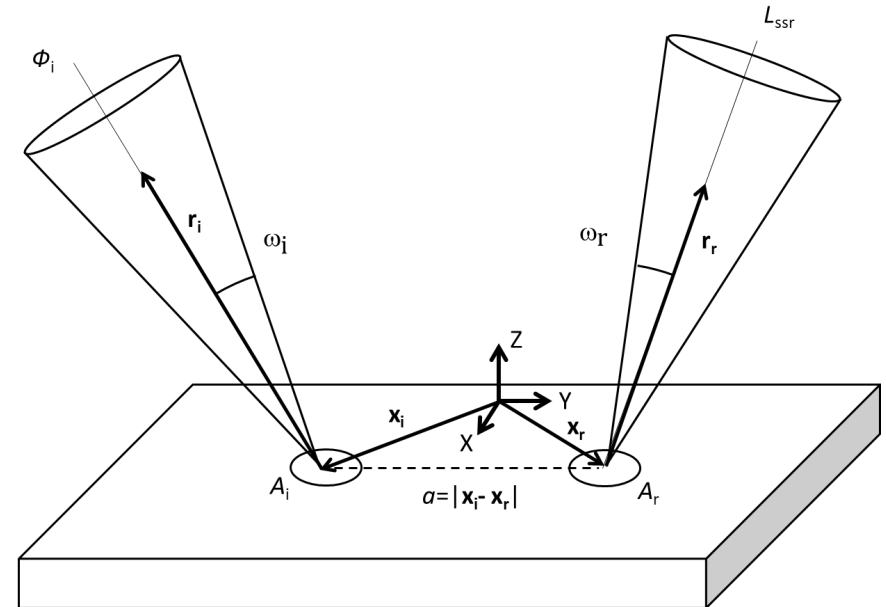
Lee, S. J. (2010). Representation of homogeneous translucent materials using the P3 approximation and an image-based bidirectional subsurface scattering reflectance distribution function measurement system. Optical Engineering, 49(6), 063601.

Goesele, M., Lensch, H. P. A., Lang, J., Fuchs, C., & Seidel, H. P. (2004). DISCO - Acquisition of translucent objects. ACM SIGGRAPH 2004 Papers, SIGGRAPH 2004, 835–844.

**Ninguno fue diseñado con el fin de proporcionar medidas trazables de la BSSRDF**

## Función de distribución de reflectancia bidireccional con componente de *scattering* sub-superficial (BSSRDF)

- Íntimamente ligada a la **translucidez**.
- Una medida completa de la función requiere **8 grados de libertad**.
  - 2 para la dirección de iluminación
  - 2 para la dirección de observación
  - 2 para la posición del área de iluminación sobre la superficie de la muestra
  - 2 para la posición del área de observación sobre la superficie de la muestra
- En el caso de muestras **homogéneas** se reduce a **6 grados de libertad**.





Hamamatsu Orca-Flash4.0 V3

Parámetros	Valor estimado
Ruido de lectura, $\sigma_r$	0.86 electrones rms
Factor de conversión, $F$	<0.5 electrones/cuenta
Señal de oscuridad, $s_t$	0.011 electrones/s/píxel