



# LONGITUDINAL FIELD MODES PROBED BY SINGLE MOLECULES

L. Novotny, M. R. Berversluis, K. S. Youngworth and T. G.  
Brown

*The Institute of Optics, University of Rochester, New York 14627*



4 June 2001

# Esquema

- Motivación
- Introducción
- Arreglo experimental
- Resultados
- Conclusiones

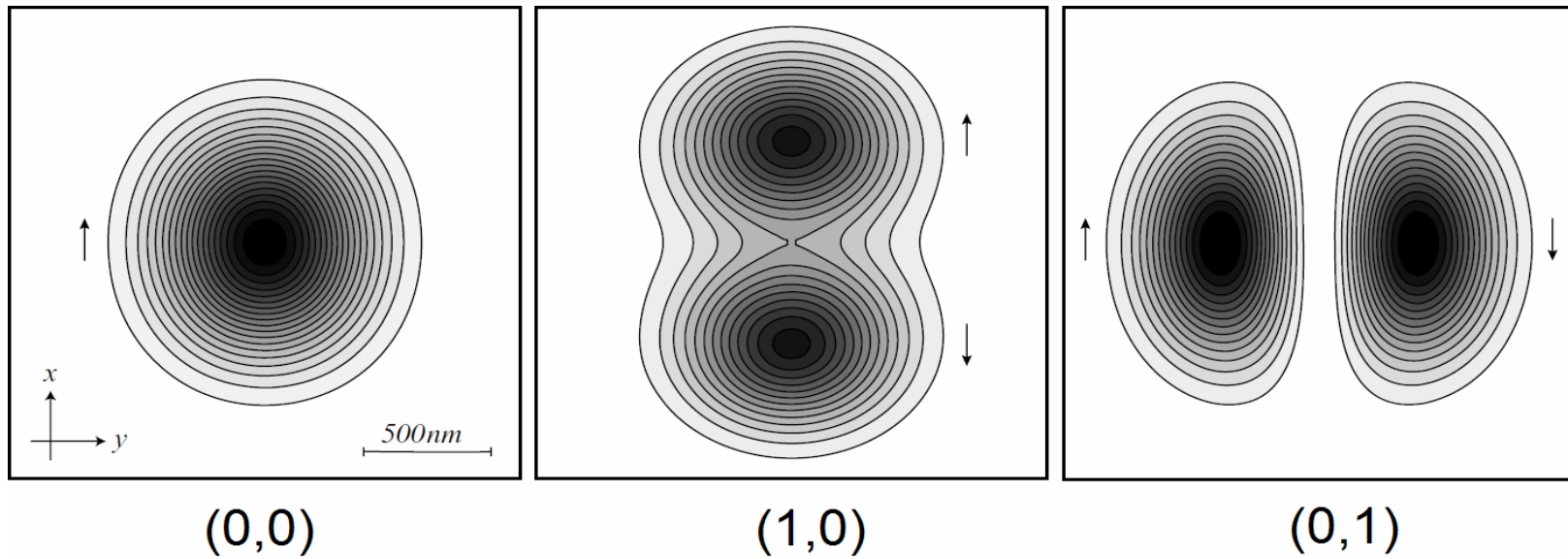
# Motivación

- Acelerar partículas a altas energías
- Sondear el momento dipolar de moléculas individuales
  - Cinética y dinámica de las moléculas individuales
  - Monitoreo de difusión rotacional
  - Cambios conformacionales
- Modos longitudinales y transversales + Microscopio confocal → alta sensibilidad a gradientes de superficies
  - Intensidad del campo longitudinal → Representación de espectro angular

# Introducción

Modos Hermite-Gaussian:

$$E_{n,m}^H(x, y, z) = \omega_0^{n+m} \frac{\partial^n}{\partial x^n} \frac{\partial^m}{\partial y^m} E(x, y, z)$$



## Campos enfocados:

Modo (0,0)

$$\mathbf{E}(\rho, \varphi, z) = \frac{ikf}{2} \sqrt{\frac{n_1}{n_2}} E_0 e^{-ikf} \begin{bmatrix} I_{00} + I_{02} \cos 2\varphi \\ I_{02} \sin 2\varphi \\ -2i I_{01} \cos \varphi \end{bmatrix}$$

Modo (1,0)

$$\mathbf{E}(\rho, \varphi, z) = \frac{ikf^2}{2w_0} \sqrt{\frac{n_1}{n_2}} E_0 e^{-ikf} \begin{bmatrix} iI_{11} \cos \varphi + iI_{14} \cos 3\varphi \\ -iI_{12} \sin \varphi + iI_{14} \sin 3\varphi \\ -2I_{10} + 2I_{13} \cos 2\varphi \end{bmatrix}$$

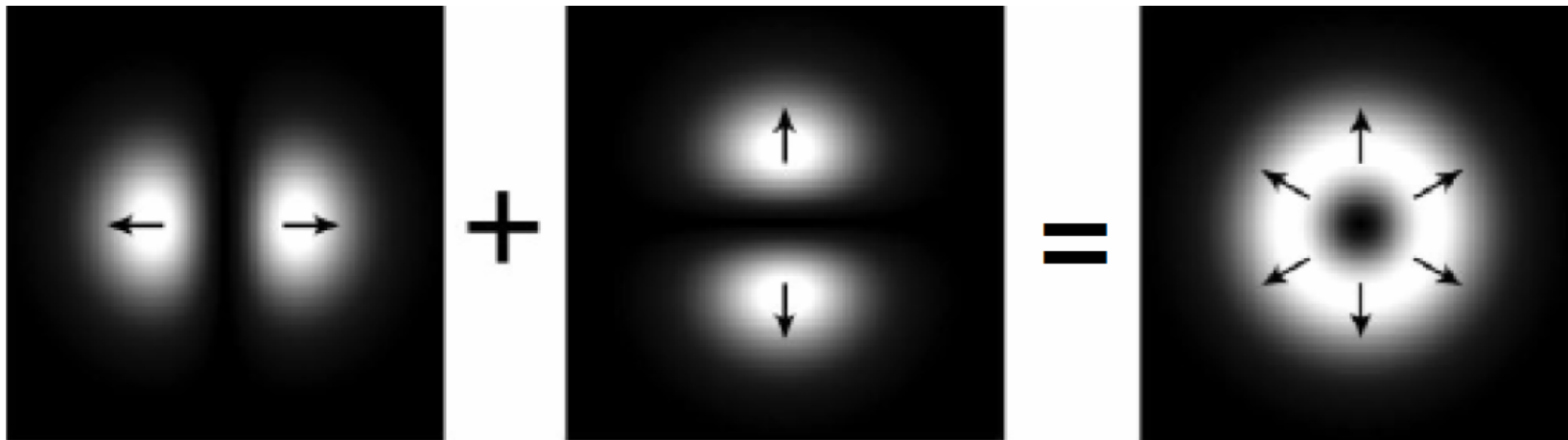
Modo (0,1)

$$\mathbf{E}(\rho, \varphi, z) = \frac{ikf^2}{2w_0} \sqrt{\frac{n_1}{n_2}} E_0 e^{-ikf} \begin{bmatrix} i(I_{11} + 2I_{12}) \sin \varphi + iI_{14} \sin 3\varphi \\ -iI_{12} \cos \varphi - iI_{14} \cos 3\varphi \\ 2I_{13} \sin 2\varphi \end{bmatrix}$$

$I_{00}$  y  $I_{10}$  no nulas en  $\rho = 0 \Rightarrow$  modo (1,0) con  $E_z \neq 0$  en  $\rho = 0$

## Campo radialmente polarizado:

$$RP = HG_{10} \mathbf{n}_x + HG_{10} \mathbf{n}_y$$



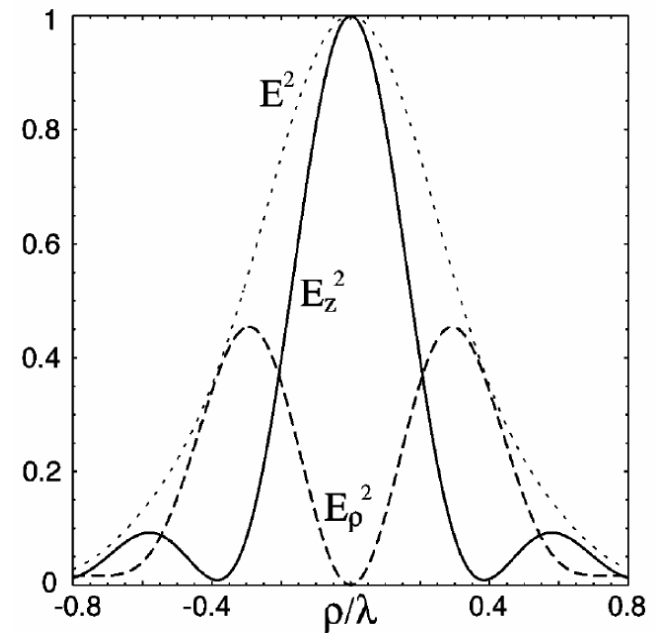
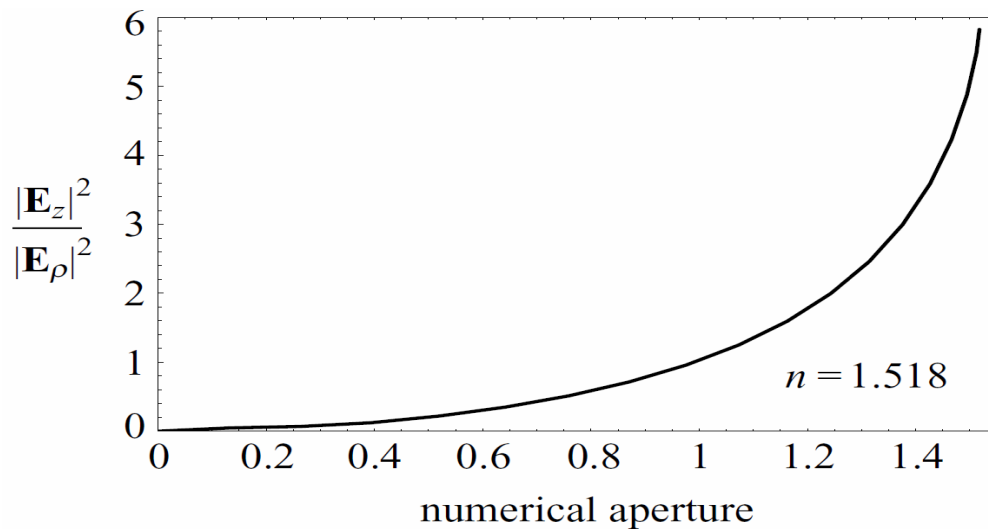
$$\mathbf{E}(\rho, \varphi, z) = \frac{ik f^2}{2w_0} \sqrt{\frac{n_1}{n_2}} E_0 e^{-ikf} \begin{bmatrix} i(I_{11} - I_{12}) \cos \varphi \\ i(I_{11} - I_{12}) \sin \varphi \\ -4I_{10} \end{bmatrix}$$

## Reescribiendo en coord. cilíndricas:

$$E_{\rho}^0(\mathbf{r}) = E_0 \int_0^{\theta_{\max}} f_w(\theta) (\cos\theta)^{3/2} \times \sin^2\theta J_1(k\rho \sin\theta) e^{ikz \cos\theta} d\theta$$

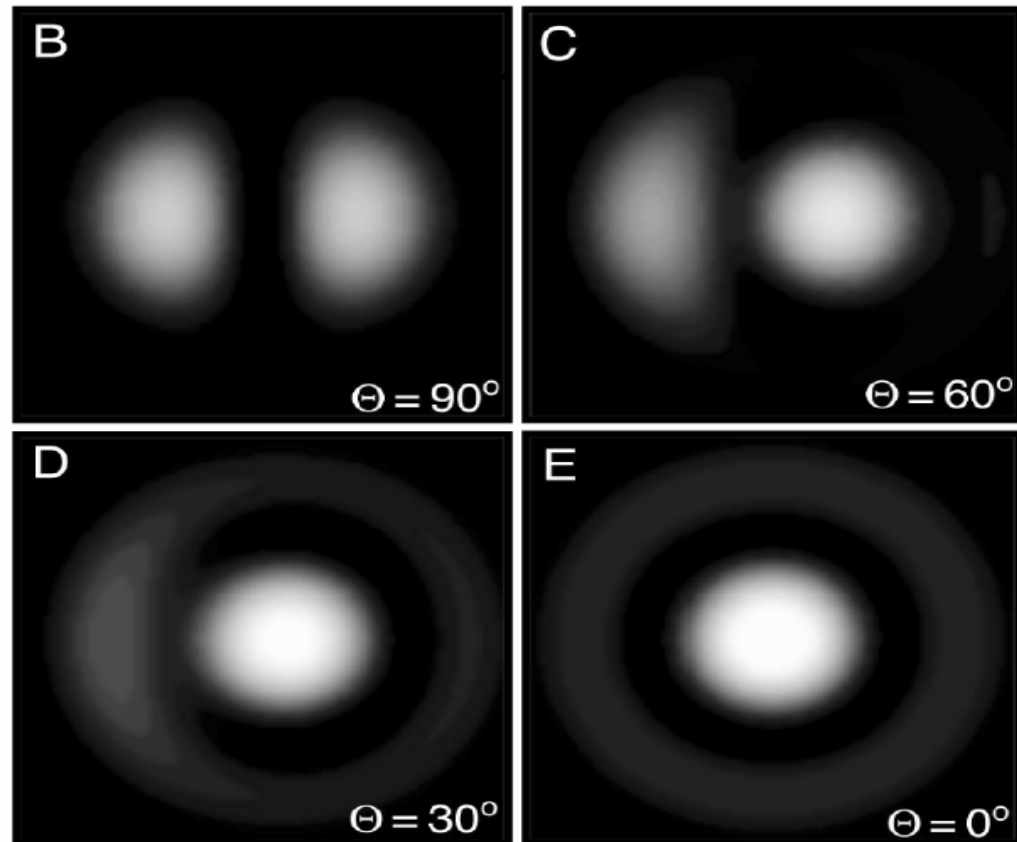
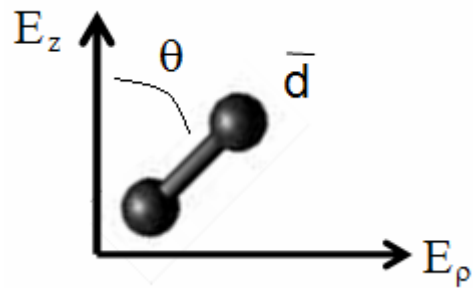
$$E_z^0(\mathbf{r}) = E_0 \int_0^{\theta_{\max}} f_w(\theta) (\cos\theta)^{1/2} \times \sin^3\theta J_0(k\rho \sin\theta) e^{ikz \cos\theta} d\theta$$

$$f_w(\theta) = \exp\left[-\frac{1}{f_0^2} \frac{\sin^2\theta}{\sin^2\theta_{\max}}\right]$$

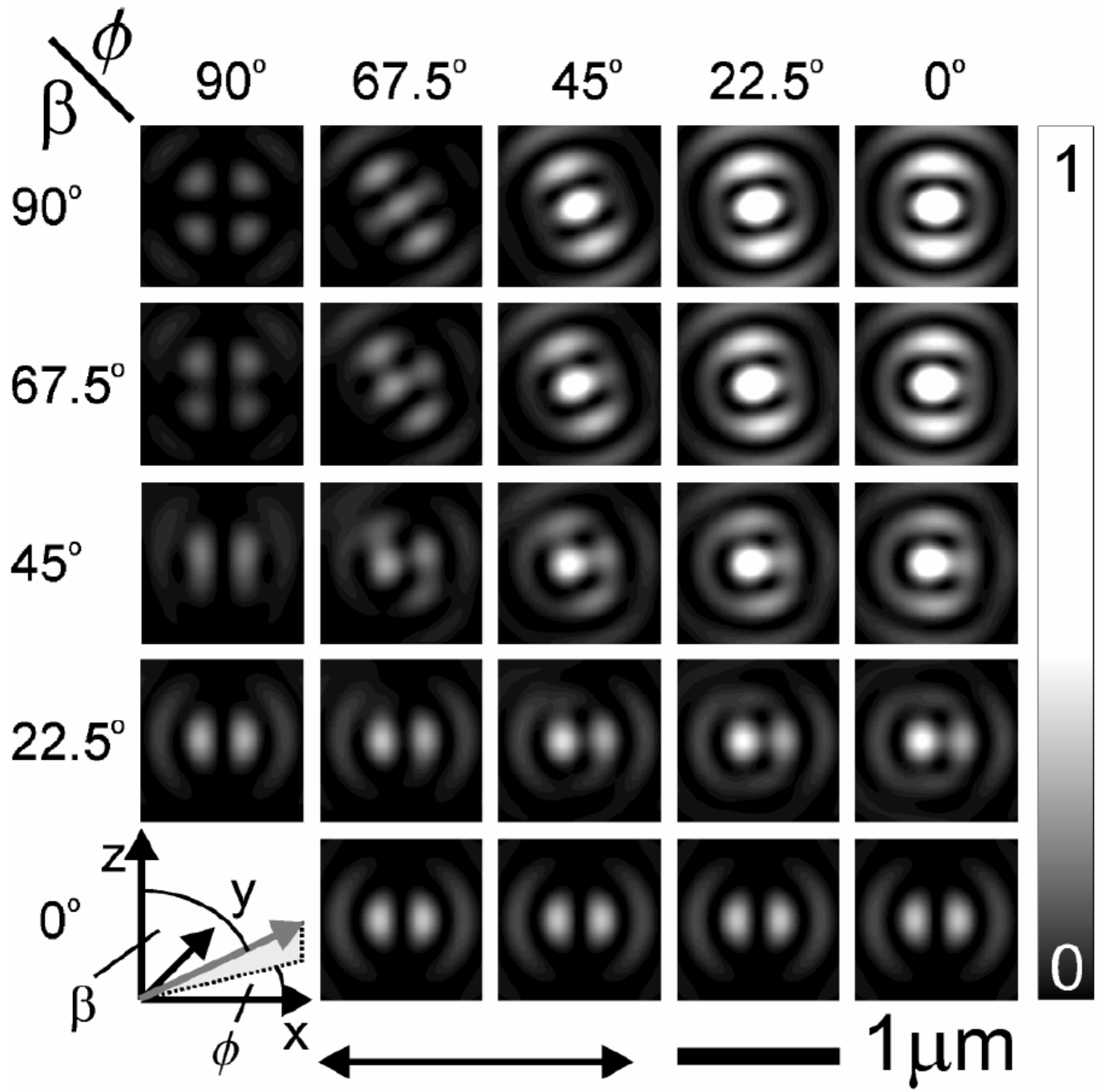


# Tasa de Florescencia

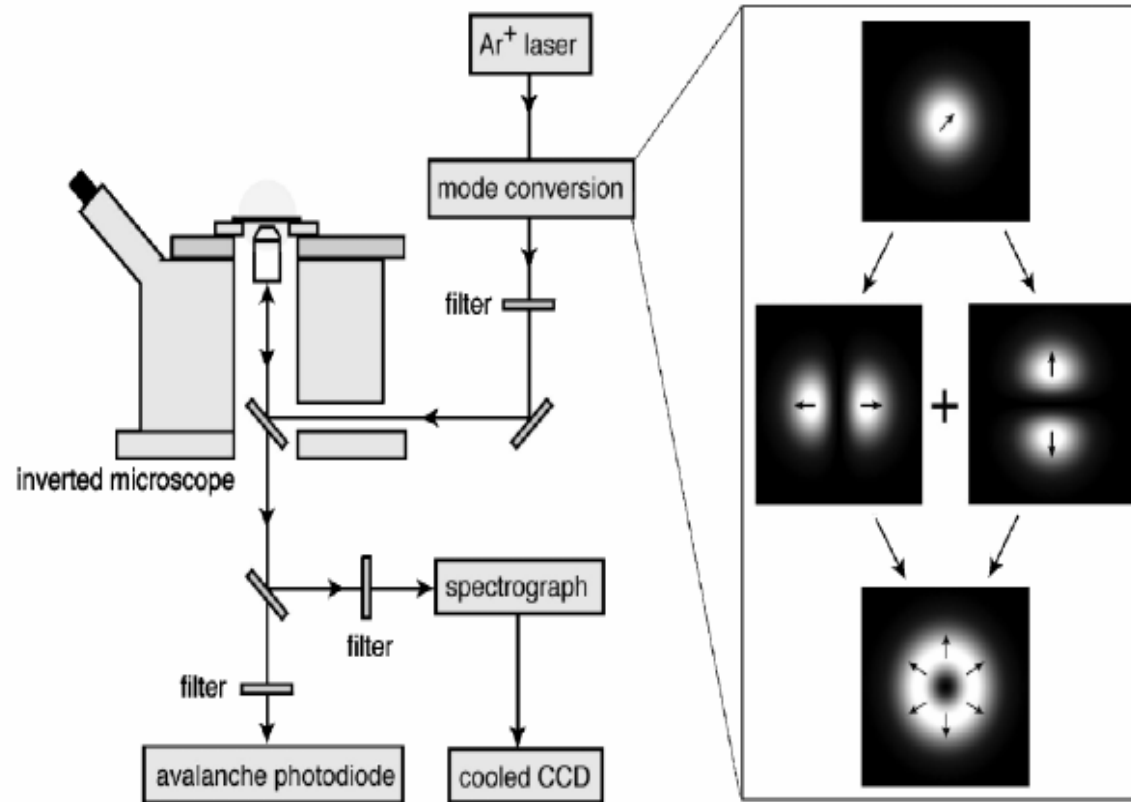
$$R(\mathbf{r}) = c|\mathbf{d} \cdot \mathbf{E}(\mathbf{r})|^2$$







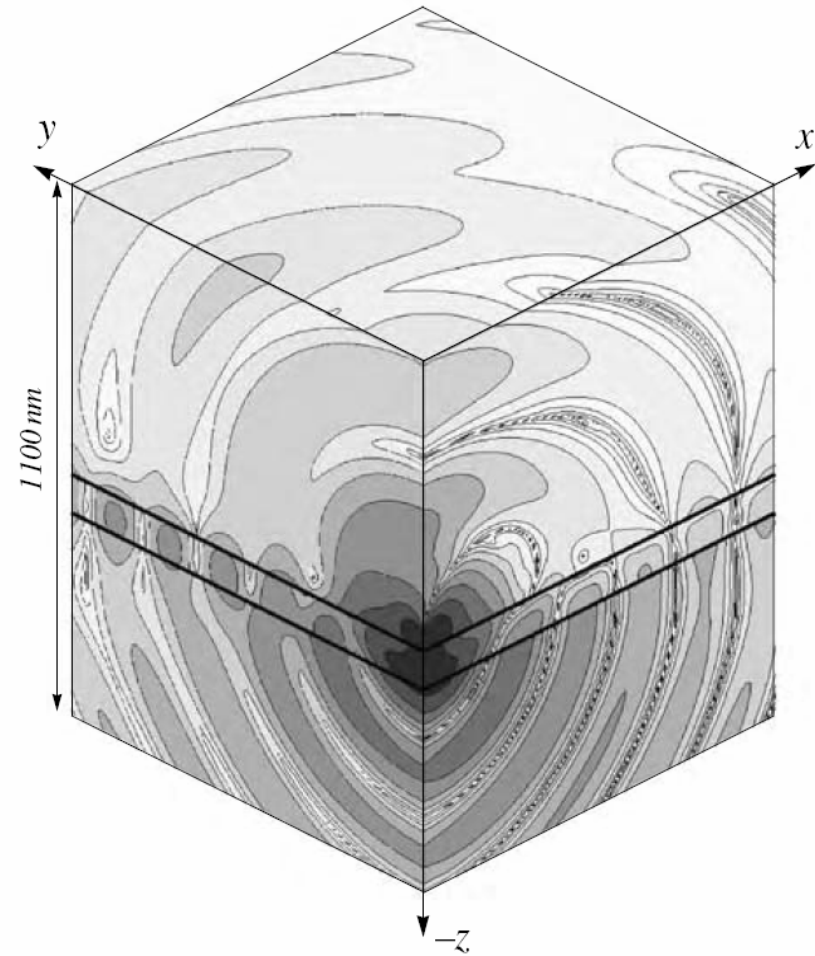
# Arreglo experimental



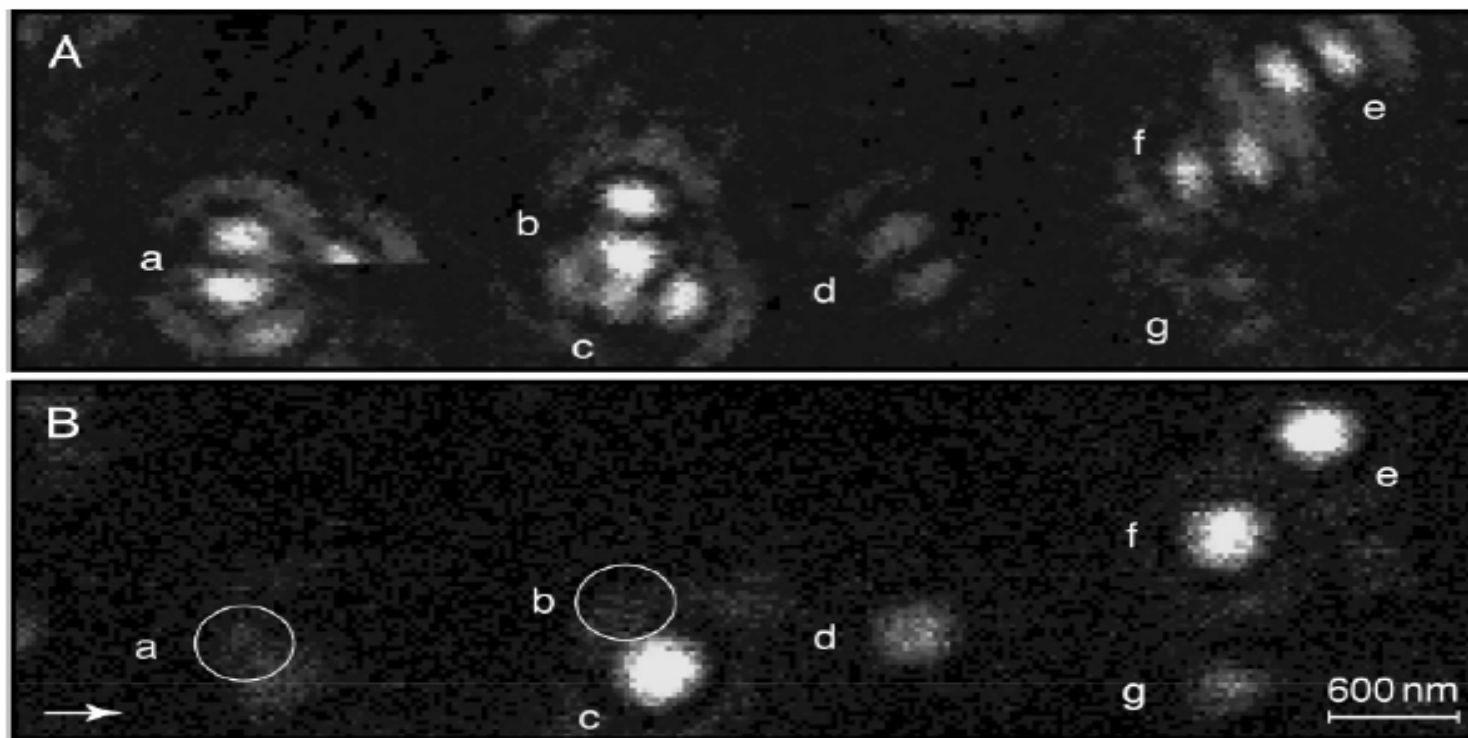
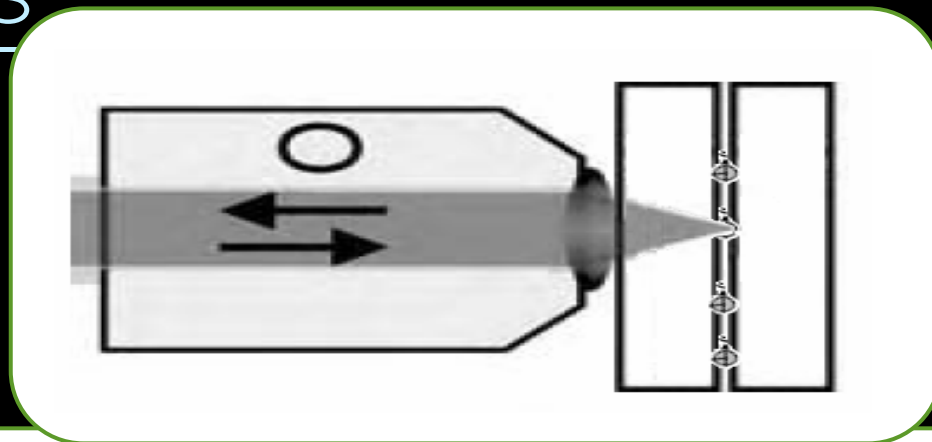
- $\lambda$ : 488nm
- NA: 1,4
- Esp. de PMMA: 10-30nm
- N del medio: 1,52
- Eficiencia total: 25-30%

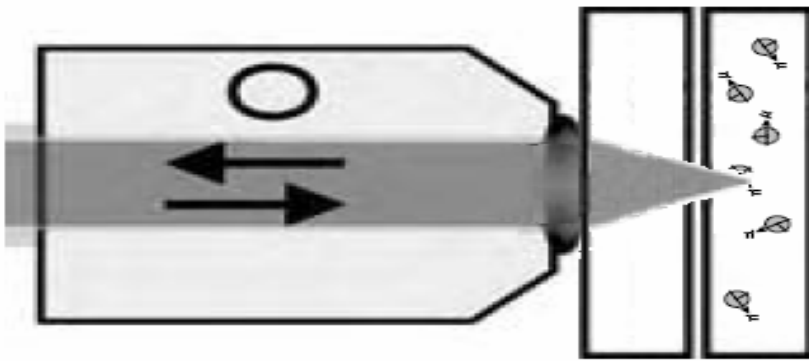
$$S = \frac{1}{2} E \times H^*$$

$$S = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{\epsilon}{\mu}} |E|^2 n$$

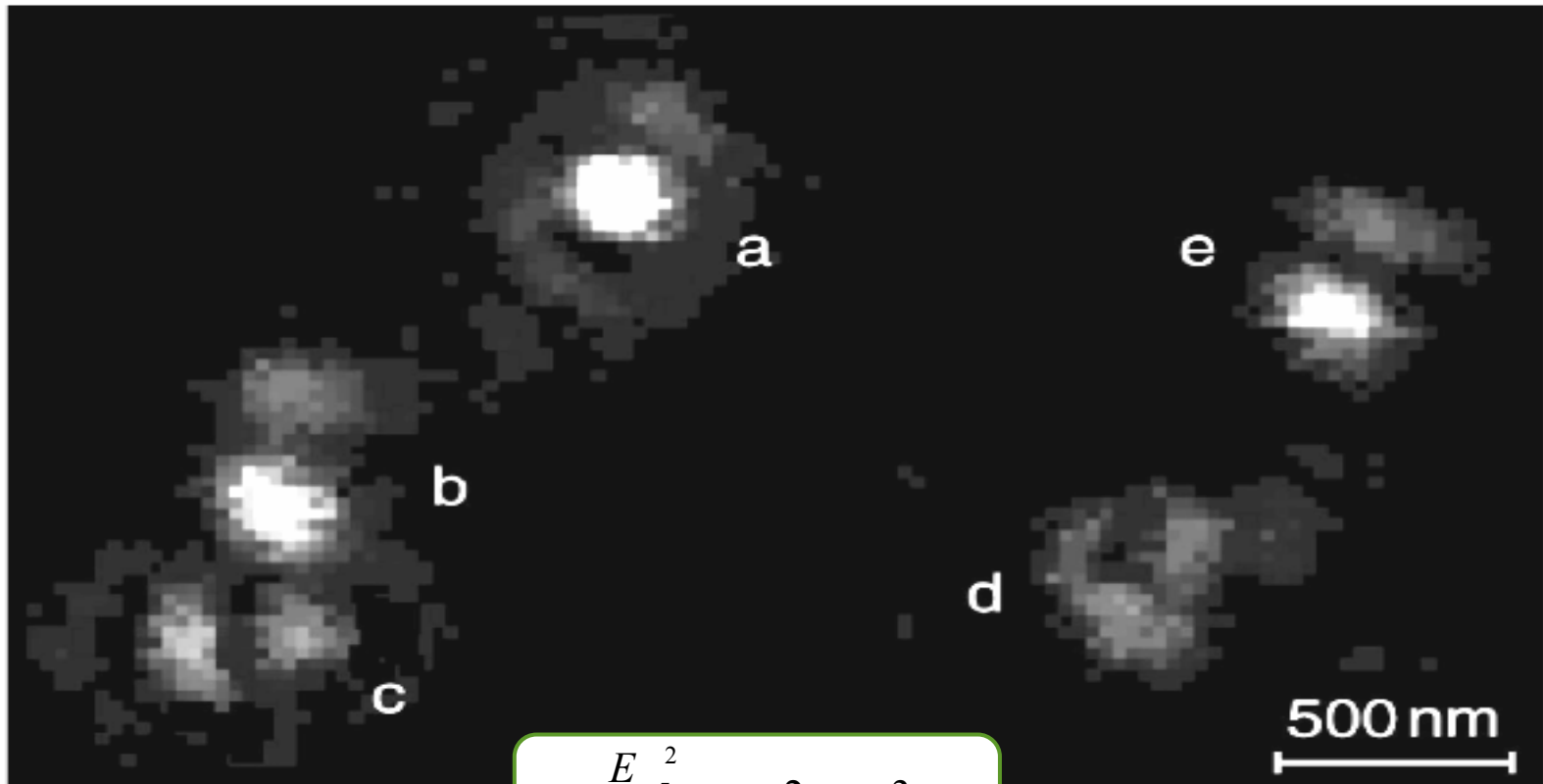


# Resultados



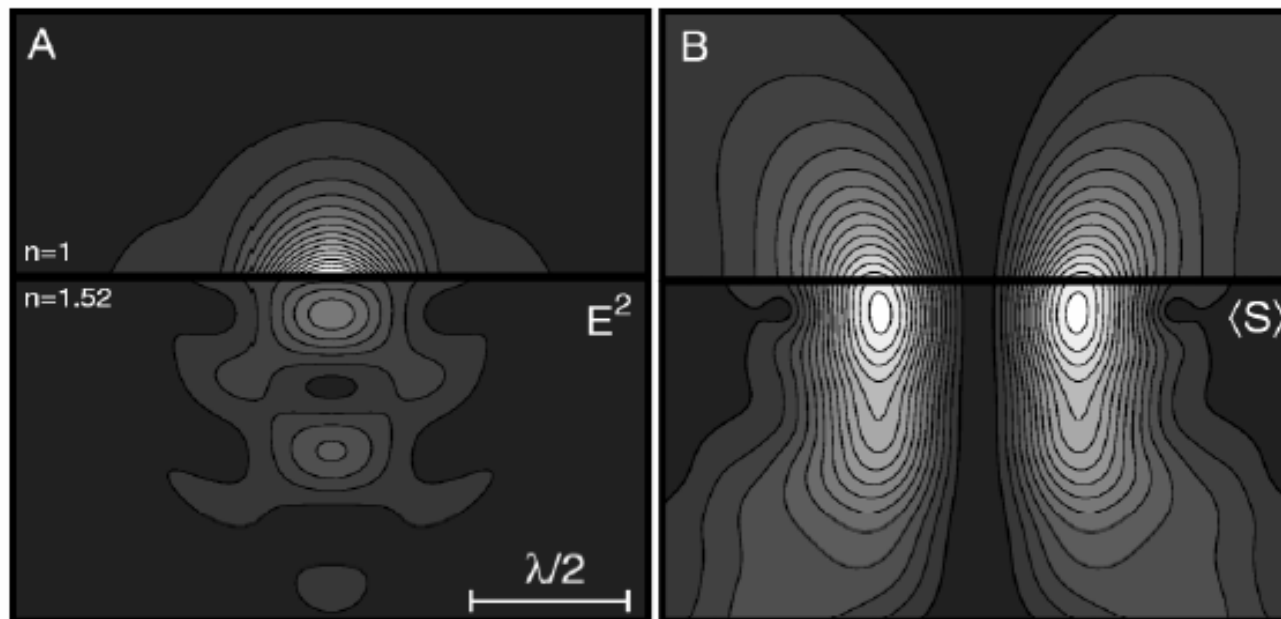


A: 10-30°  
 B: 60°  
 C: 90°  
 D: 90°  
 E: 60°



$$\frac{E_z^2}{E_\rho^2} \approx 2 - 3$$

# Análisis extra del campo enfocado



- $E_z$  no transporta energía
- Existe el análogo para el campo magnético por medio de un haz azimutalmente polarizado

# Conclusiones

- Se pudo detectar la orientación de los dipolos de las moléculas individuales.
- La relación entre el campo longitudinal y transversal concuerda bien con la teoría.

$$\frac{E_z^2}{E_\rho^2} \approx 2 - 3$$

- La componente  $E_z$  sobre el eje óptico no transporta energía y la intensidad del campo justo arriba del dieléctrico se maximiza, lo cual podría ser usado en aplicaciones para *imaging* y *data storage* basados en inmersión de lentes sólidos.