

NANO-FOTÓNICA

CONTENIDO

- ➔ **INTRODUCCIÓN**
- ➔ **FABRICACIÓN**
- ➔ **PROPIEDADES**
- ➔ **COMPONENTES Y DISPOSITIVOS**
- ➔ **SENSORES ÓPTICOS**

INTRODUCCIÓN

¿CÓMO ENFOCAR NUESTRAS
ACTIVIDADES DE GENERACIÓN
DE CONOCIMIENTO EN LAS
CONDICIONES DE NUESTROS
PAÍSES?

La única respuesta a esa pregunta que personalmente
defiendo es:

Con Ingenio y encontrando nichos de trabajo que puedan
ser abordados y resueltos con poca inversión.

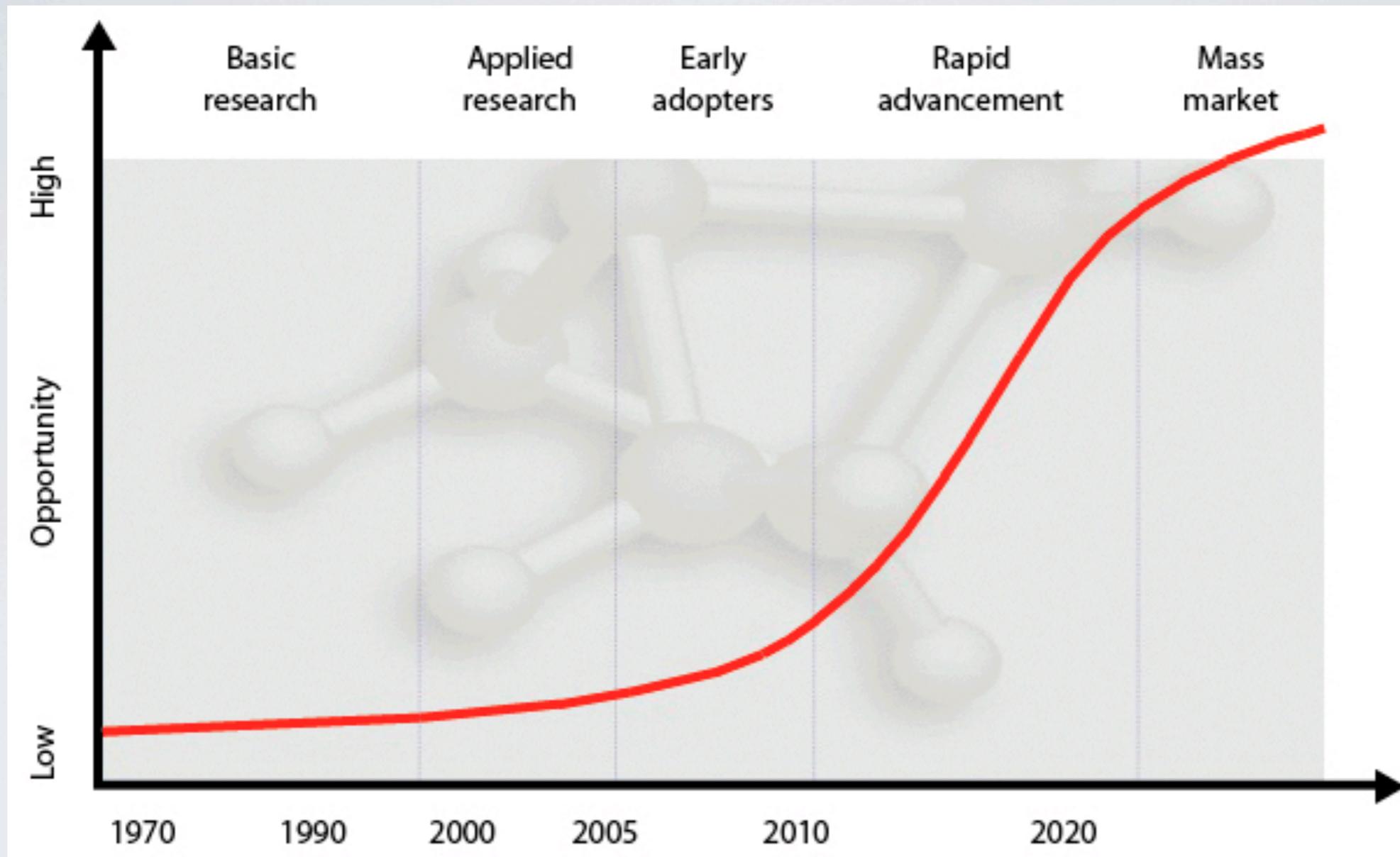
1) Teoría y Soporte computacional

2) Experimentos en campos nuevos y con alto contenido
artesanal.

Quiero aprovechar esta oportunidad para hablar de nuestros proyectos y ofrecer nuestro apoyo para proyectos de colaboración y movilidad tanto de estudiantes como de profesores.

NANOTECNOLOGÍA

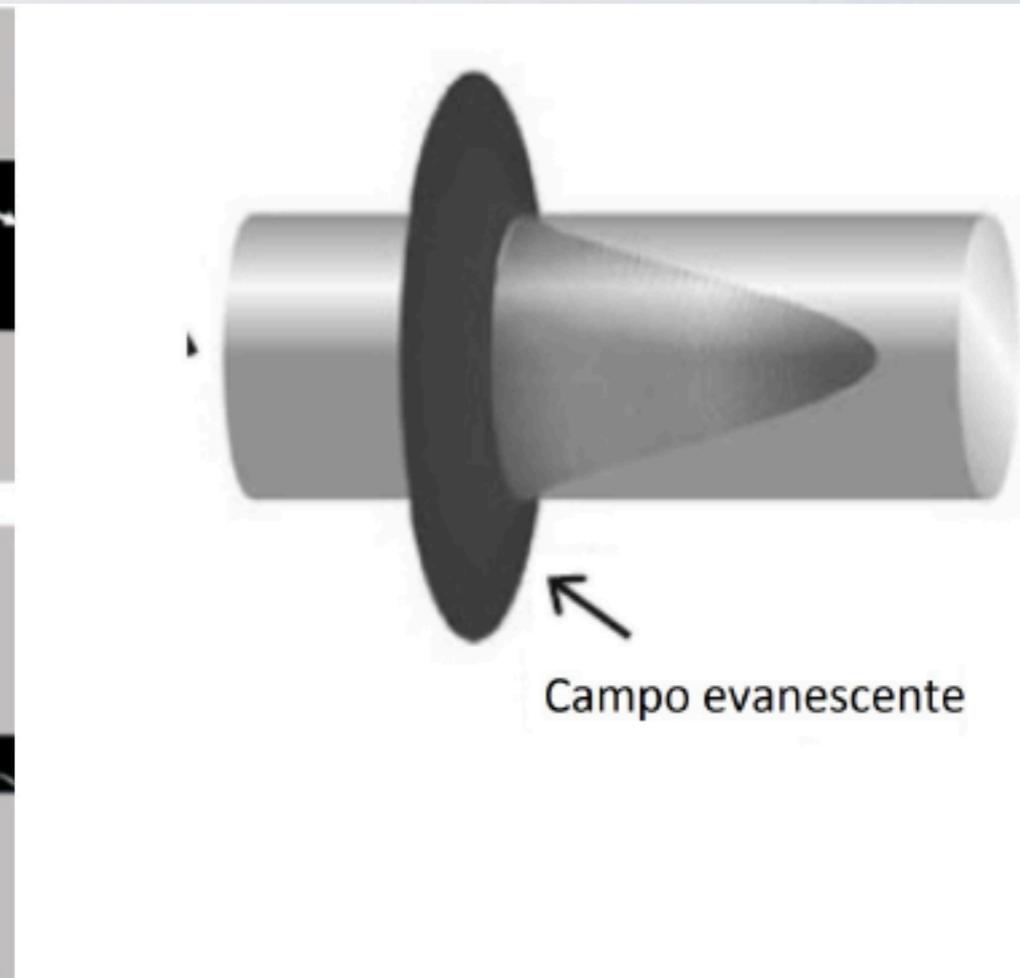
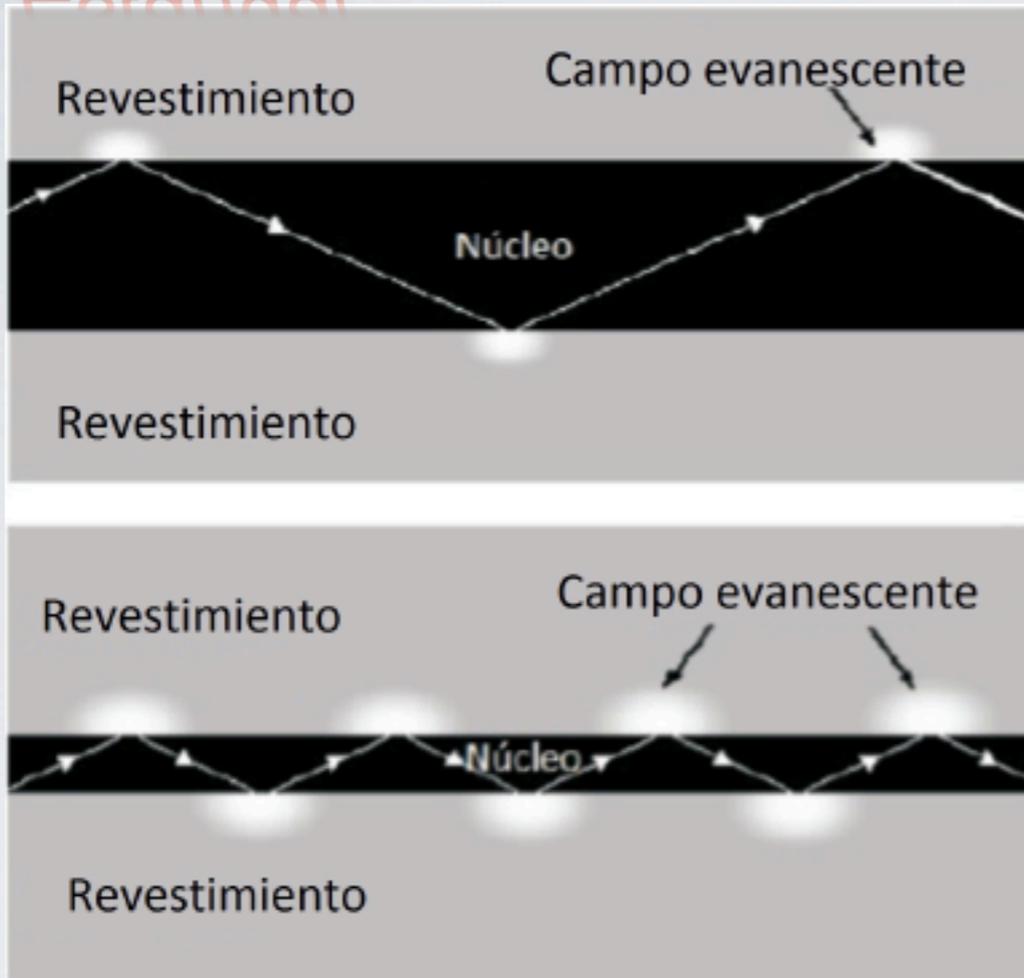
Crecimiento de la nanotecnología



FIBRAS ÓPTICAS SUBLONGITUD DE ONDA

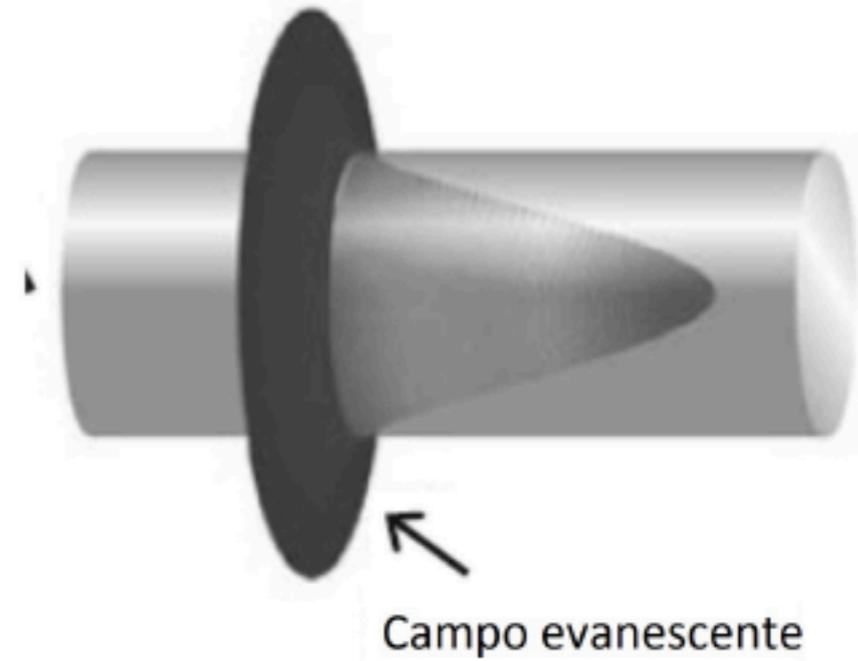
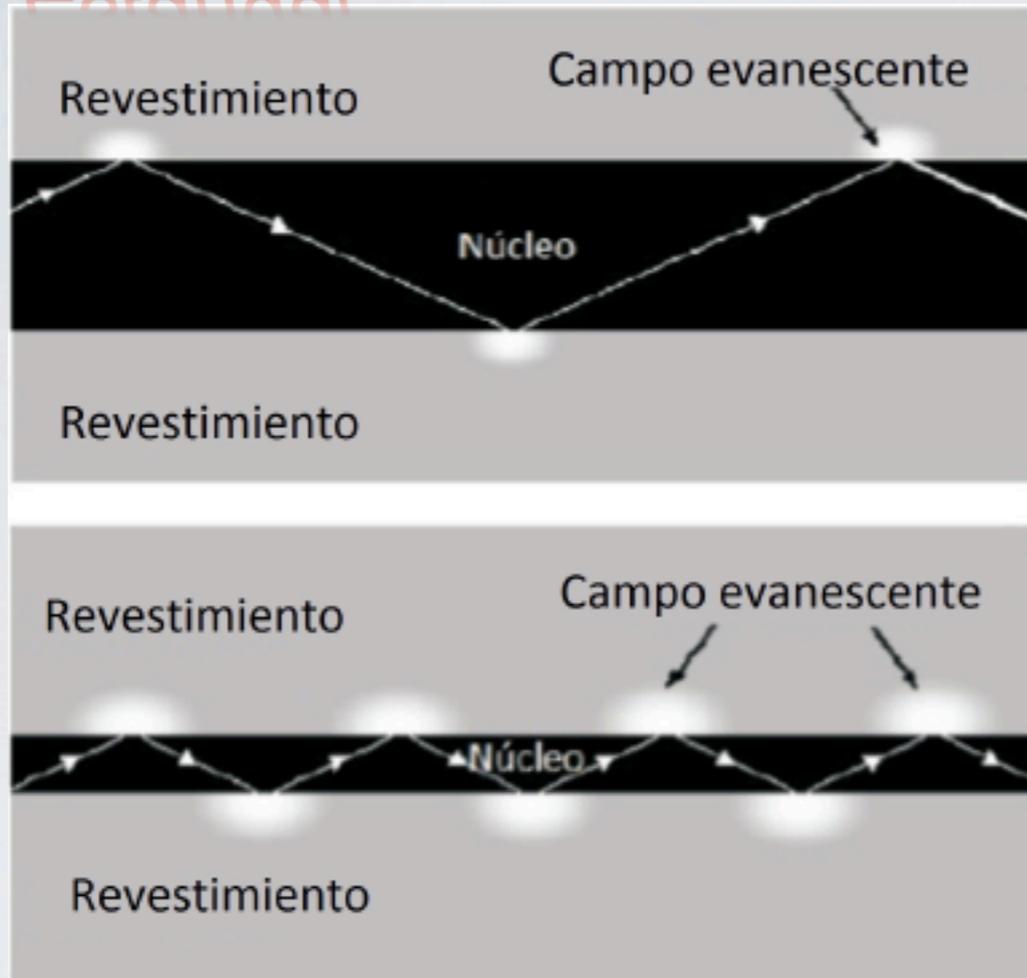
Onda óptica guiada a lo largo de fibra óptica:

Estándar

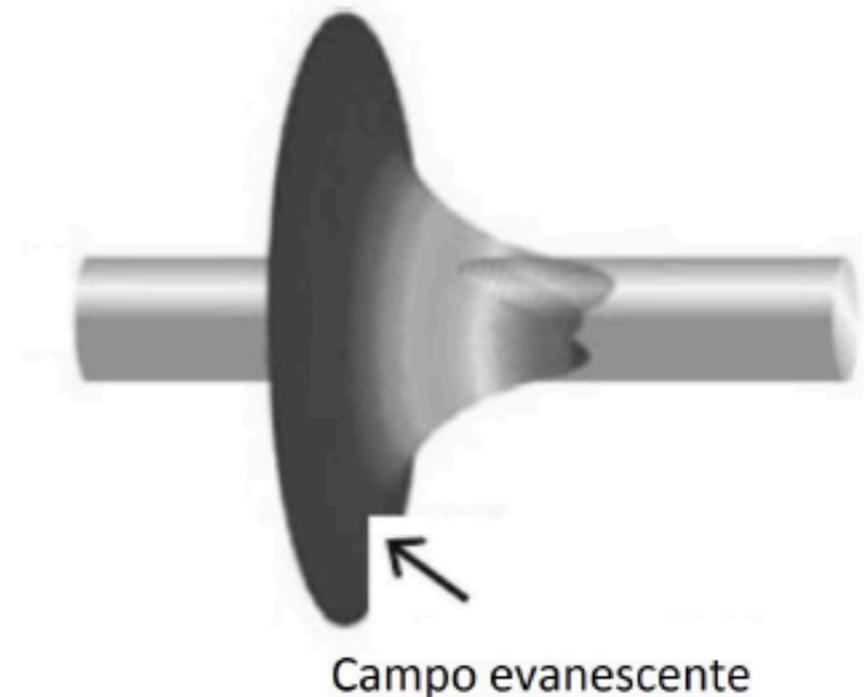
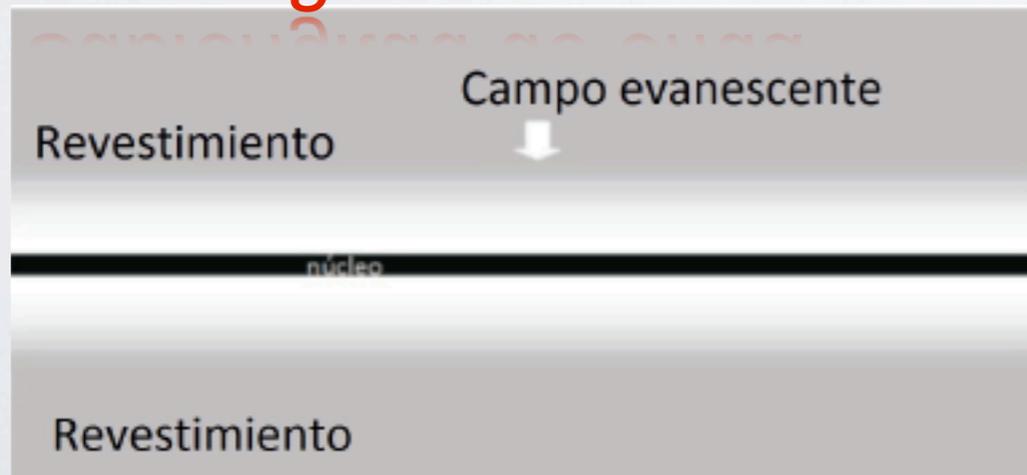


Onda óptica guiada a lo largo de fibra óptica:

Estándar



Sublongitud de onda



Fibra óptica sublongitud de onda

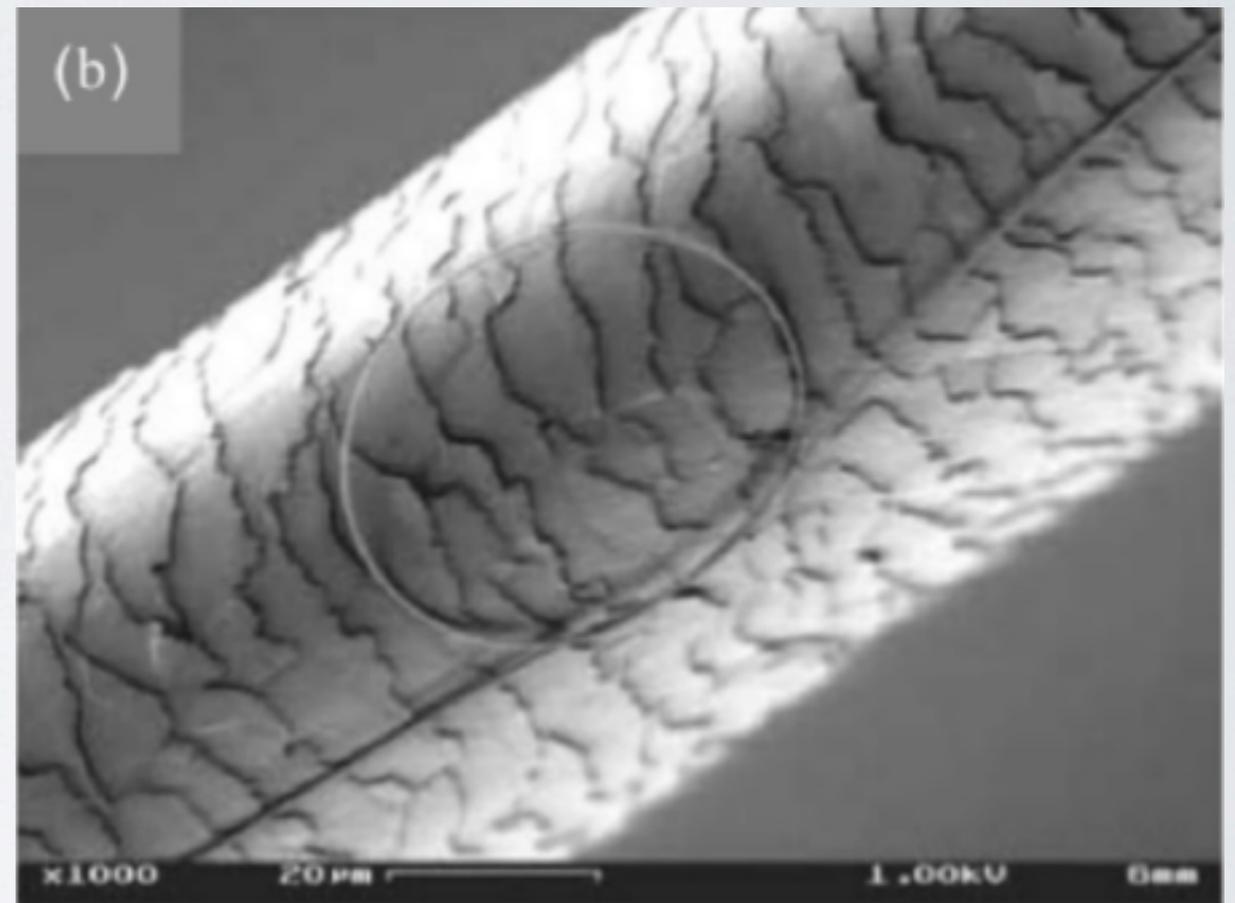
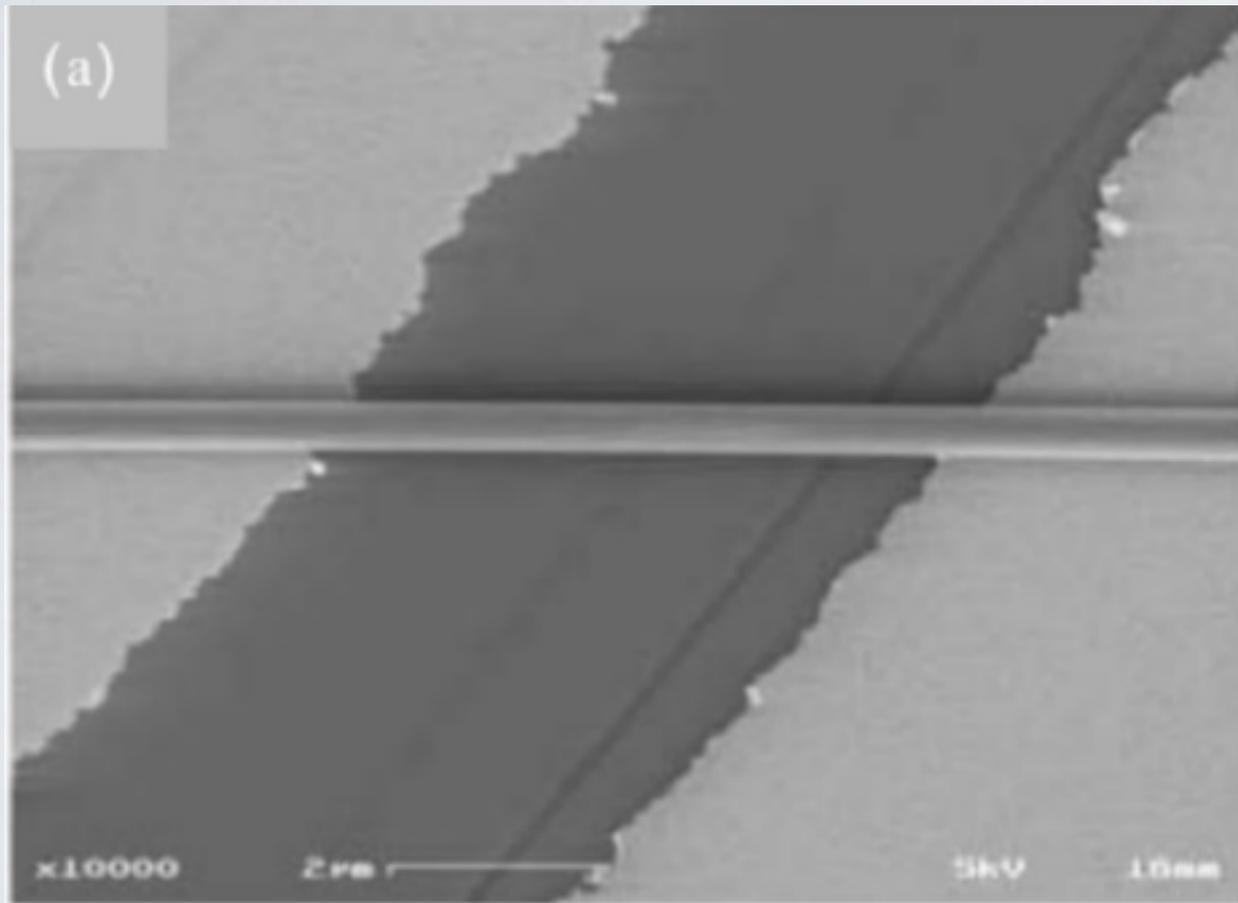
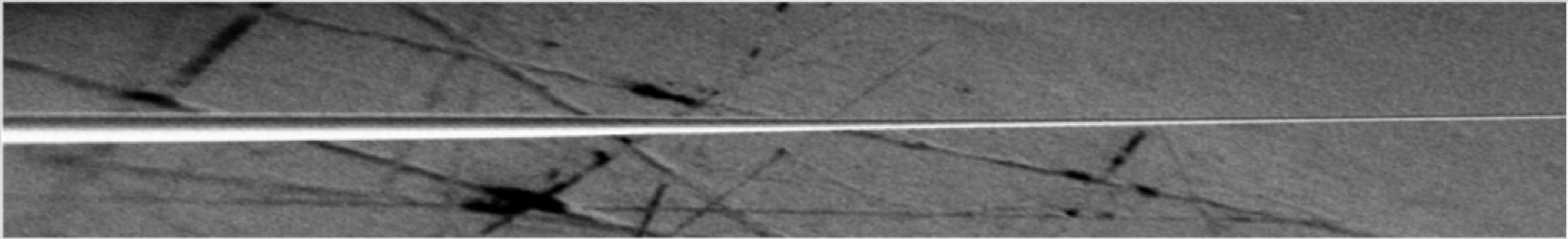
La fibra óptica sublongitud de onda es una fibra óptica estándar estirada y su diámetro es más pequeño que la longitud de onda del haz de luz a propagar.

Fibra óptica sublongitud de onda

La fibra óptica sublongitud de onda es una fibra óptica estándar estirada y su diámetro es más pequeño que la longitud de onda del haz de luz a propagar.

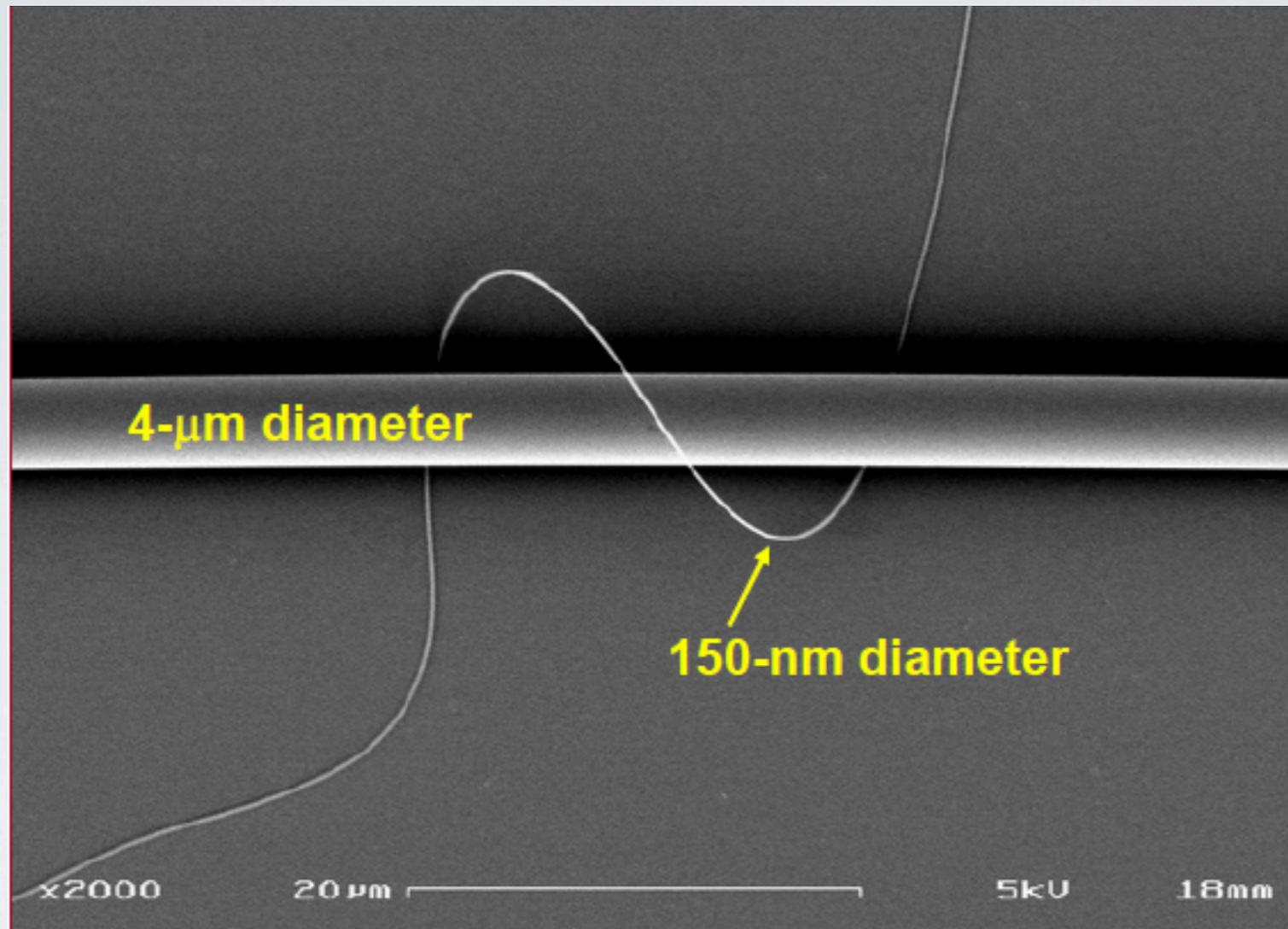
Comparada con una fibra óptica estándar, con las fibras sublongitud de onda es posible guiar la luz con propiedades interesantes, tales como: fuerte confinamiento óptico, una alta cantidad de ondas evanescentes, dispersión de guía de onda manejable y bajas pérdidas aún cuando la fibra no sea totalmente recta.

Con base en lo anterior, las fibras ópticas sublongitud de onda tienen un gran potencial para una variedad de aplicaciones en dispositivos fotónicos, tales como circuitos y componentes ópticos, sensores ópticos con alta sensibilidad, etc..



(a) Fibra sublongitud de onda de silicio con 450 nm de diámetro sobre una oblea de silicio

(b) Fibra sublongitud de onda de silicio con 500 nm de diámetro anudado, colocado sobre un cabello humano.



Las ventajas de las fibras de sublongitud de onda son:

- Resistencia mecánica
- Flexibilidad
- Uniformidad
- Variedad de aplicaciones

Las ventajas de las fibras de sublongitud de onda son:

- Resistencia mecánica
- Flexibilidad
- Uniformidad
- Variedad de aplicaciones

La motivación son las potenciales aplicaciones:

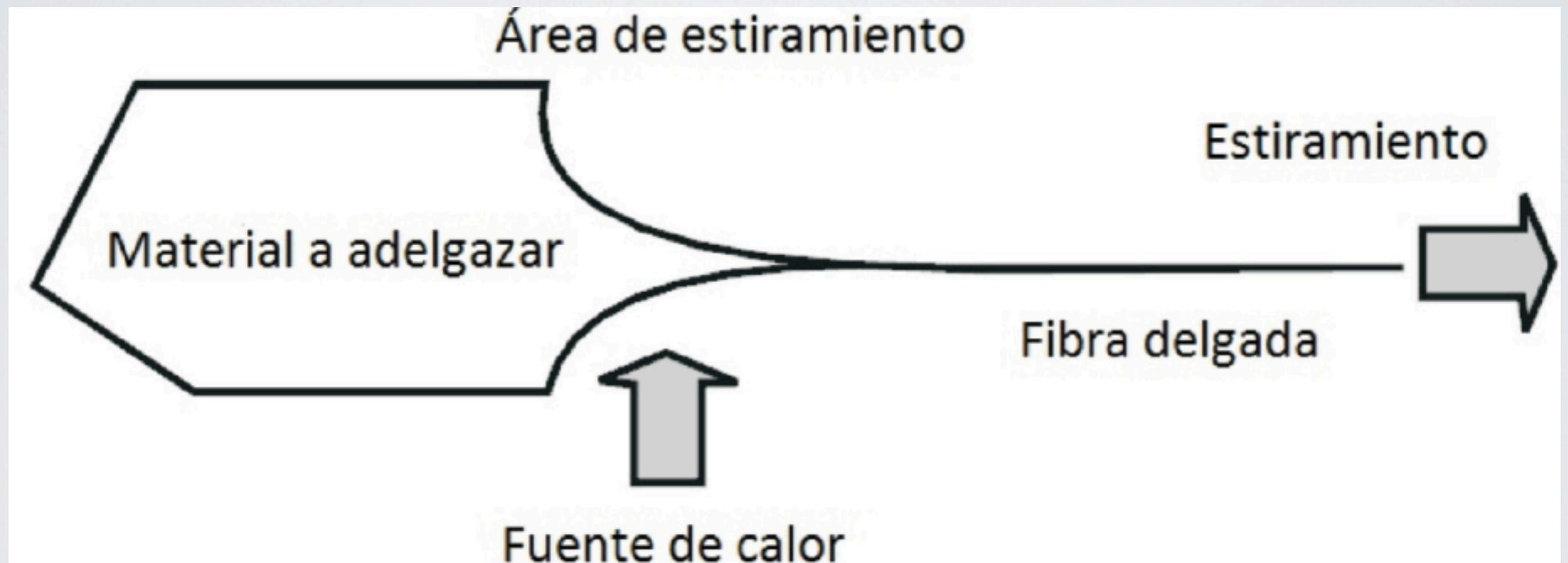
- ✓ Comunicaciones ópticas
- ✓ Sensado óptico
- ✓ Computación cuántica

...

FABRICACIÓN

Técnicas de fabricación

Las técnicas de adelgazamiento de una SDOF reduce grandes volúmenes de material en hilos muy delgados:



Las técnicas de fabricación de fibras de sublongitud de onda:

- ✓ Técnica Flying Arrow
- ✓ Técnica mediante láser CO₂
- ✓ Técnica Flame Brushing
- ✓ Técnica mediante punta de Zafiro

Técnica Flying arrow

La técnica consiste en fijar una paja en la parte media de una cuerda de arco, se derriten minerales y se suelta la paja. (1887)



Dimensiones:

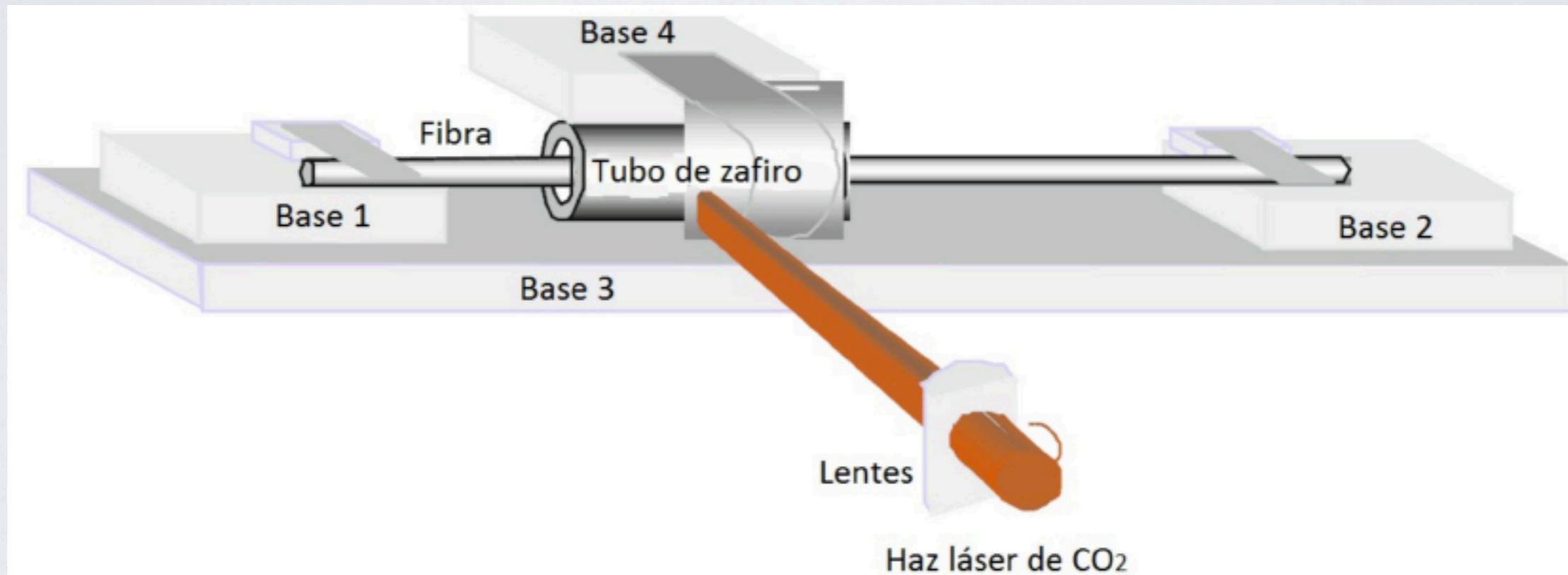
$$D \sim \mu$$

Aplicaciones:

Resorte para galvanómetros

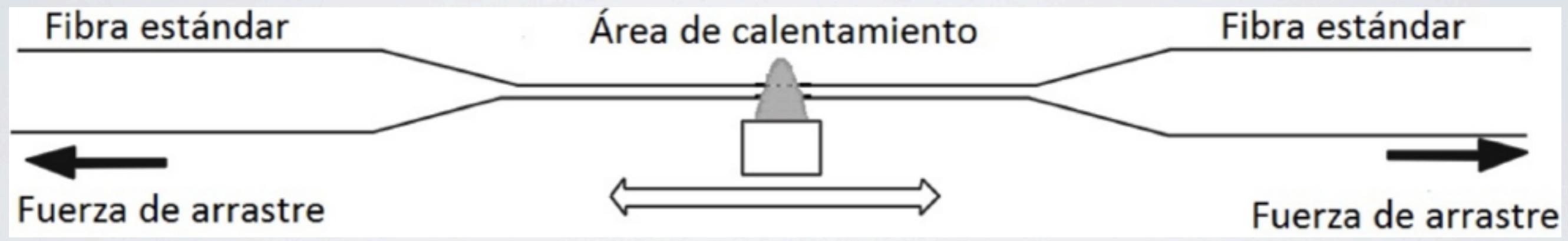
Técnica mediante láser CO_2

Una fibra se inserta dentro de un tubo de Zafiro, y es calentado por una haz de láser de CO_2 , El tamaño del haz a lo largo del tubo es controlado por medio una lente de enfoque.



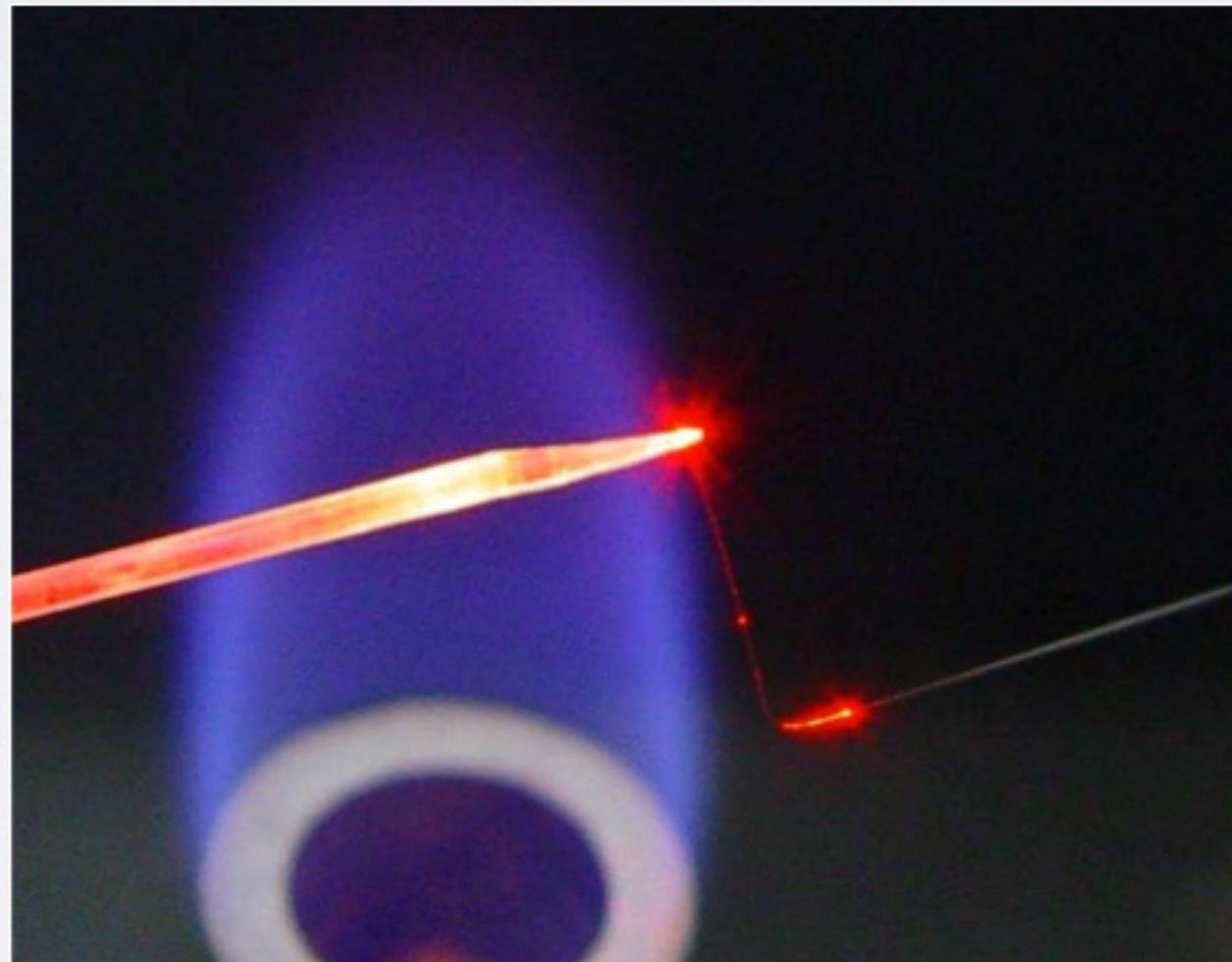
Técnica flame brushing

Se utilizan fibras de vidrio estándar como preforma. La fuente de calor es una flama, la fibra es alargada en la parte central.



Técnica mediante punta de safiro

La técnica consiste de dos etapas, en la primera se hace un estiramiento y en la segunda etapa, una punta de safiro es calentada y la fibra es estirada en dirección perpendicular a la barra de safiro.



F. P. Payne et al., *SPIE* 1504, 165 (1991)
J. Bures et al., *J. Opt. Soc. Am. A* 16, 1992 (1999)
L. Tong et al., *Nature* 426, 816 (2003) 30
...

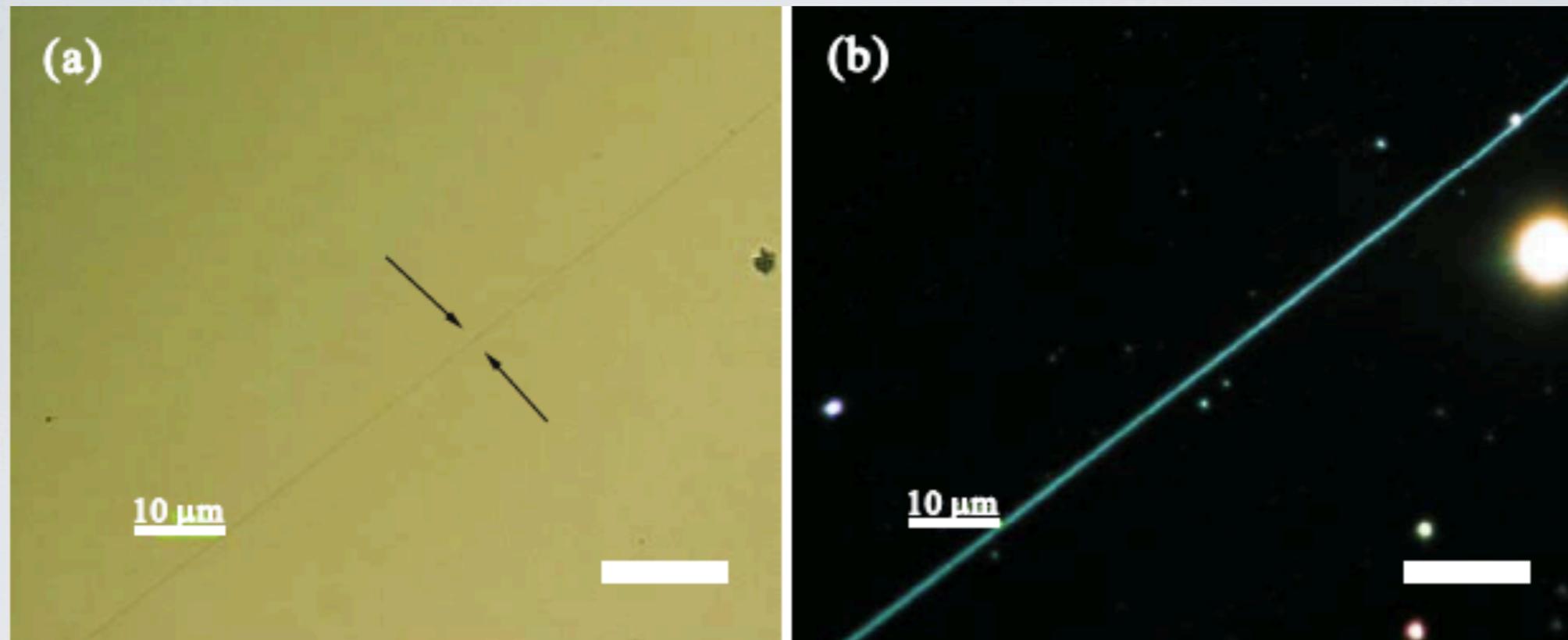
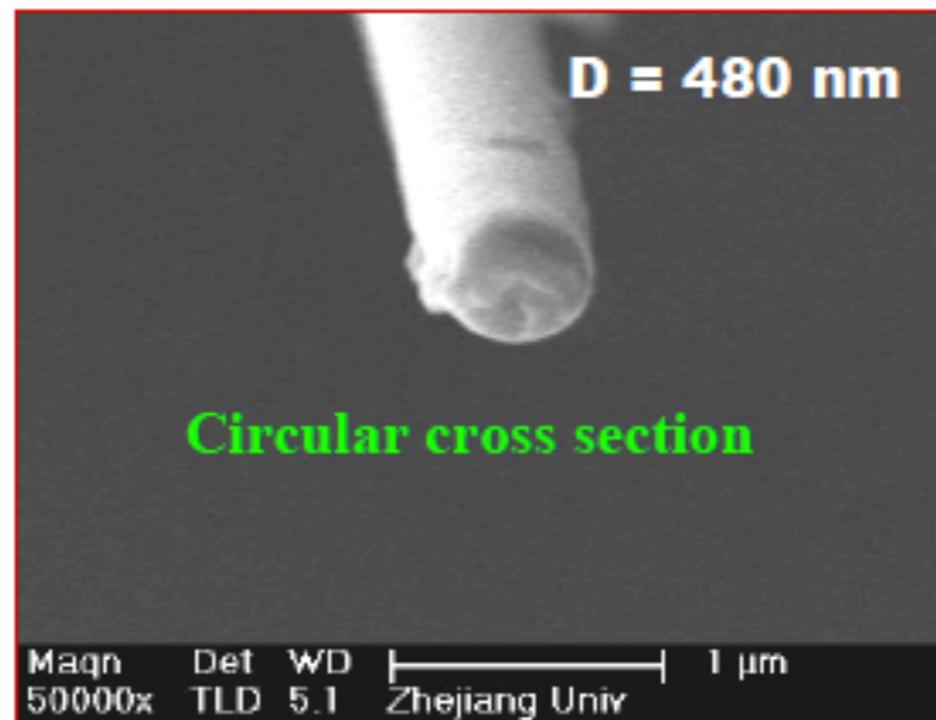
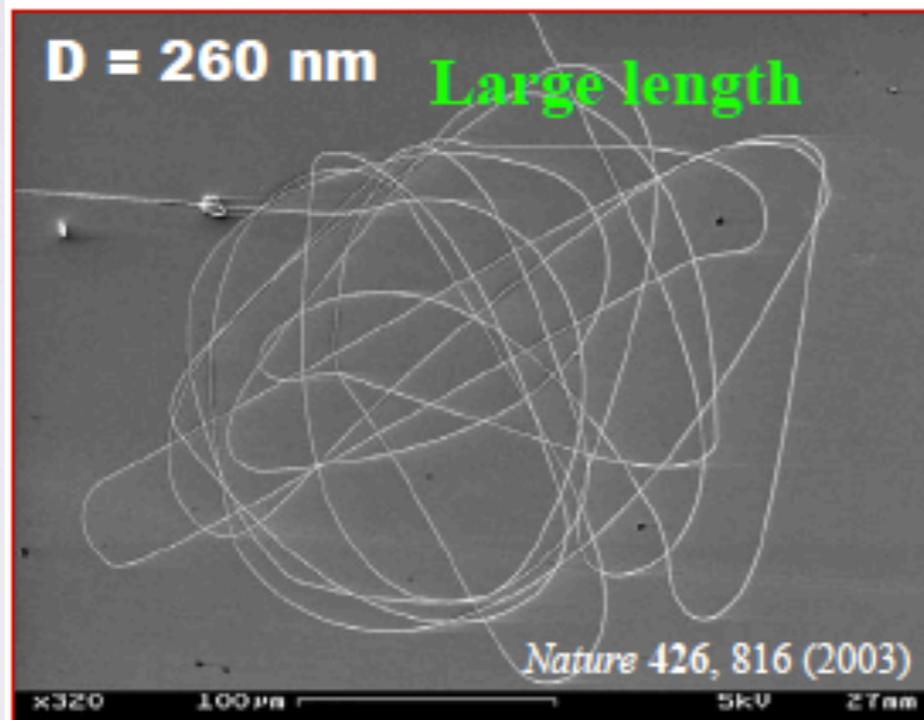
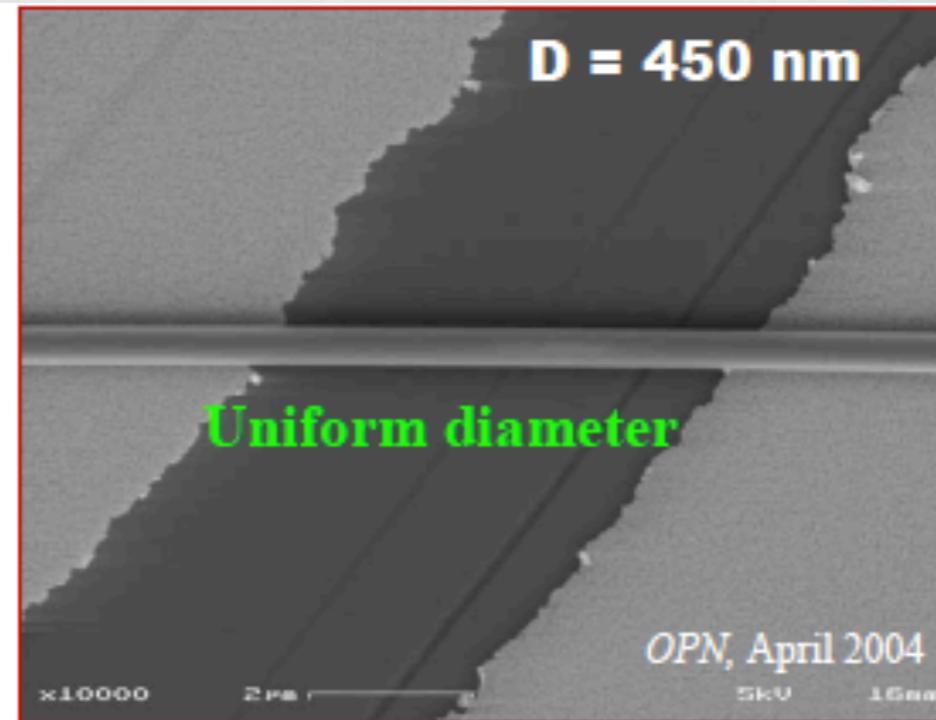
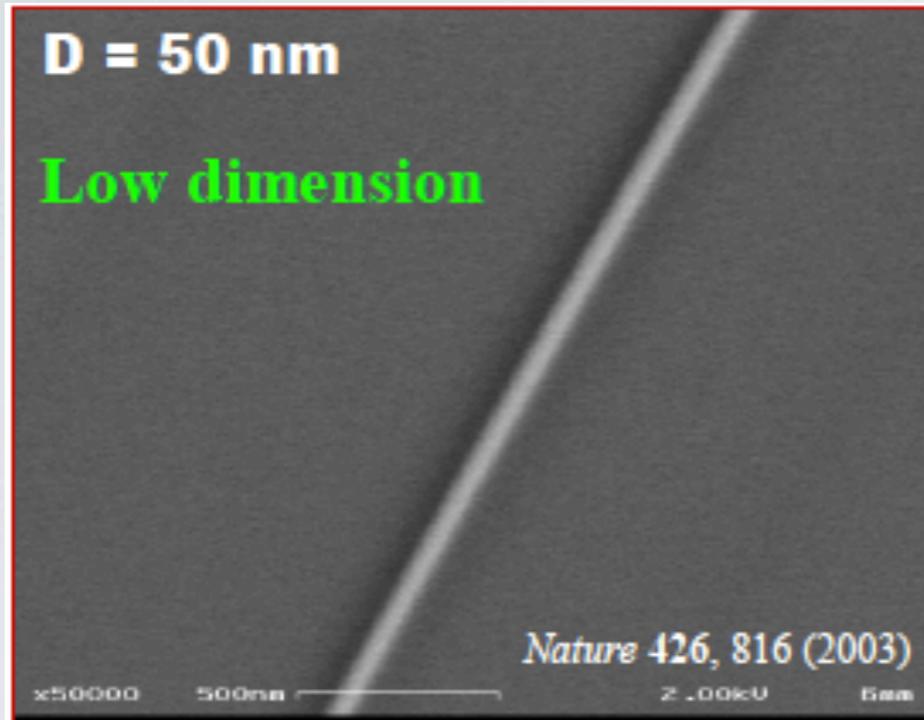
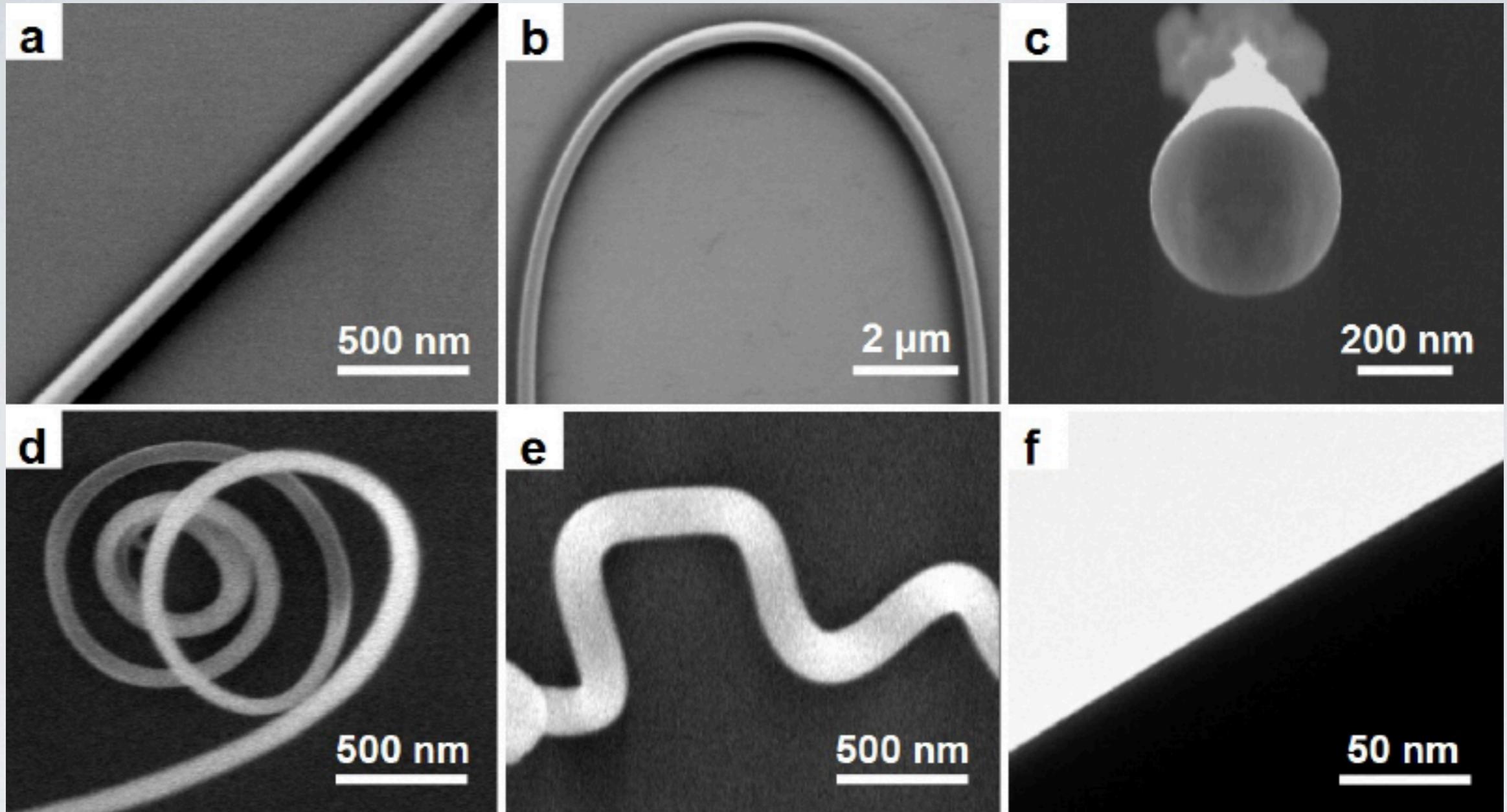


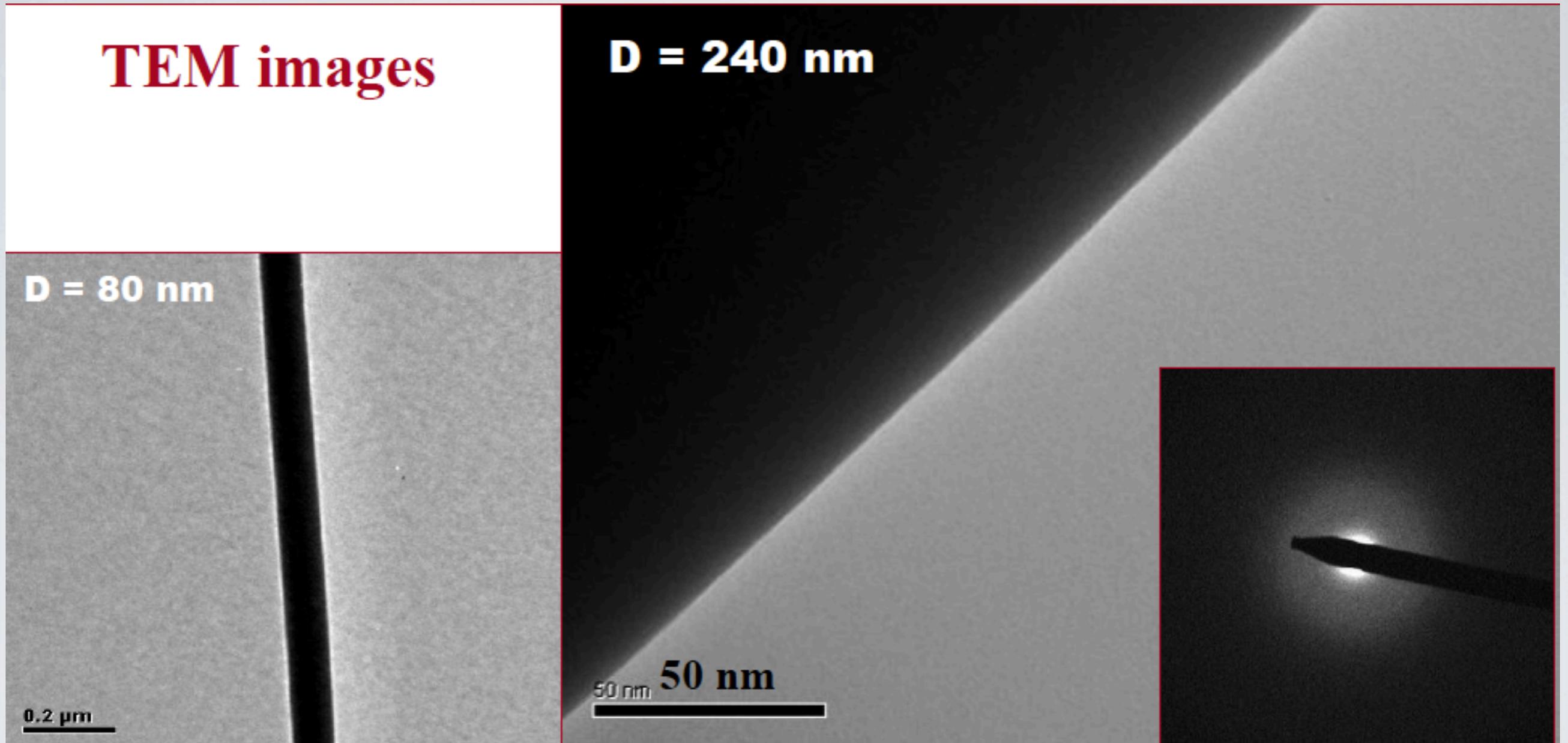
Imagen de microscopio óptico de una fibra de silicio de 60 *nm* de diámetro. El microscopio usado es un Nikon ME600 con un objetivo de microscopio 20X





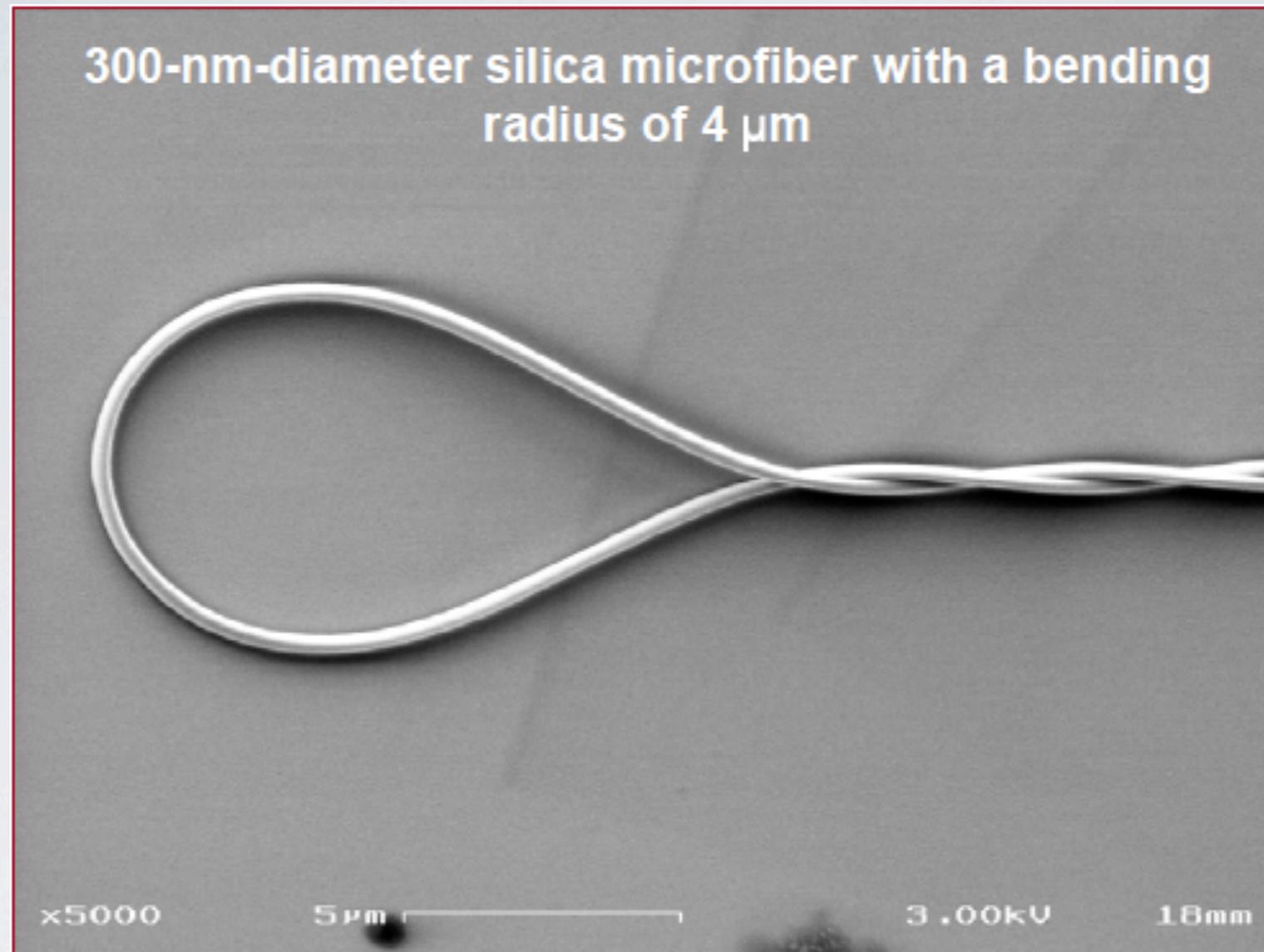
Otros materiales: a, e: Telurito; b: Silicato; c, d, f: Fosfato

Superficie muy suave con paredes rugosas menores a 0.3 nm .



Excelente para guiado de ondas con muy bajas pérdidas!

Mecánicamente robustos y flexibles

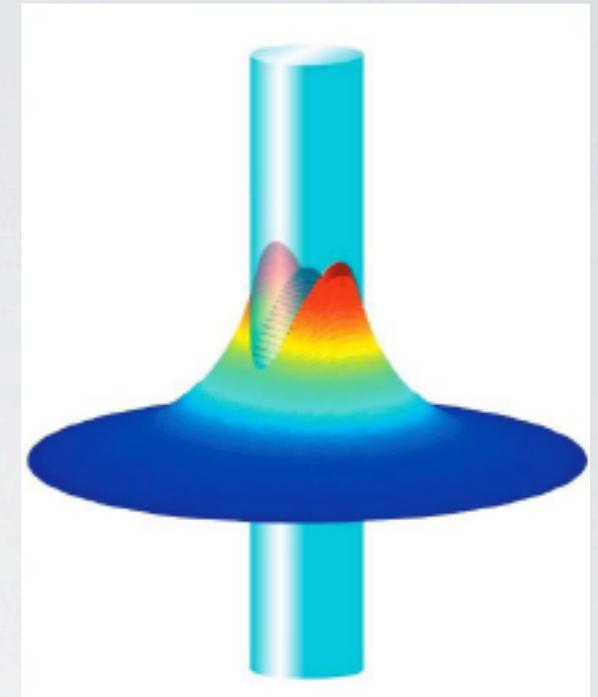


Parámetro crítico para aplicaciones prácticas!

Diámetro del núcleo < Longitud de onda

Alta fracción de campos evanescentes

Alta sensibilidad en sensado óptico
y
Guía de ondas



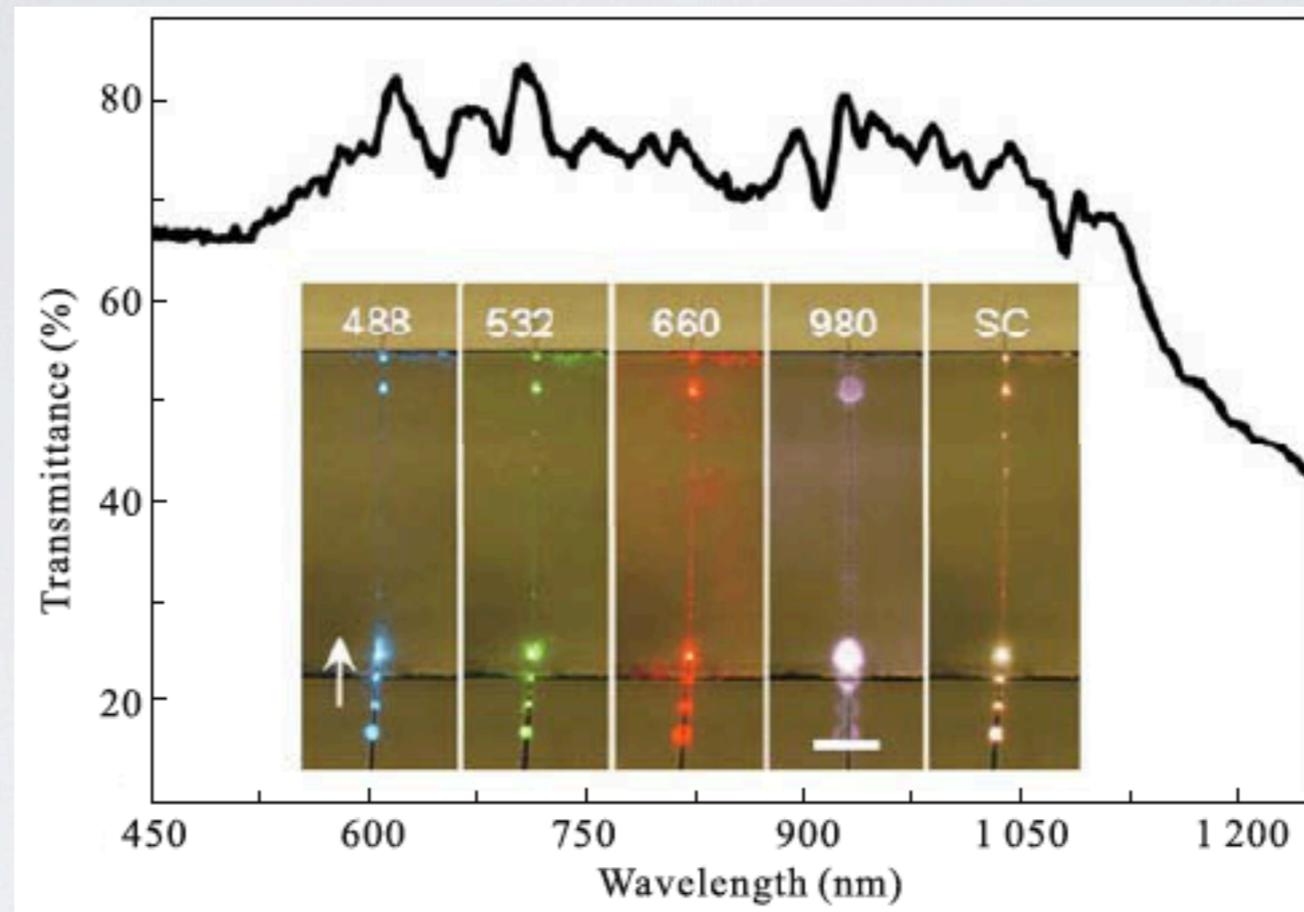
Área modal pequeña

Haz más delgado
y
Alta no linealidad efectiva

Alta sensibilidad en sensado óptico
y
Bajo umbral en efectos no lineales ópticos

COMPONENTES ÓPTICOS

La **guía de onda** lineal es una de los componentes más sencillos para dispositivos y circuitos ópticos.



Fibra óptica de poliuretano con un diámetro de 300nm.

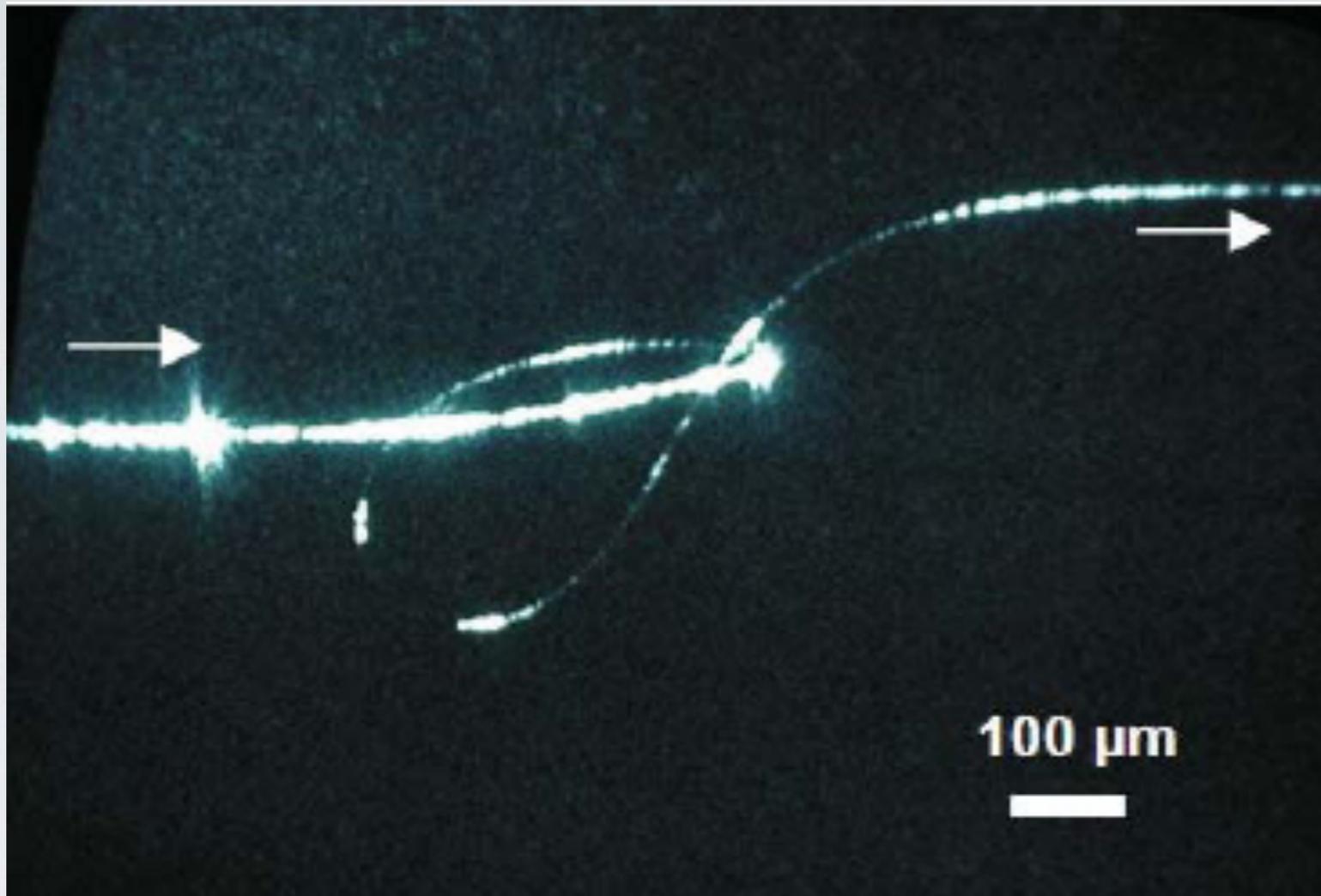
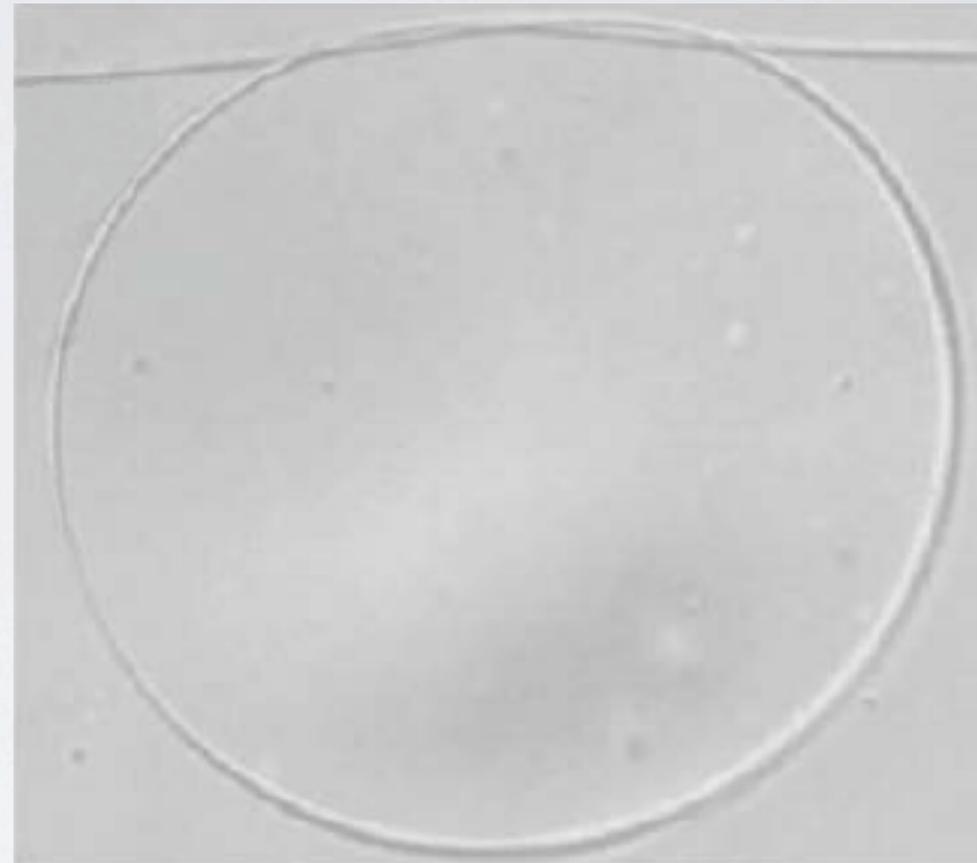
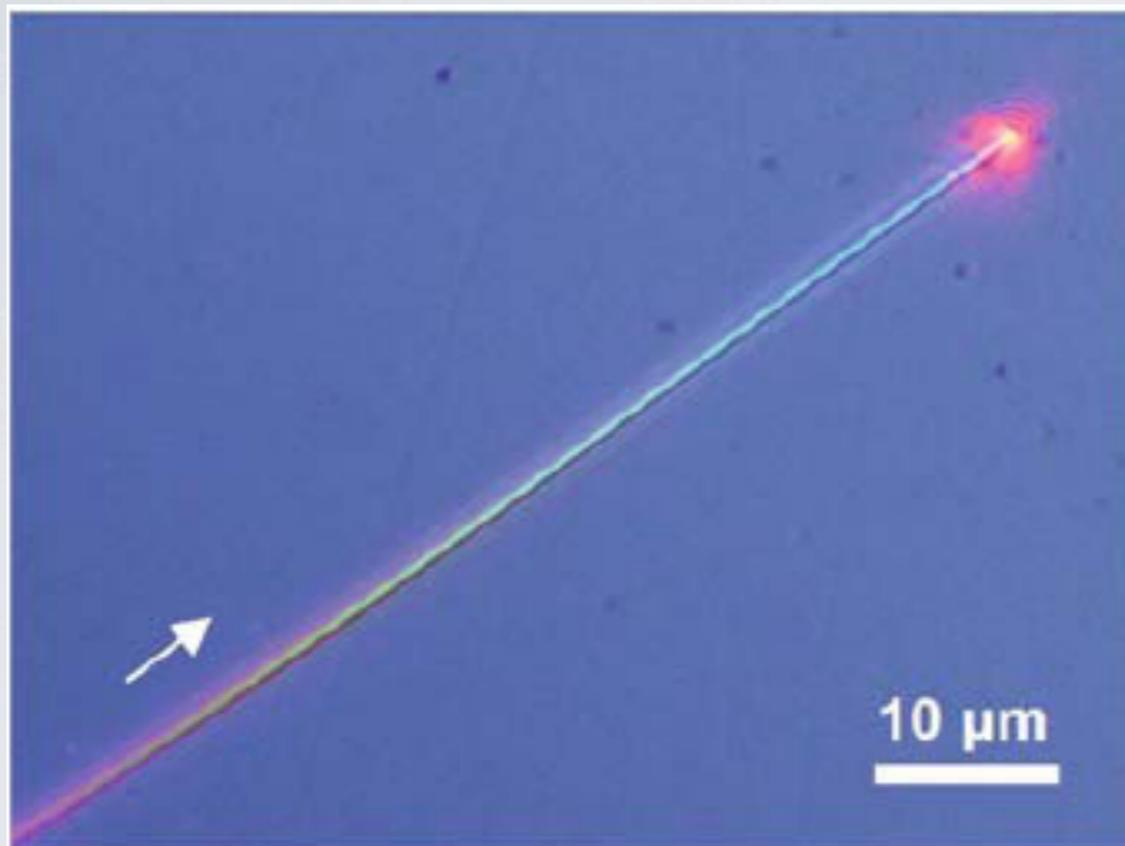
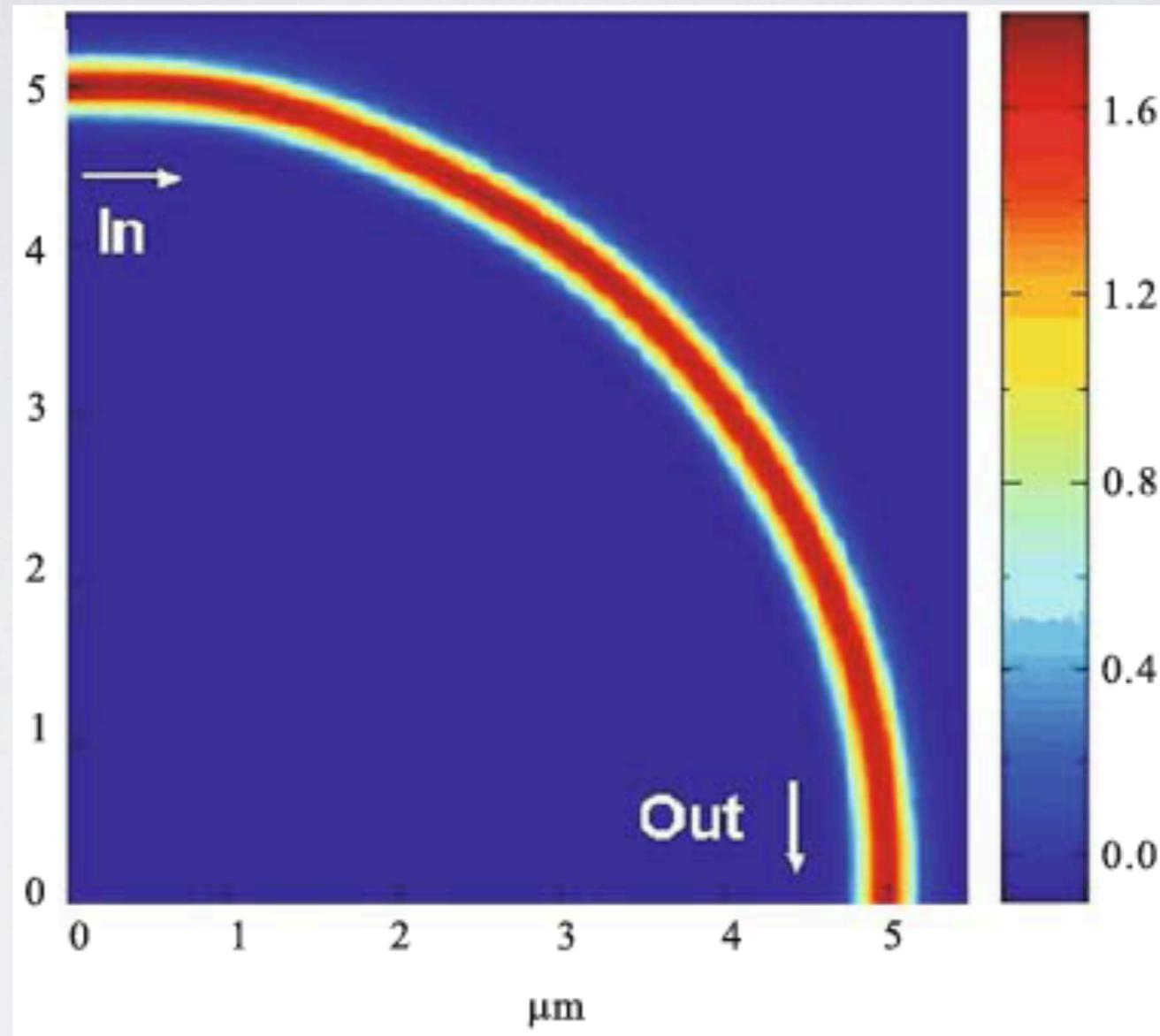


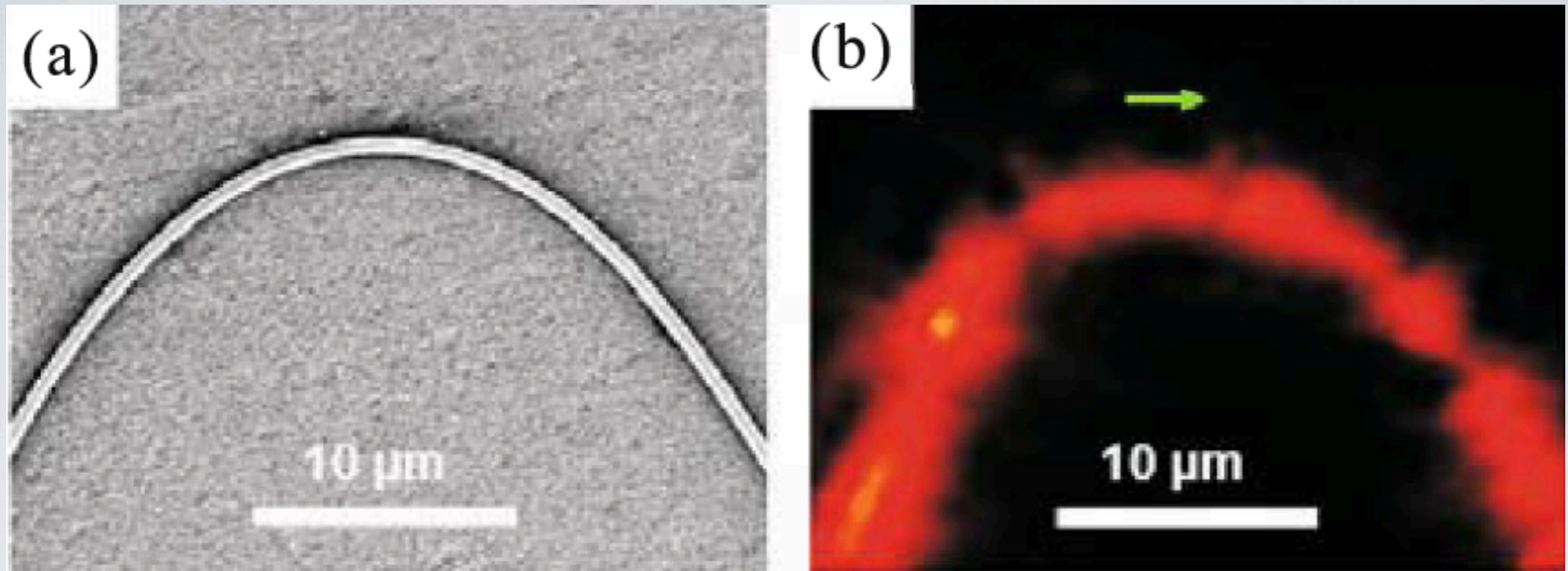
Imagen de microscopio óptico de una fibra de silicio de 570 nm de diámetro. La estructura con un radio de curvatura de $100 \mu\text{m}$

En estructuras sobre sustratos, el índice efectivo del sustrato debe ser menor mucho más pequeño que el de la fibra de sublongitud de onda



Cambiar la dirección de propagación de la luz es indispensable en muchos circuitos óptico, para lo que la luz guiada a través de una guía de onda curvada es un necesidad básica y general.





Fibra óptica de 530 nm de diámetro con un radio de curvatura de $8 \mu\text{m}$ sobre una oblea de zafiro. b) Propagación de luz a 630 nm .

Comparadas con las guías de onda curvadas de otro tipo de estructuras, las fibras ópticas de sublongitud de onda curvadas ofrecen la ventaja de contar con un tamaño completamente compacto, con pérdidas de acoplamiento bajas, una estructura sencilla y fácil fabricación. También pueden usarse para propagar un amplio rango de longitudes de onda.



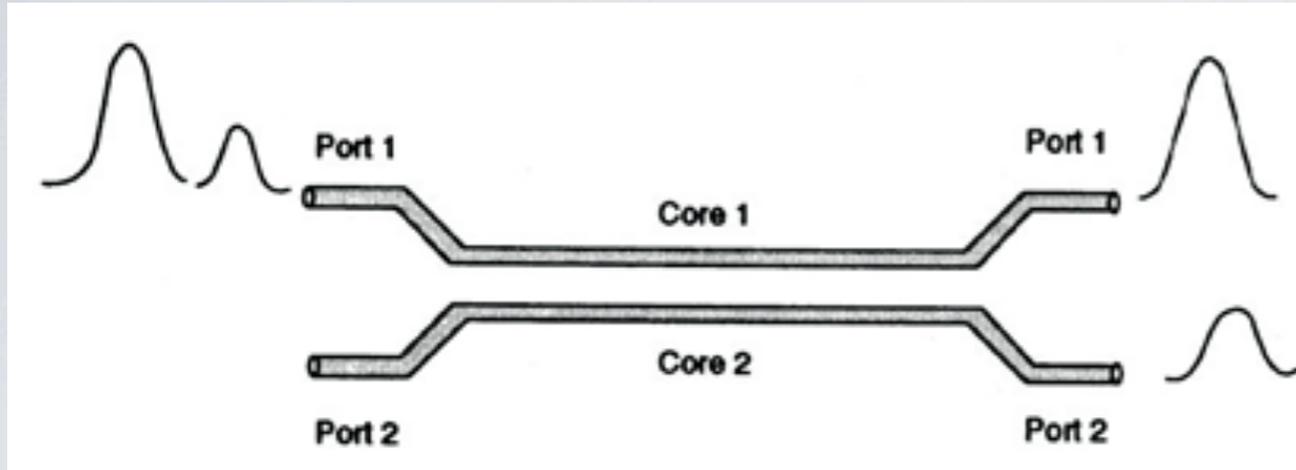
Fibra óptica con un diámetro de 500 nm propagando luz de 532 nm a través de un radio de curvatura de $1.5 \mu\text{m}$ de radio.

Componentes basados en el acoplamiento de ondas evanescentes: Acopladores ópticos e Interferómetros

L. Tong et al., *Opt. Express* 14, 82 (2006)

Y. H. Li et al., *Opt. Lett.* 33, 303 (2008)

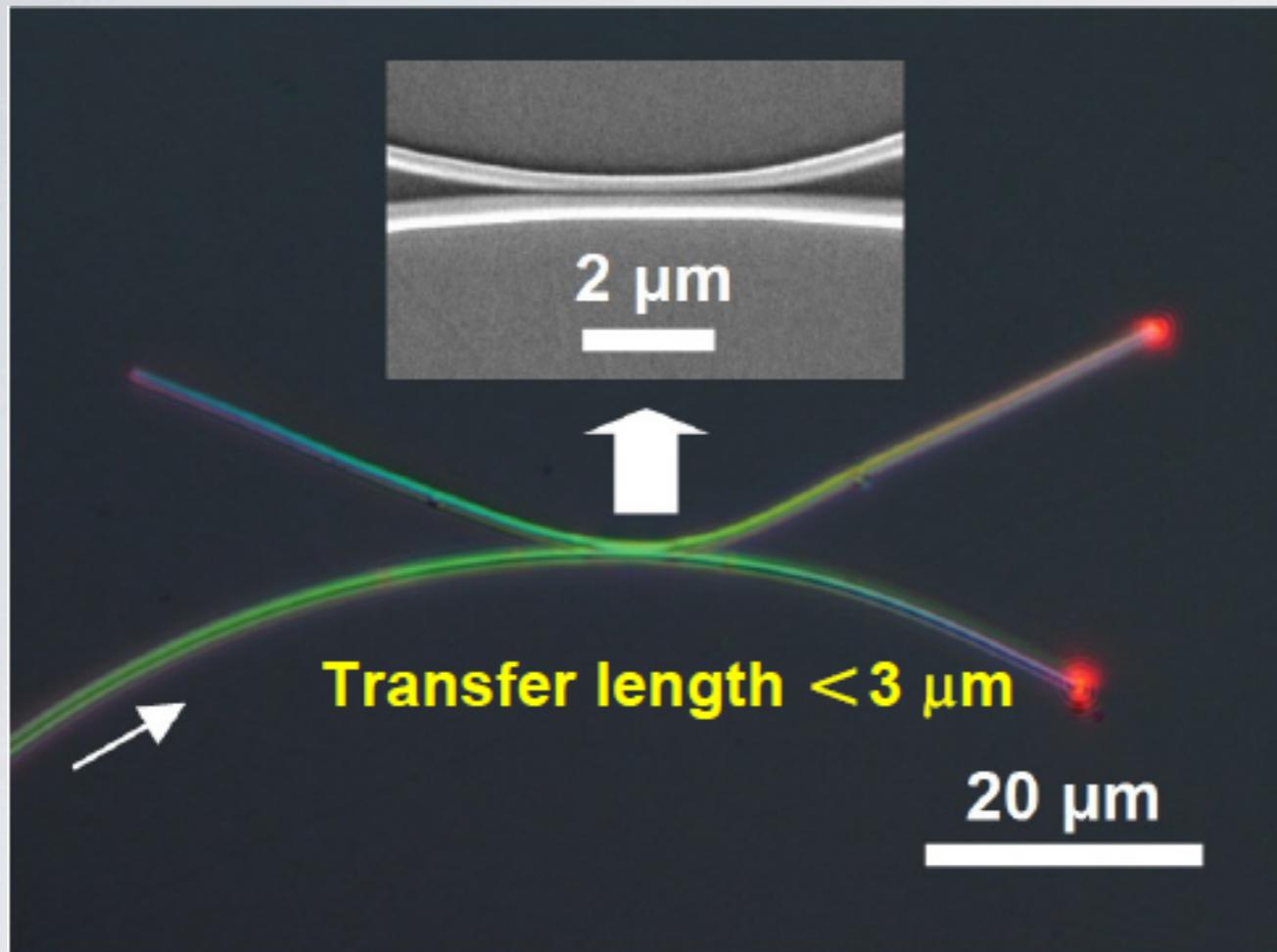
Componentes basados en el acoplamiento de ondas evanescentes: Acopladores ópticos e Interferómetros



L. Tong et al., *Opt. Express* 14, 82 (2006)

Y. H. Li et al., *Opt. Lett.* 33, 303 (2008)

Componentes basados en el acoplamiento de ondas evanescentes: Acopladores ópticos e Interferómetros



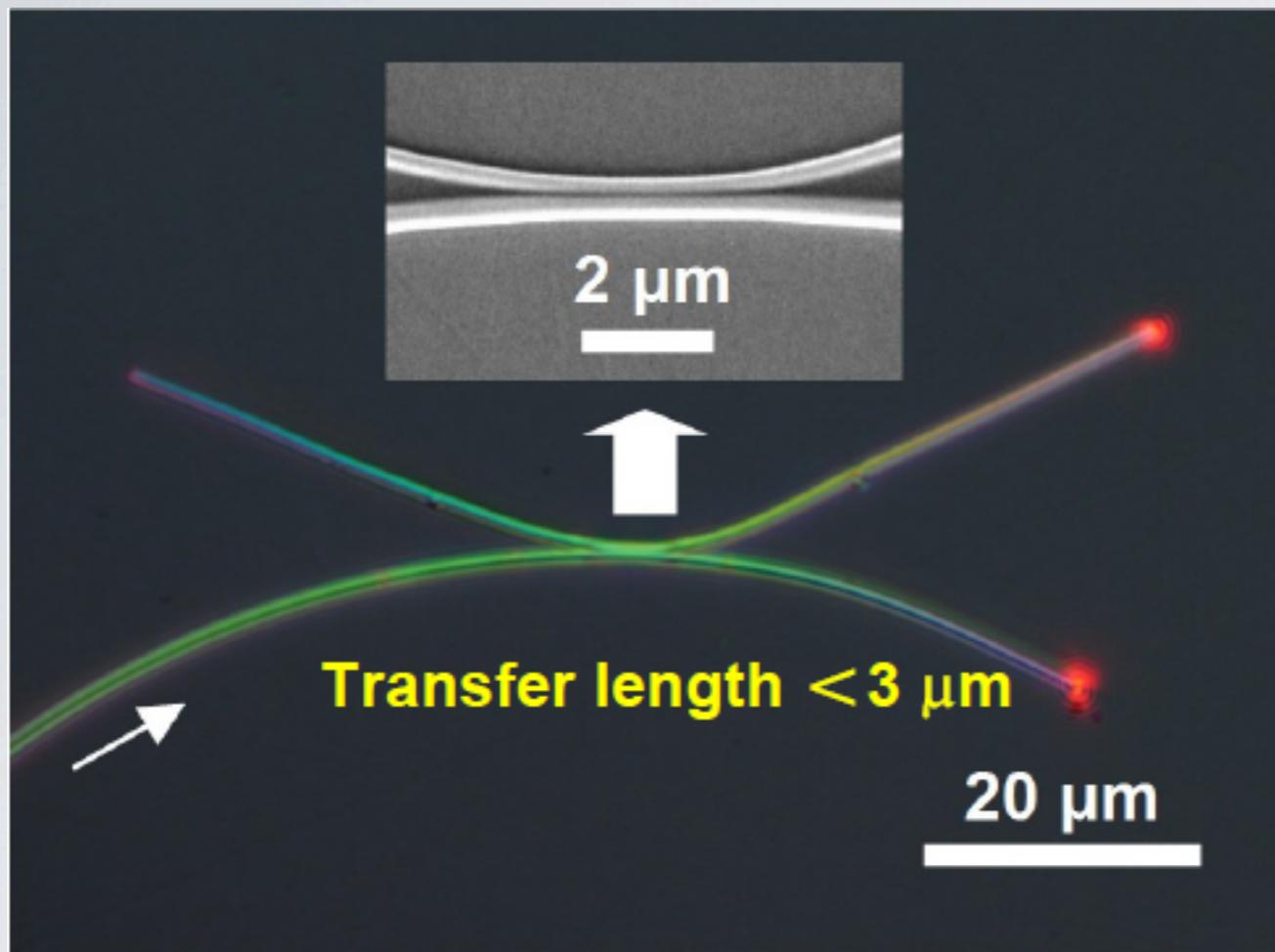
Diámetro de la fibra: 350/450 *nm*
Propagando luz a 633 *nm*

⇒ **Acoplador óptico 50/50**

L. Tong et al., *Opt. Express* 14, 82 (2006)

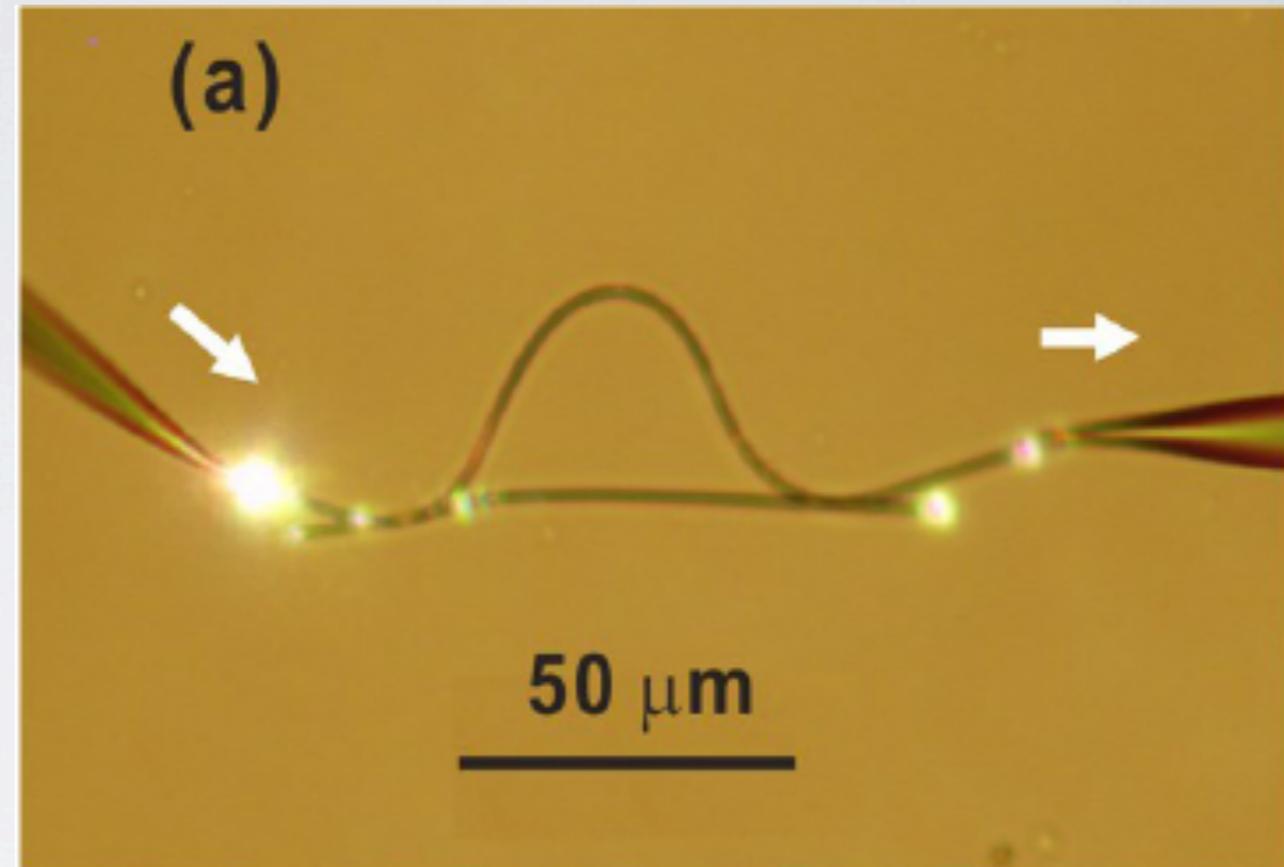
Y. H. Li et al., *Opt. Lett.* 33, 303 (2008)

Componentes basados en el acoplamiento de ondas evanescentes: Acopladores ópticos e Interferómetros



Diámetro de la fibra: 350/450 nm
Propagando luz a 633 nm

⇒ **Acoplador óptico 50/50**



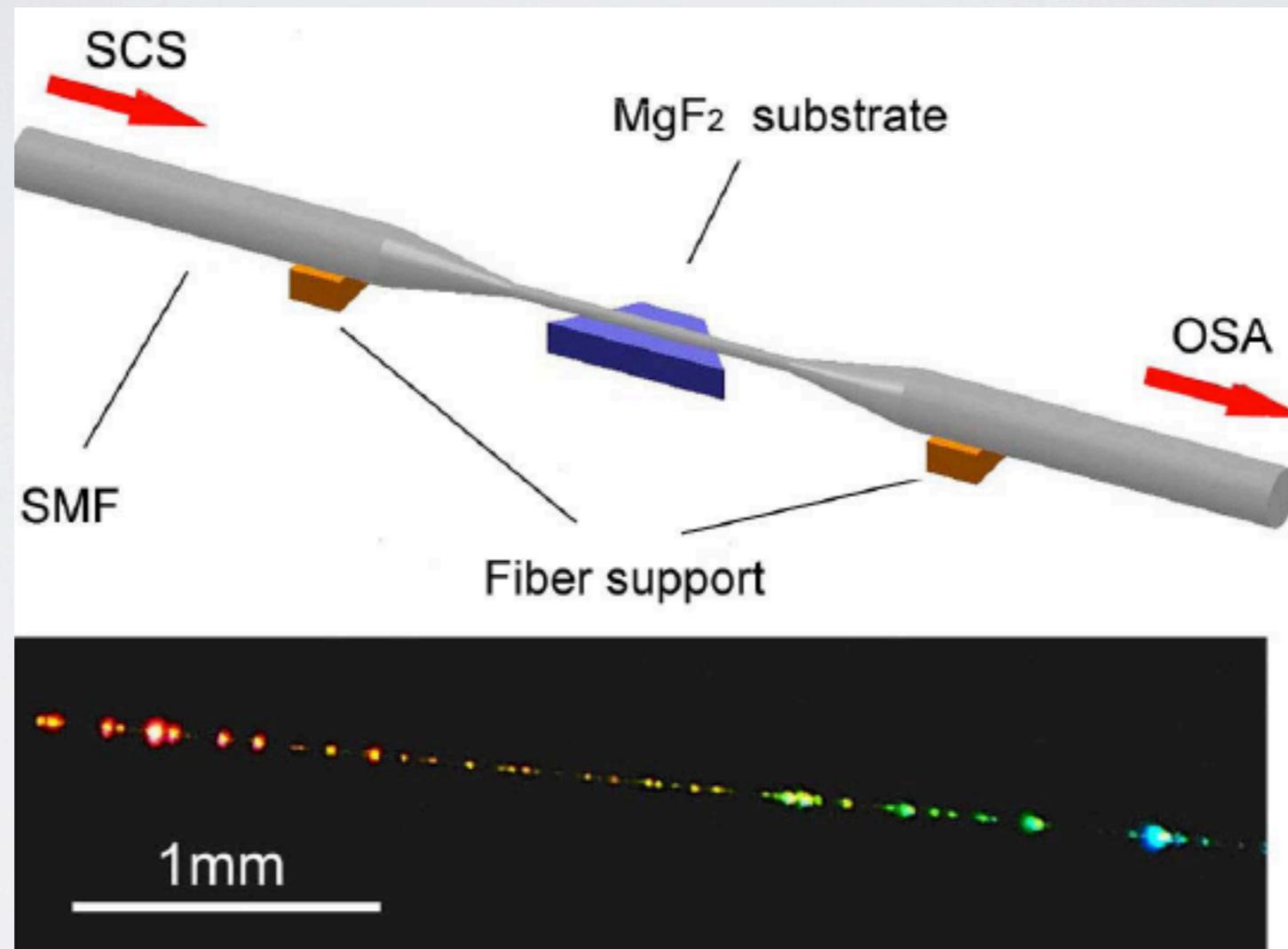
Interferómetro Mach-Zehnder

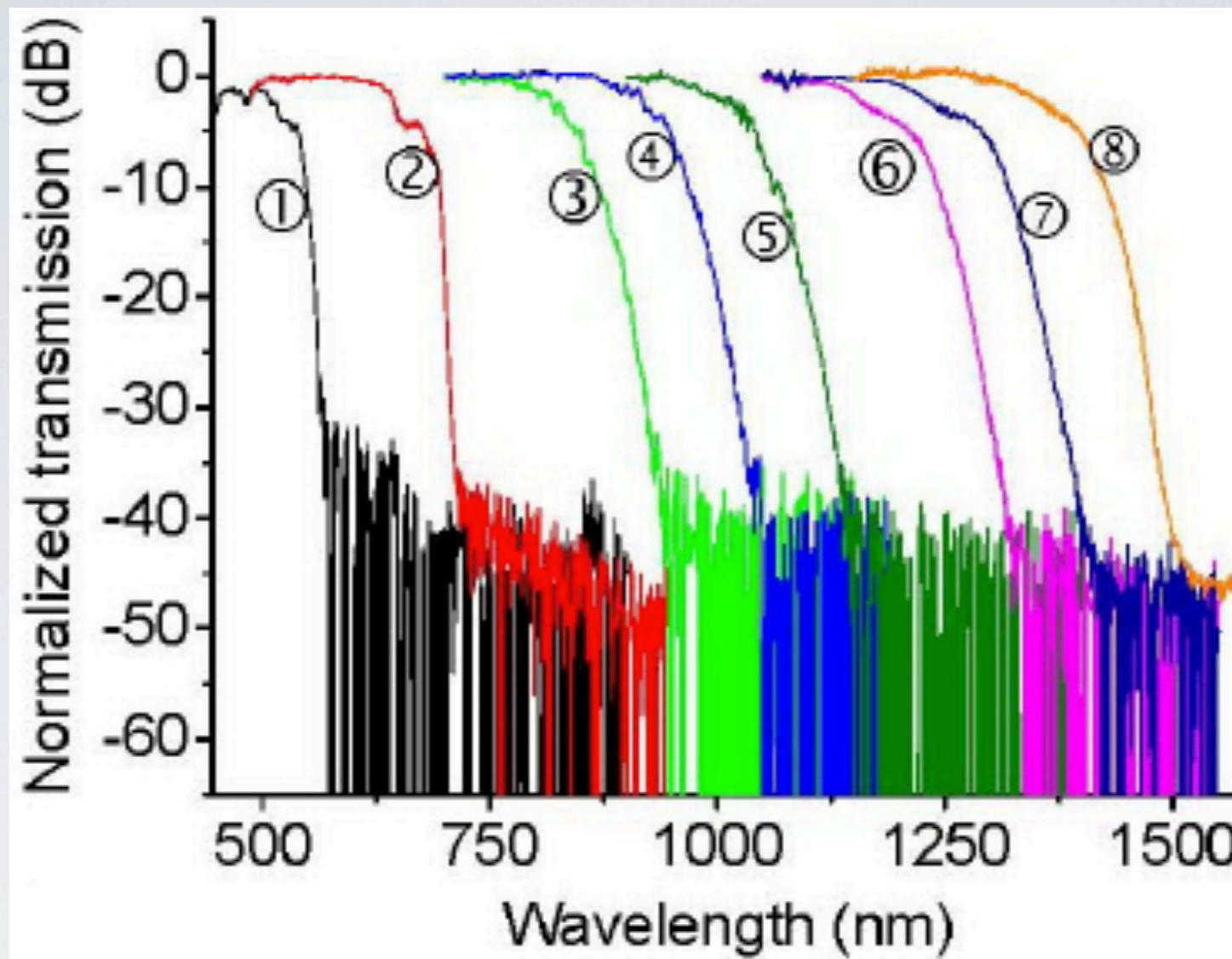
L. Tong et al., *Opt. Express* 14, 82 (2006)

Y. H. Li et al., *Opt. Lett.* 33, 303 (2008)

Los filtros pasa-bajas son uno de los componentes esenciales para sistemas fotónicos y redes.

Las fibras sublongitud de onda, con pequeñas dimensiones, pérdidas ópticas bajas y fuerte dependencia de la longitud de onda con la interacción evanescente, son promisorias para la construcción de bloques para filtros ópticos miniaturizados que sean compatibles con otros sistemas de fibra óptica.



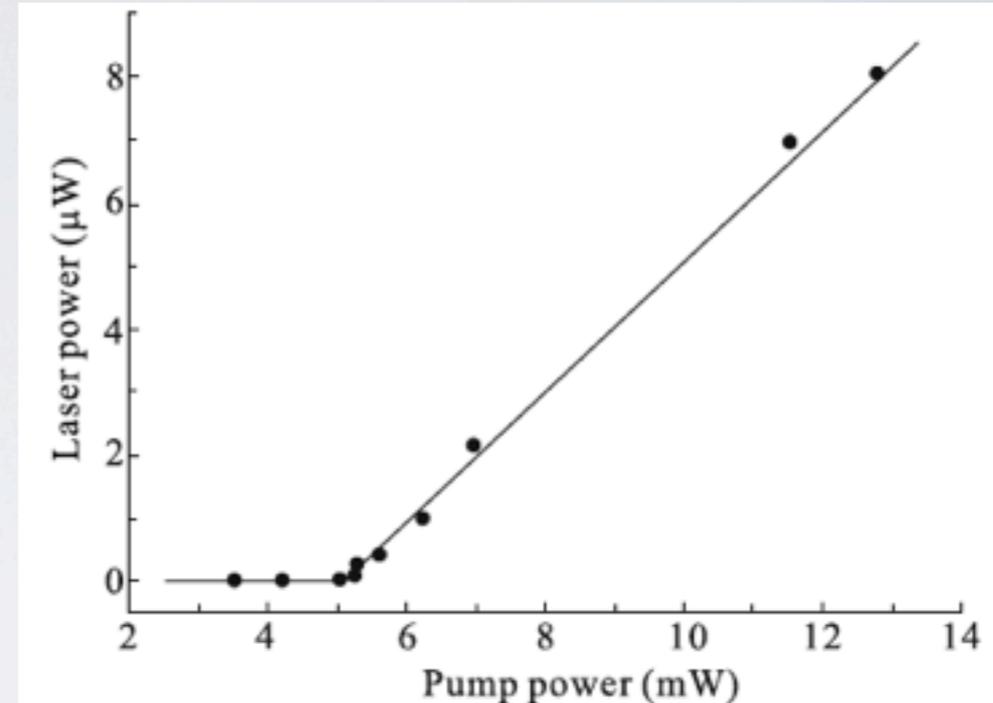
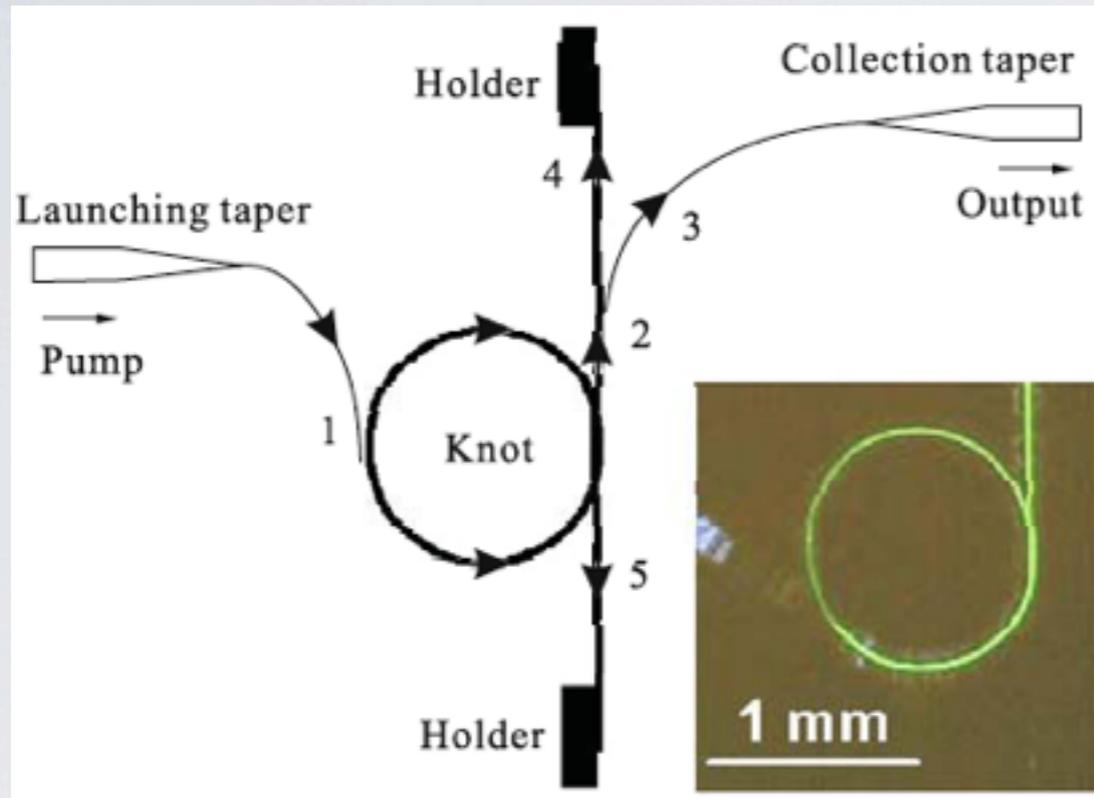


Espectro de transmisión con fibras de sublongitud de onda de: 1) 0.75; 2) 0.88; 3) 1.17; 4) 1.29; 5) 1.42; 6) 1.72; 7) 1.82; 8) 1.96 μm .

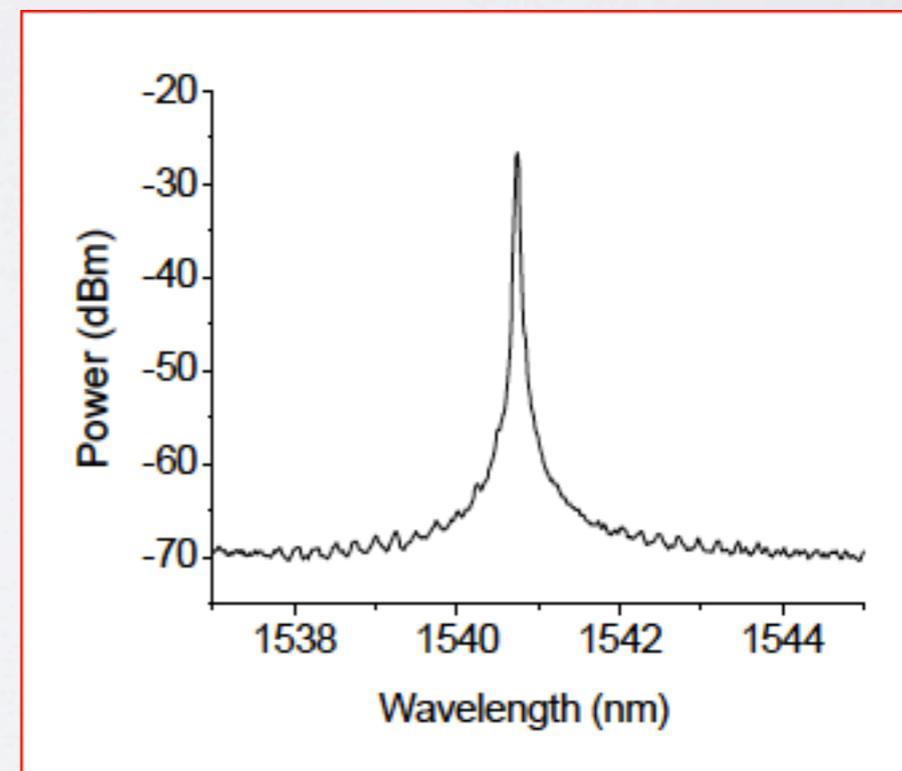
Comparado con otros tipos de filtros basados en estructura de fibra óptica, un filtro basado en fibras de sublongitud de onda es muy compacto y de estructura sencilla, con propiedades tales como: un amplio espectro de aplicaciones, alto rechazo de pérdidas y compatibilidad con dispositivos de fibra óptica miniaturizados. Estos pueden encontrar aplicaciones en circuitos fotónicos o dispositivos muy compactos.

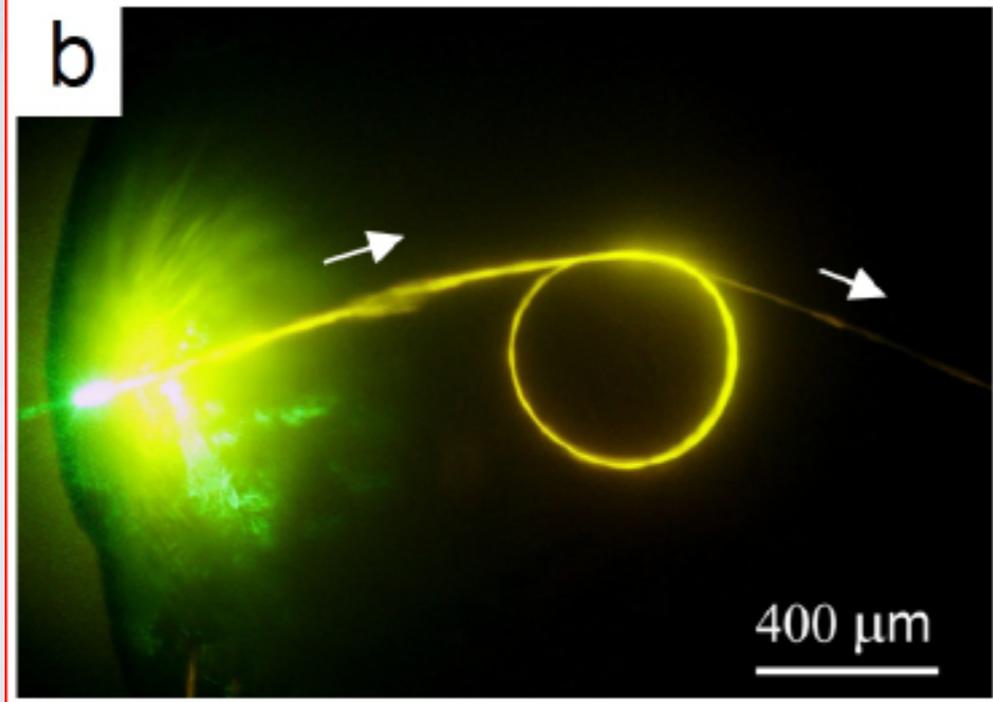
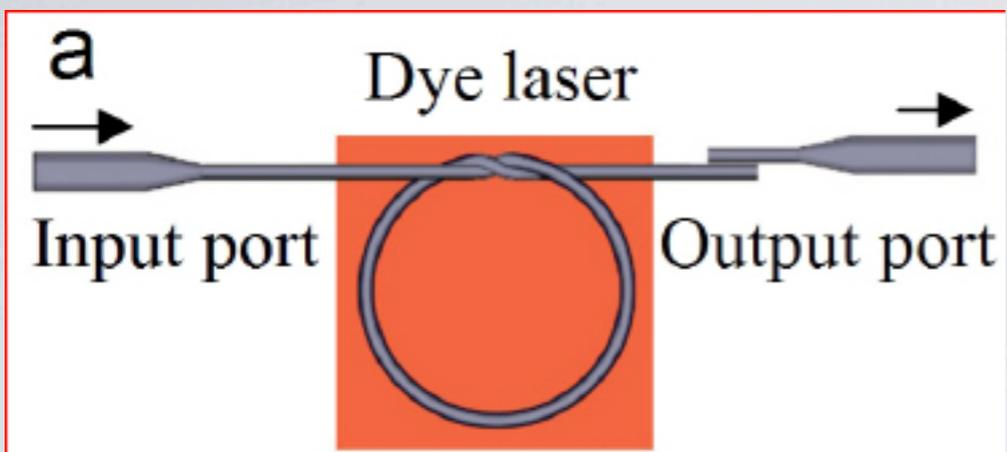
Láseres

Para construir un láser, típicamente se incorpora una fibra activa en un cavidad. El resonador tipo anillo/nudo de fibra sublongitud de onda, de tamaño pequeño y alto factor Q, proporciona una cavidad ideal para el laseo.

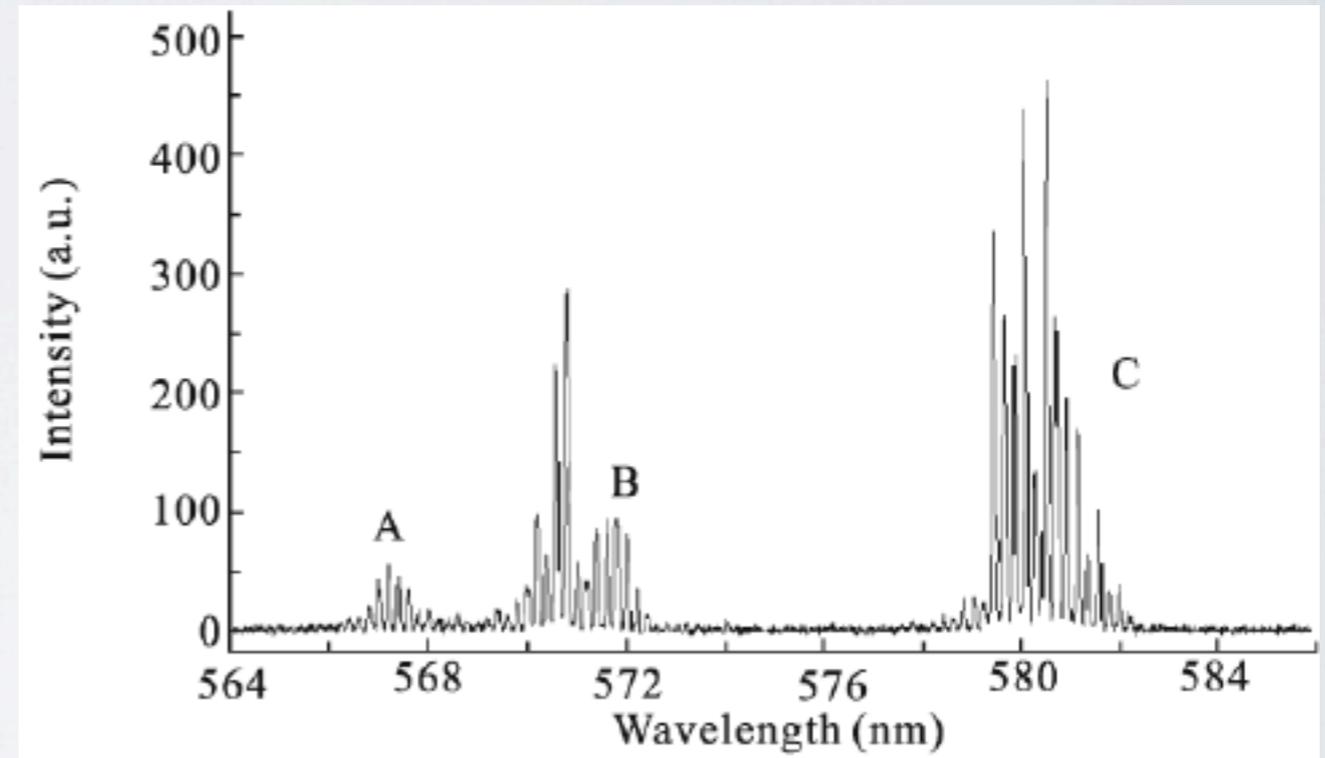
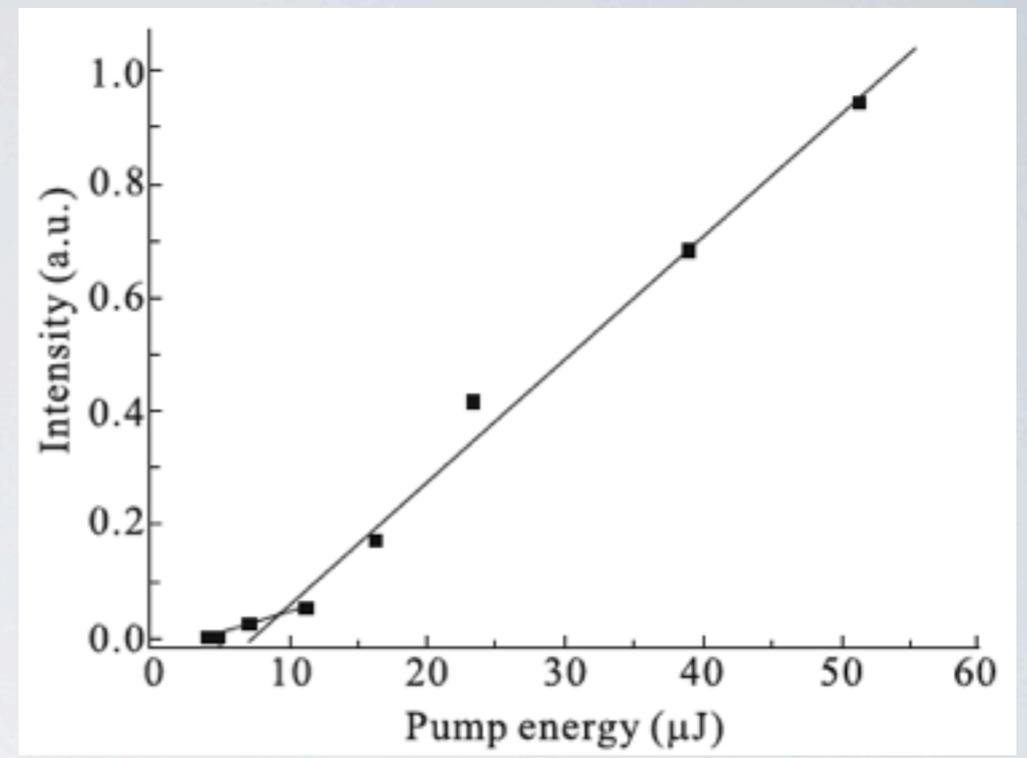


Dopante de la fibra óptica: (Er, Yb)
Diámetro de la fibra $3.8 \mu\text{m}$
Diámetro del nudo 2mm
Longitud de onda de bombeo 975nm





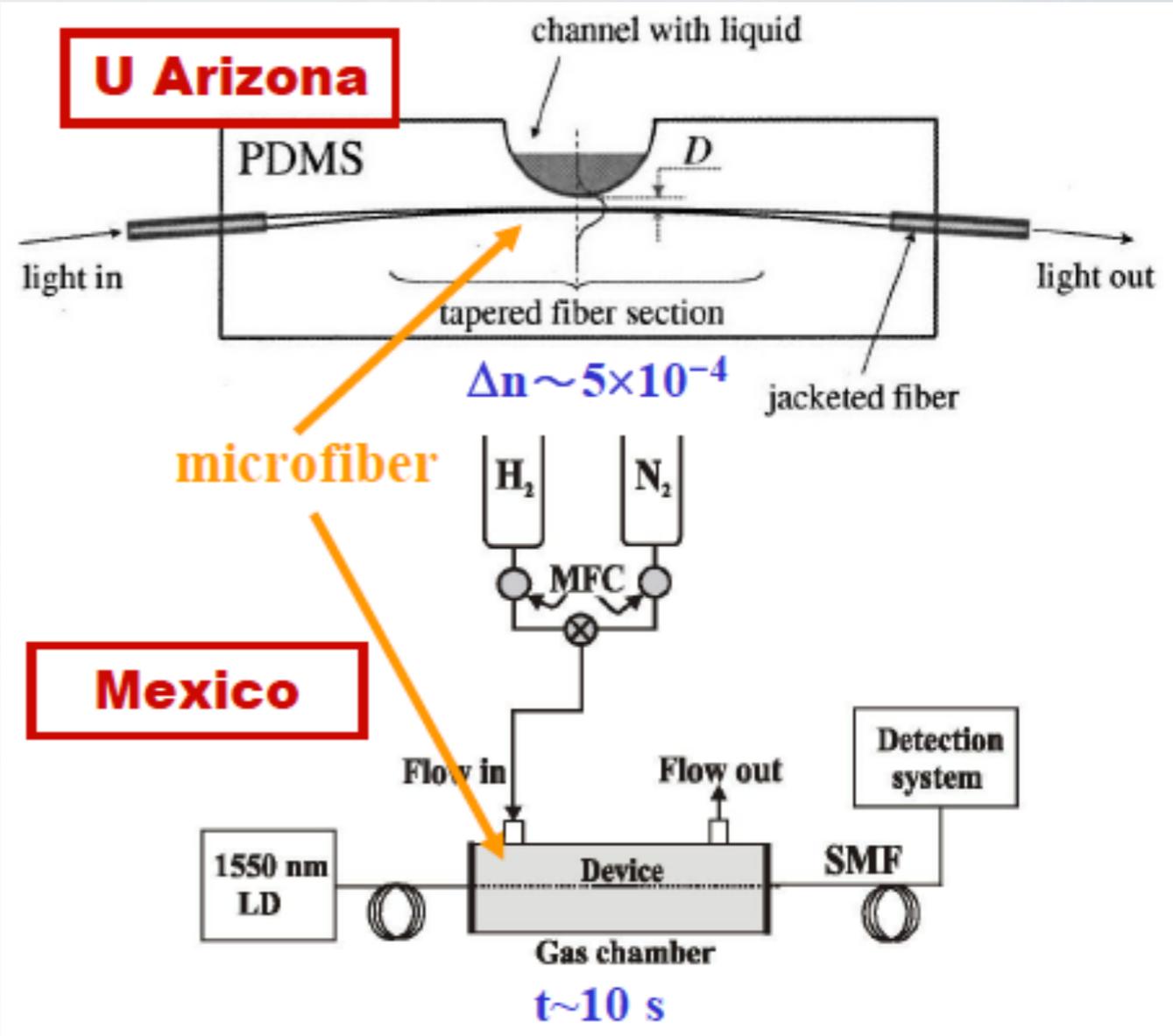
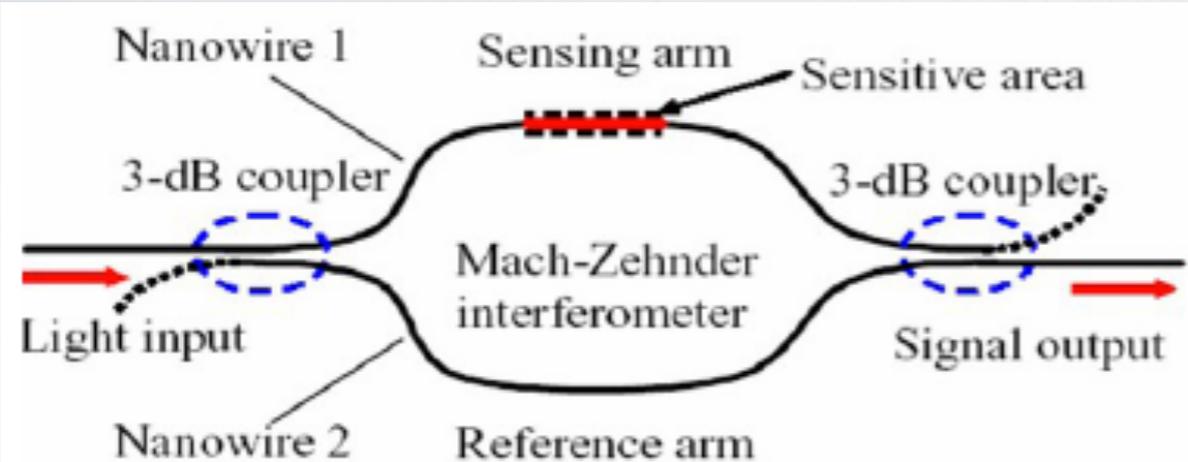
Solución de Rodamina: 5mM/l
 Longitud de onda de bombeo: 532 nm



SENSORES ÓPTICOS

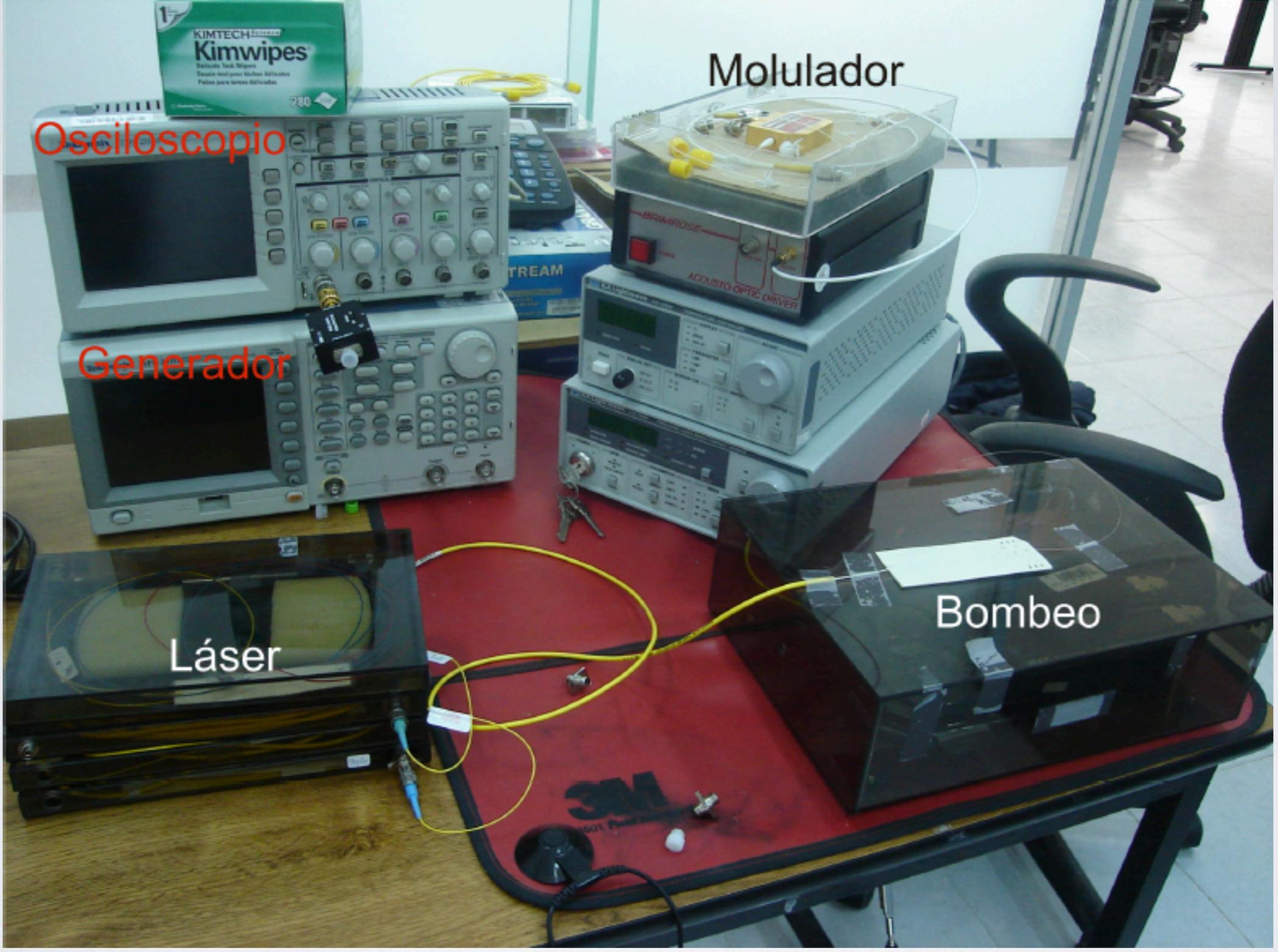
Como sensores, las fibras sublongitud de onda detectan cambios en el medio ambiente monitoreando cambios en la potencia de transmisión de la luz propagándose a través de ésta.

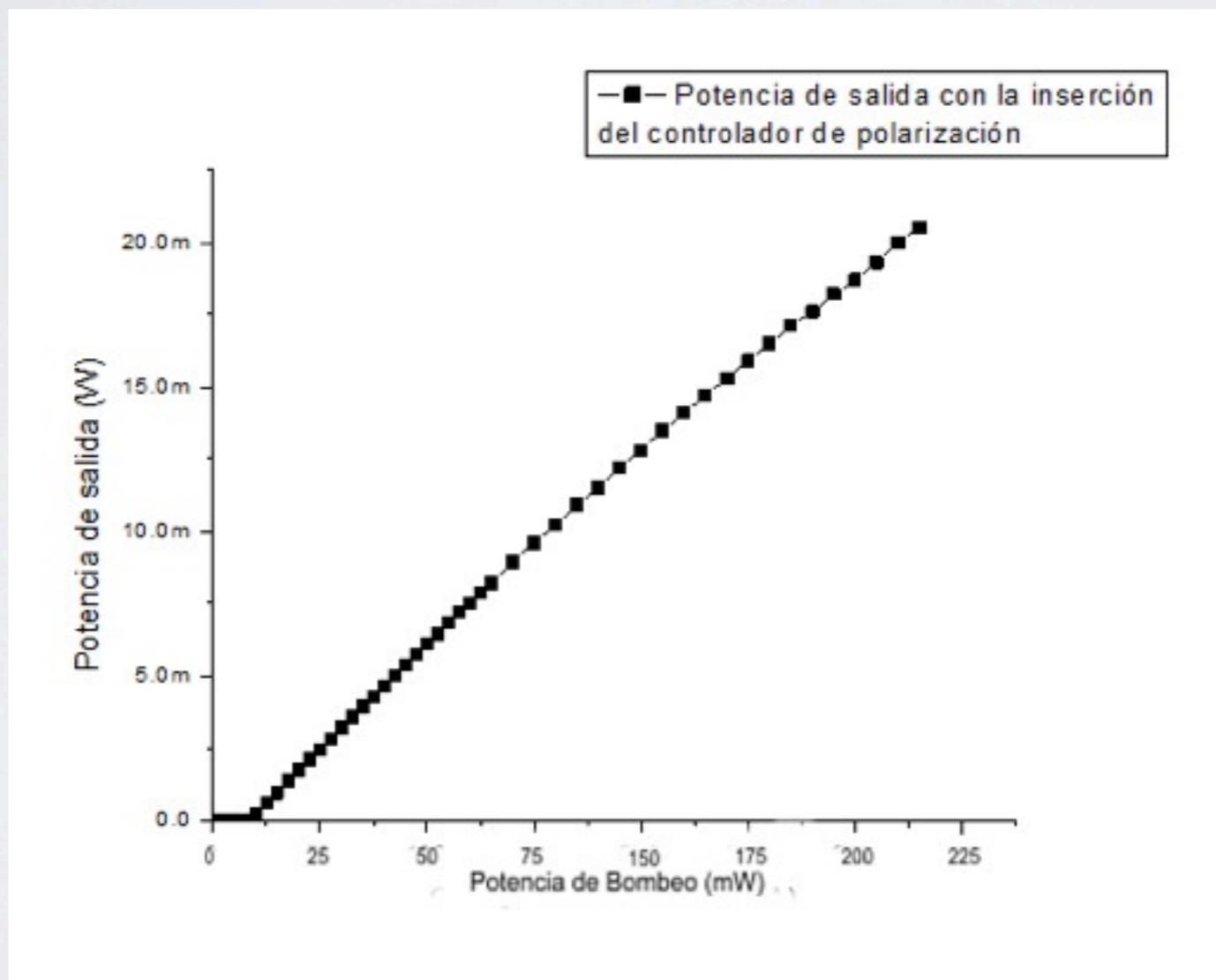
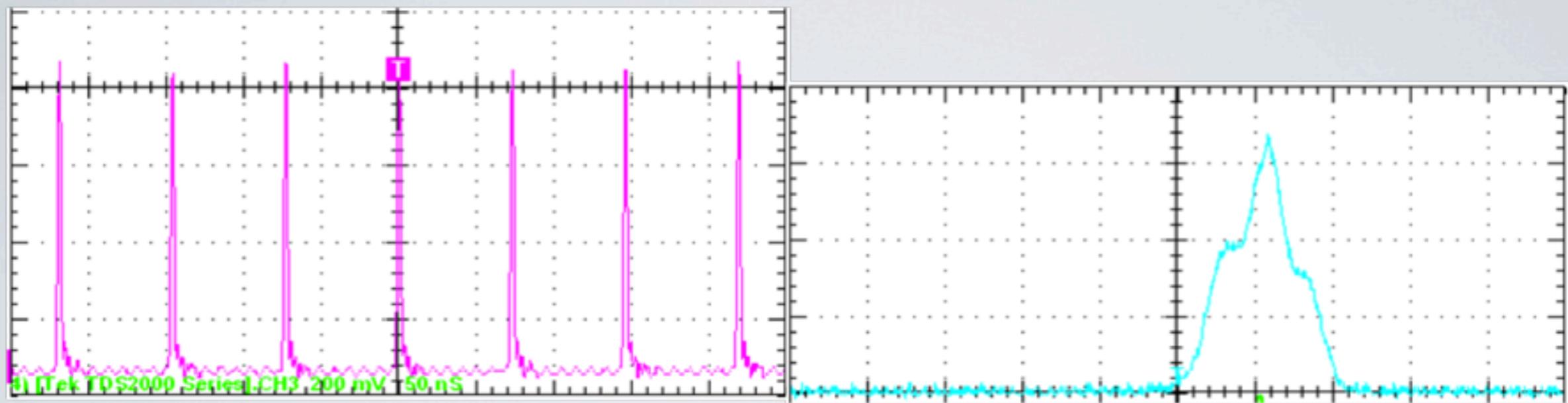
Los cambios en el medio pueden ser provocados por la variación en la temperatura, radiación, concentraciones de materiales químicos y biológicos, micropartículas, etc.



NANOFOTÓNICA
EN LA
FCE-BUAP

Láseres de fibra óptica

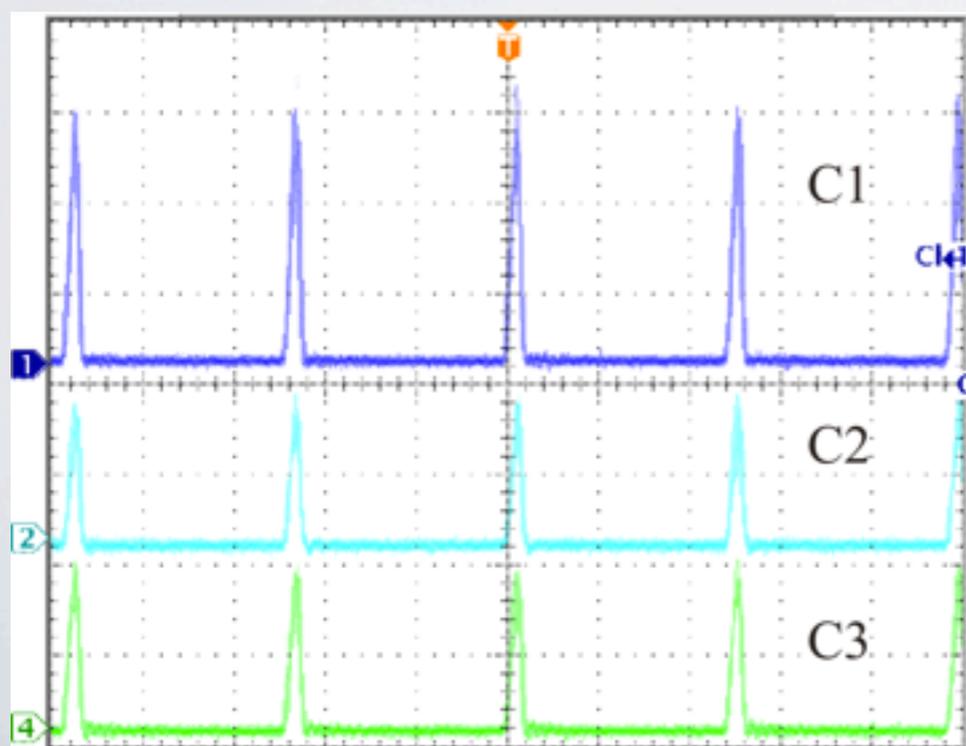
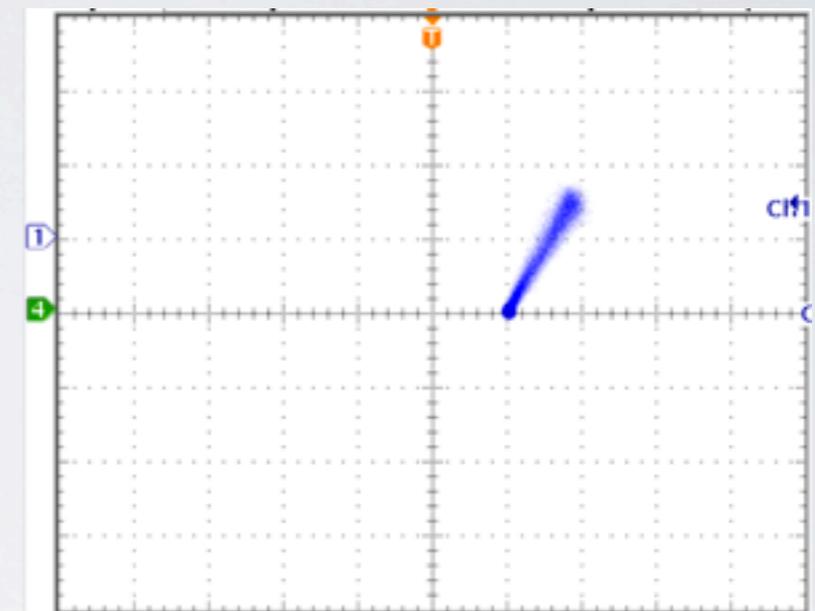




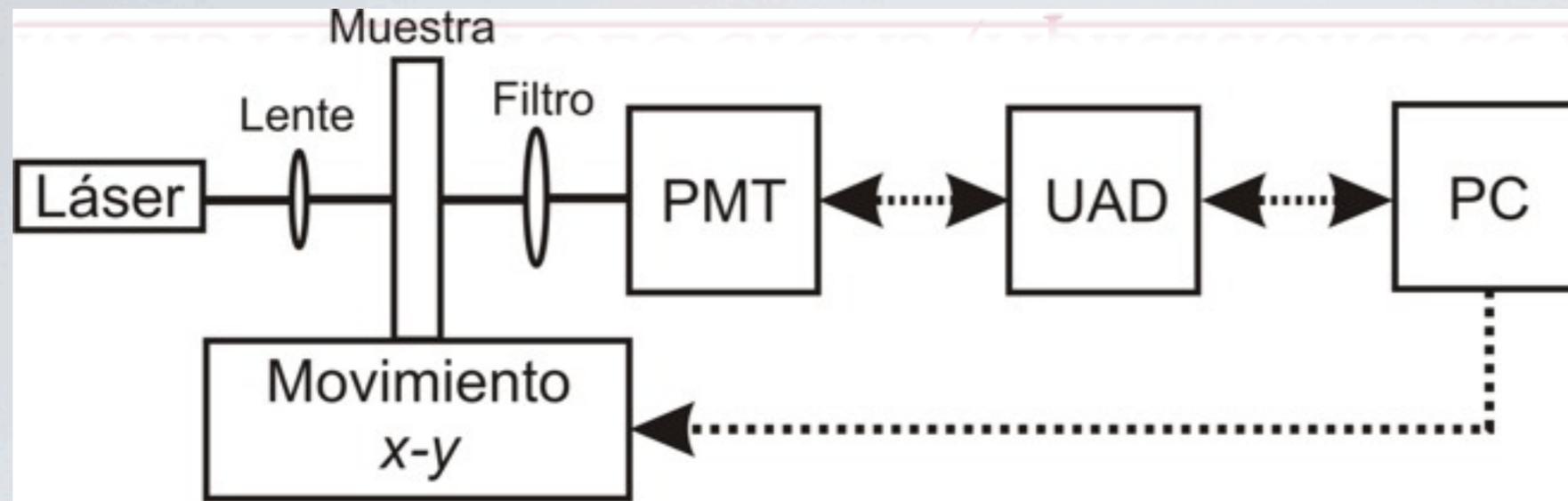
Sistemas láser multicavidad



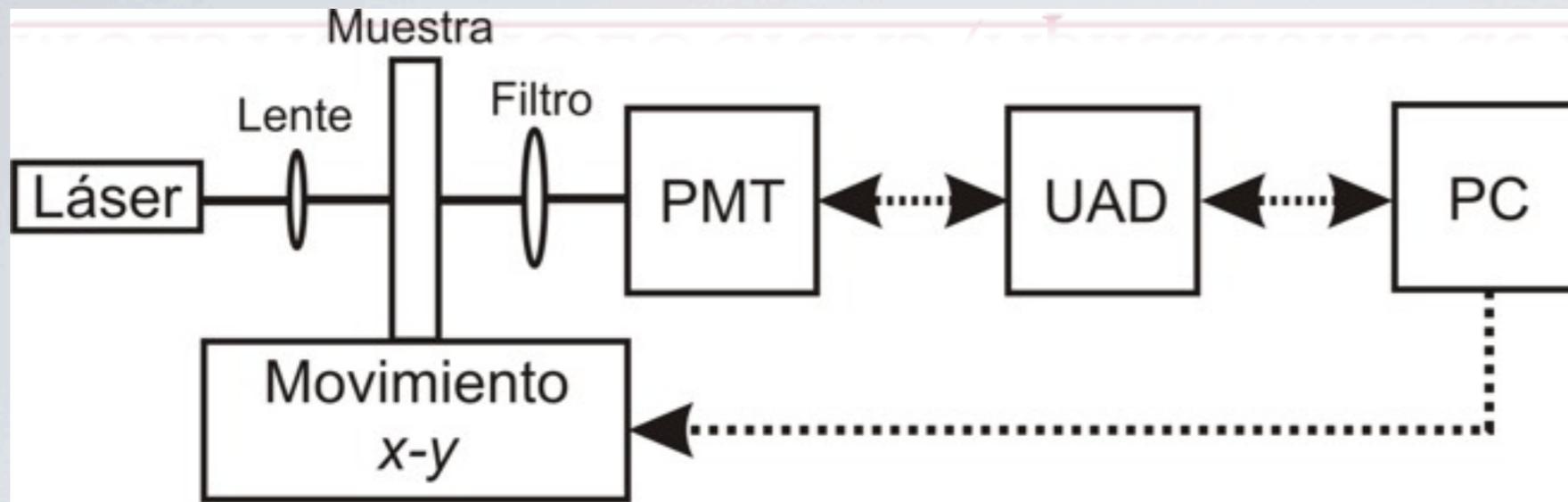
Sistemas láser multicavidad



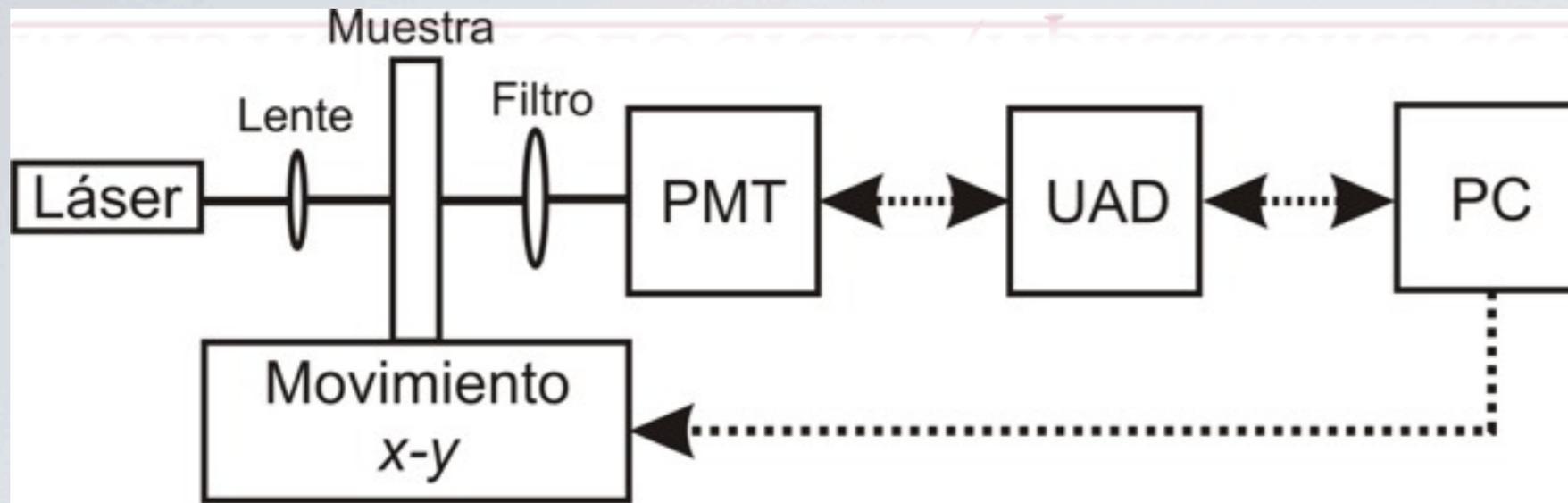
CARACTERIZACIÓN DE NO LINEALIDADES ÓPTICAS EN MUESTRAS BIOLÓGICAS (Aplicaciones de láser de fibra)



CARACTERIZACIÓN DE NO LINEALIDADES ÓPTICAS EN MUESTRAS BIOLÓGICAS (Aplicaciones de láser de fibra)



CARACTERIZACIÓN DE NO LINEALIDADES ÓPTICAS EN MUESTRAS BIOLÓGICAS (Aplicaciones de láser de fibra)



BENEMERITA
UNIVERSIDAD DE TORREÓN

FCEE
Facultad de Ciencias de la Electrónica

AUTOMATIZACIÓN DE UN SISTEMA DE CARACTERIZACIÓN DE NO LINEALIDADES ÓPTICAS EN MUESTRAS BIOLÓGICAS

MOTORES

2.a MotorY: UpasosY 5000 E-8 m, mov-y, COM6

2.b MotorX: UpasosX 5000 E-8 m, mov-x, COM5

UNIDAD ADQ. DATOS

2.c UAD: VC 250 E-3 V, COM8, corriente 0 A

SENSOR

2.d Sensor: COM4, estado 0

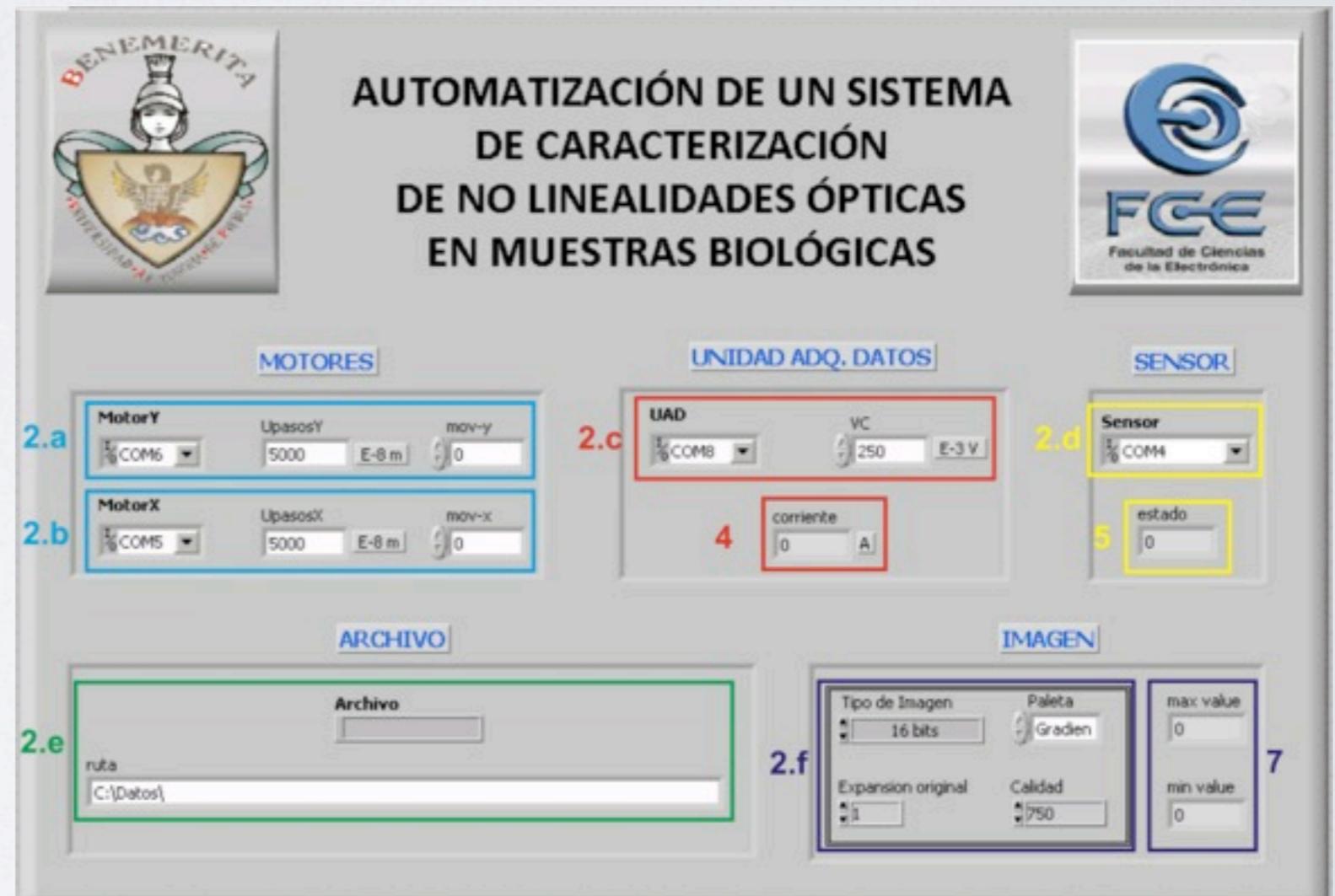
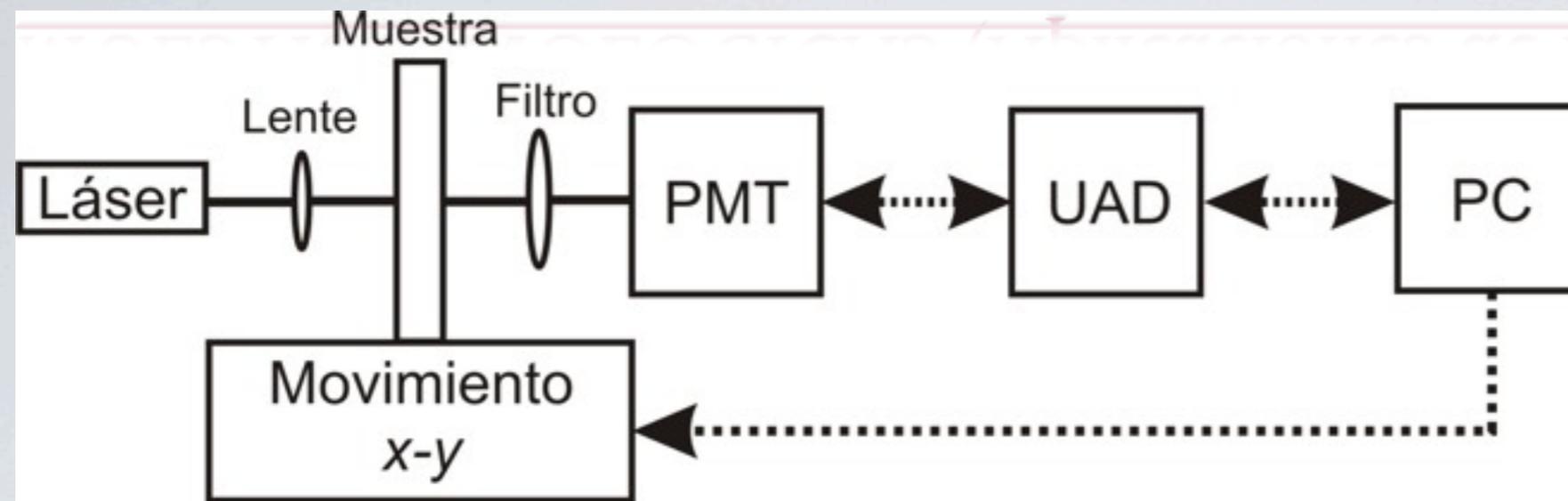
ARCHIVO

2.e Archivo: ruta C:\Datos\

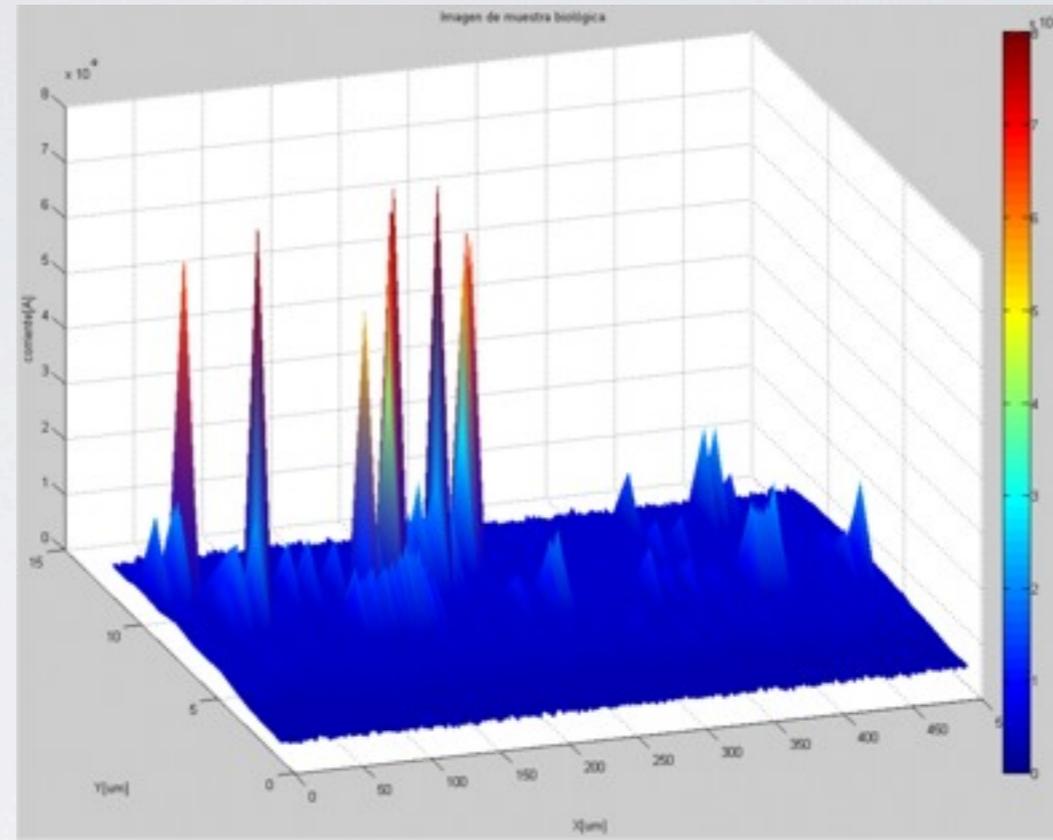
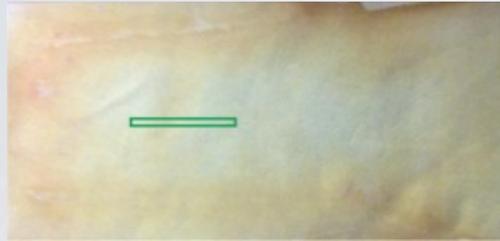
IMAGEN

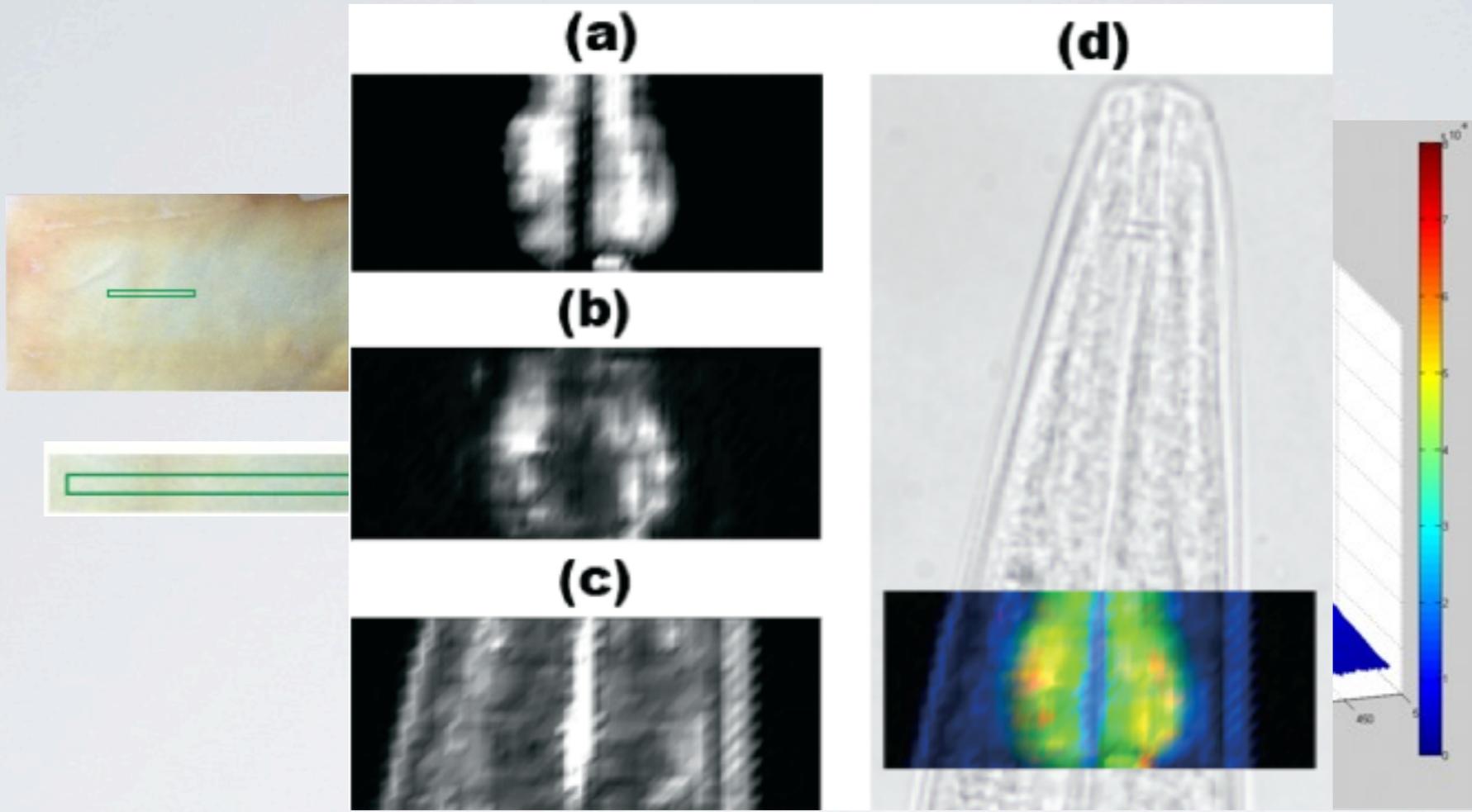
2.f Tipo de Imagen: 16 bits, Paleta: Graden, max value 0, Expansion original: 1, Calidad: 750, min value 0

CARACTERIZACIÓN DE NO LINEALIDADES ÓPTICAS EN MUESTRAS BIOLÓGICAS (Aplicaciones de láser de fibra)



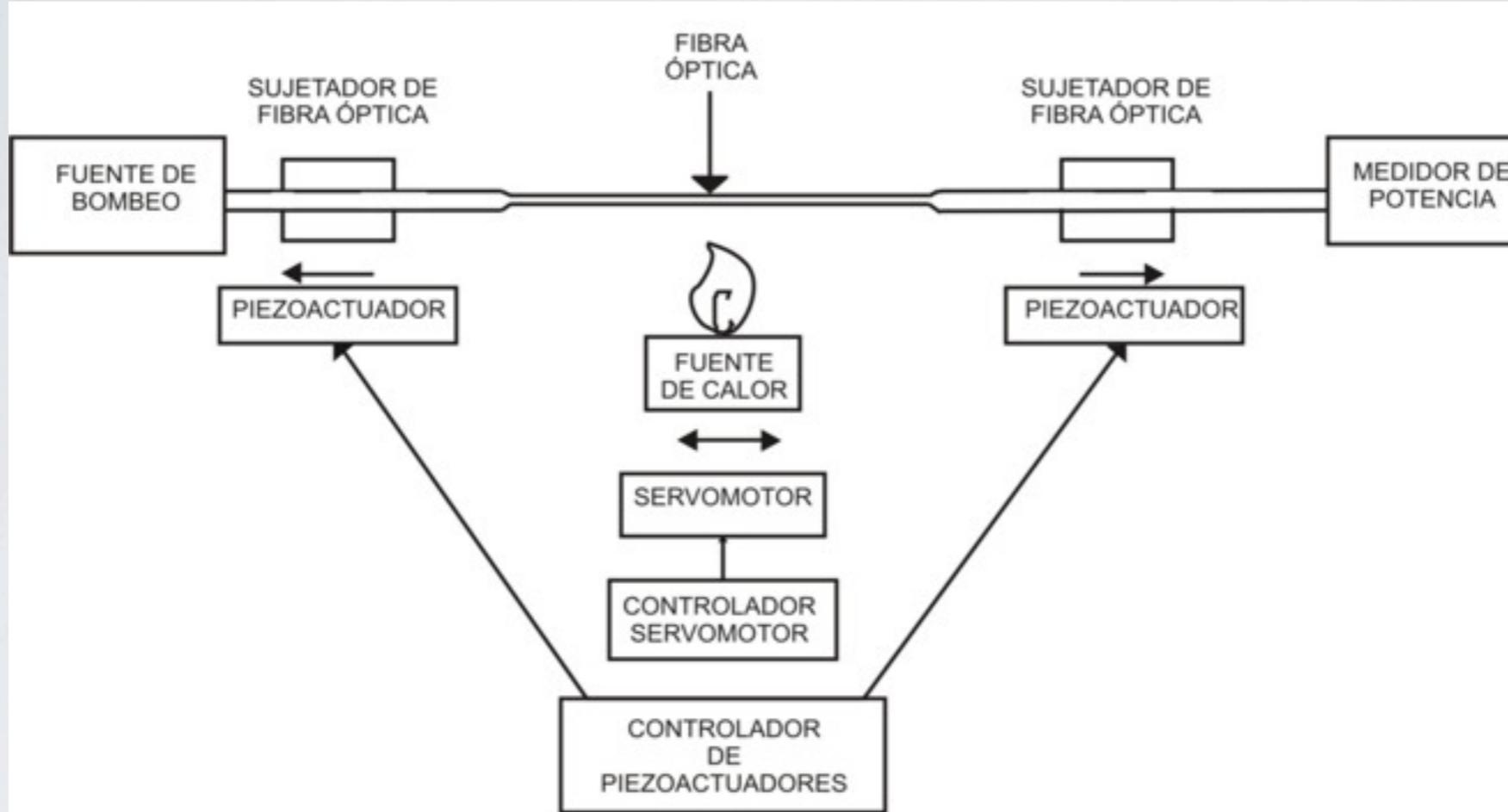
Panel frontal del sistema utilizado para la detección de no linealidades ópticas.

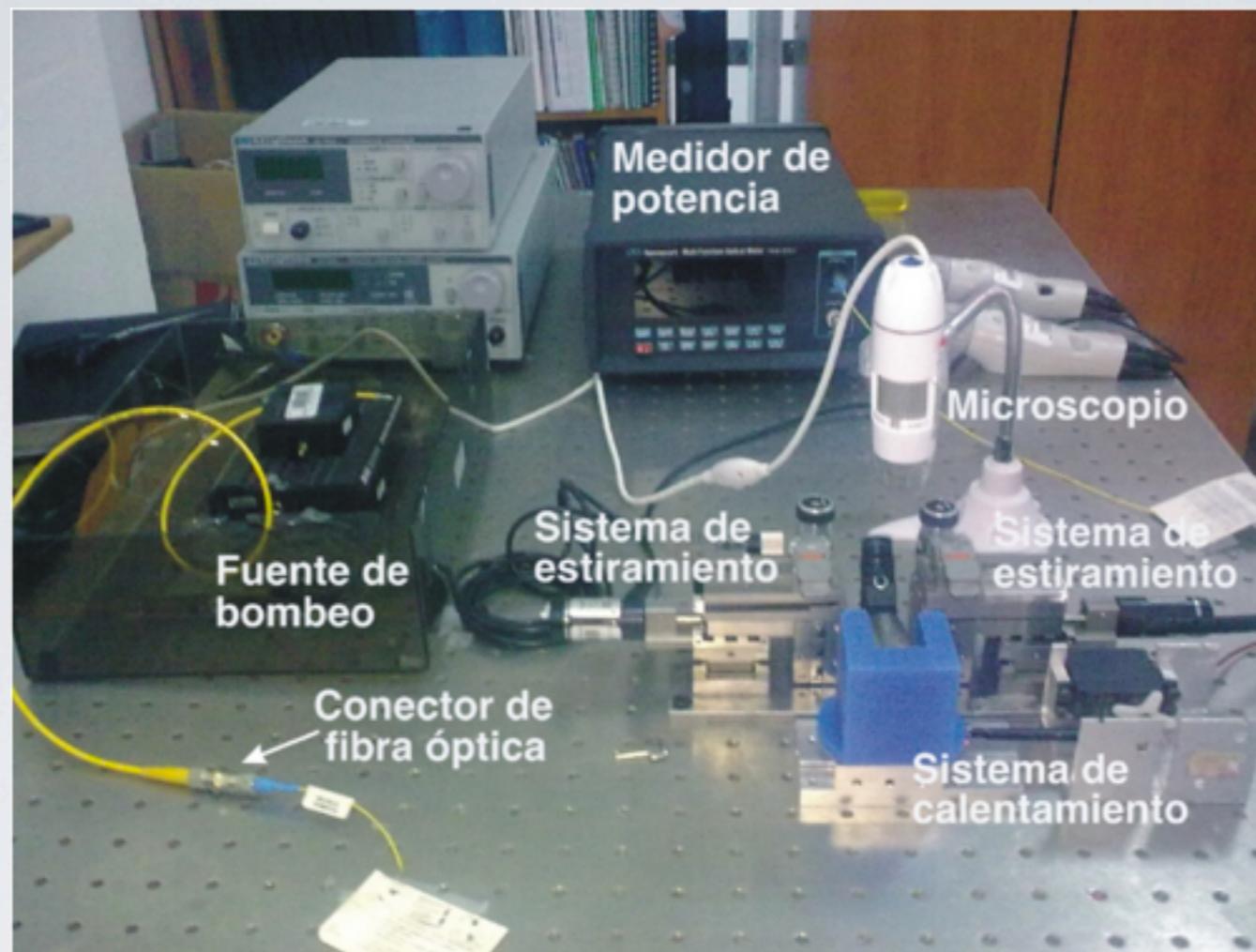




Fabricación de fibra óptica sublongitud de onda

Fabricación de fibra óptica sublongitud de onda





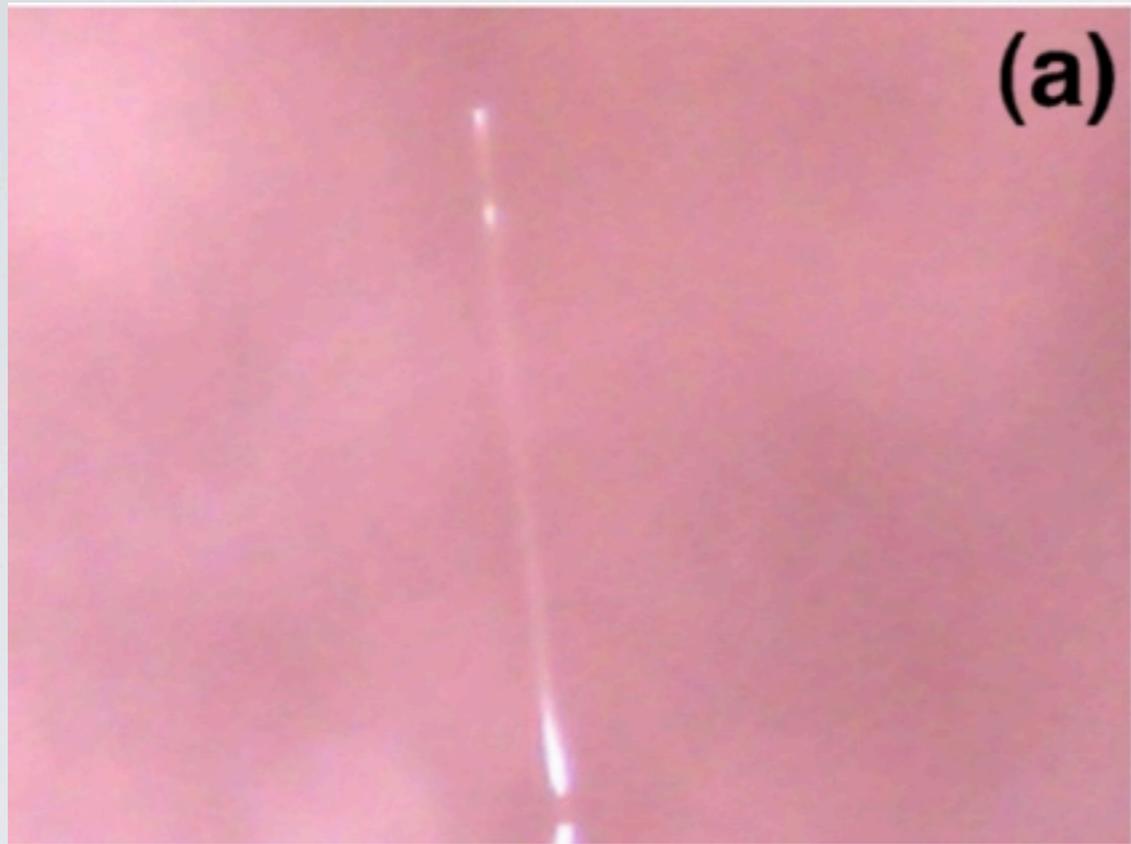
**FACULTAD DE CIENCIAS
DE LA ELECTRÓNICA**

MAESTRÍA EN AUTOMATIZACIÓN

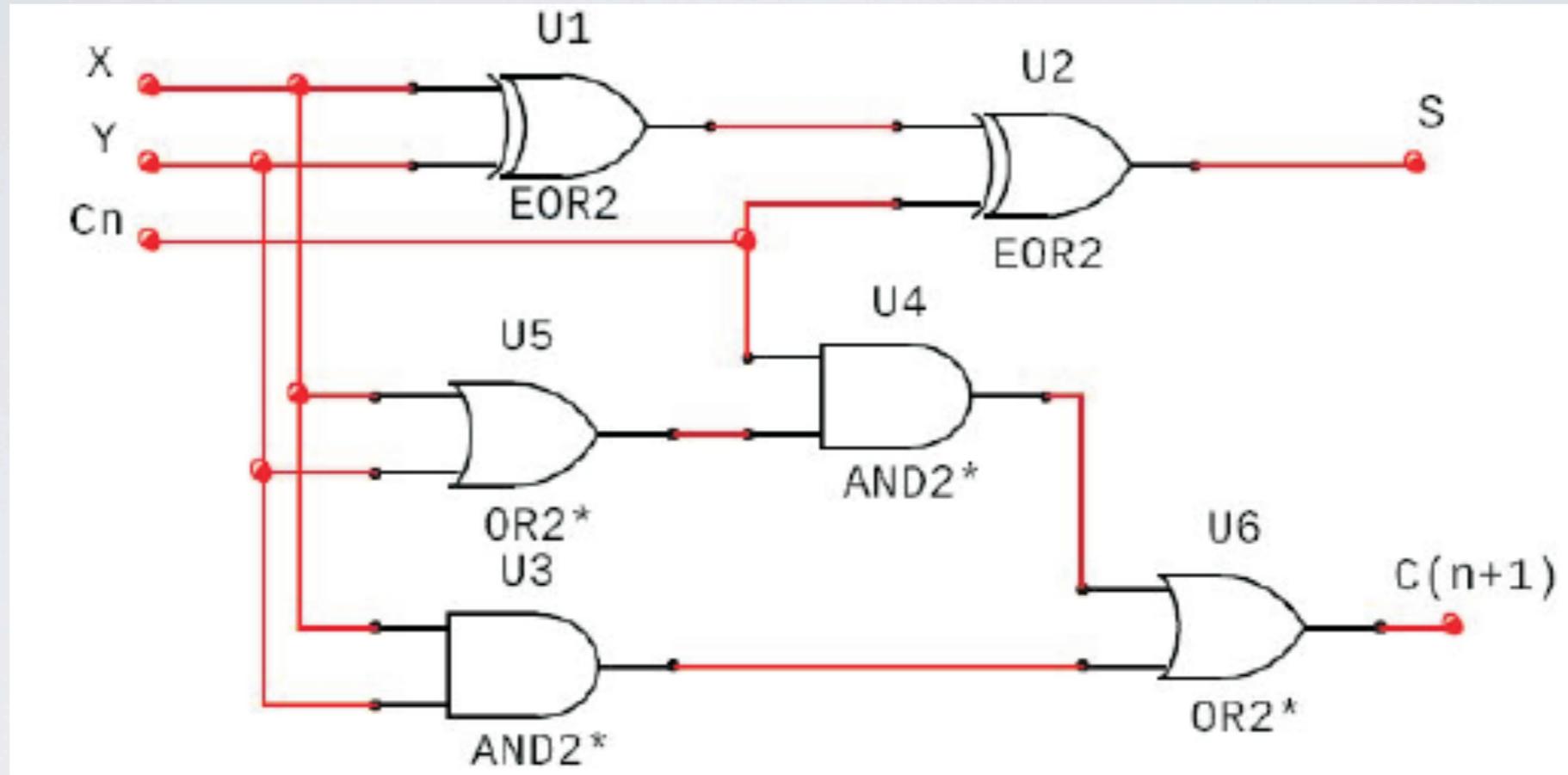
**SISTEMA DE CONTROL
TÉCNICA FLAME-BRUSHING**




<p>VISA MOTOR 1 cont</p> <p><input type="text" value="0"/> % <input type="text" value="0"/></p> <p>Repeticiones Tamaño de paso</p> <p><input type="text" value="100"/> <input type="text" value="2500"/> μm</p>	<p>VISA MOTOR 2 cont</p> <p><input type="text" value="0"/> % <input type="text" value="0"/></p> <p>Repeticiones Tamaño de paso</p> <p><input type="text" value="100"/> <input type="text" value="2500"/> μm</p>	<p>Pre Calentamiento cont 2</p> <p><input type="text" value="0"/> <input type="text" value="0"/></p> <p>Repeticiones Rev/min</p> <p><input type="text" value="2000"/> <input type="text" value="0"/></p>
---	---	--



Circuitos ópticos



Sumador electrónico completo con bit de acarreo

Sumador óptico completo con bit de acarreo

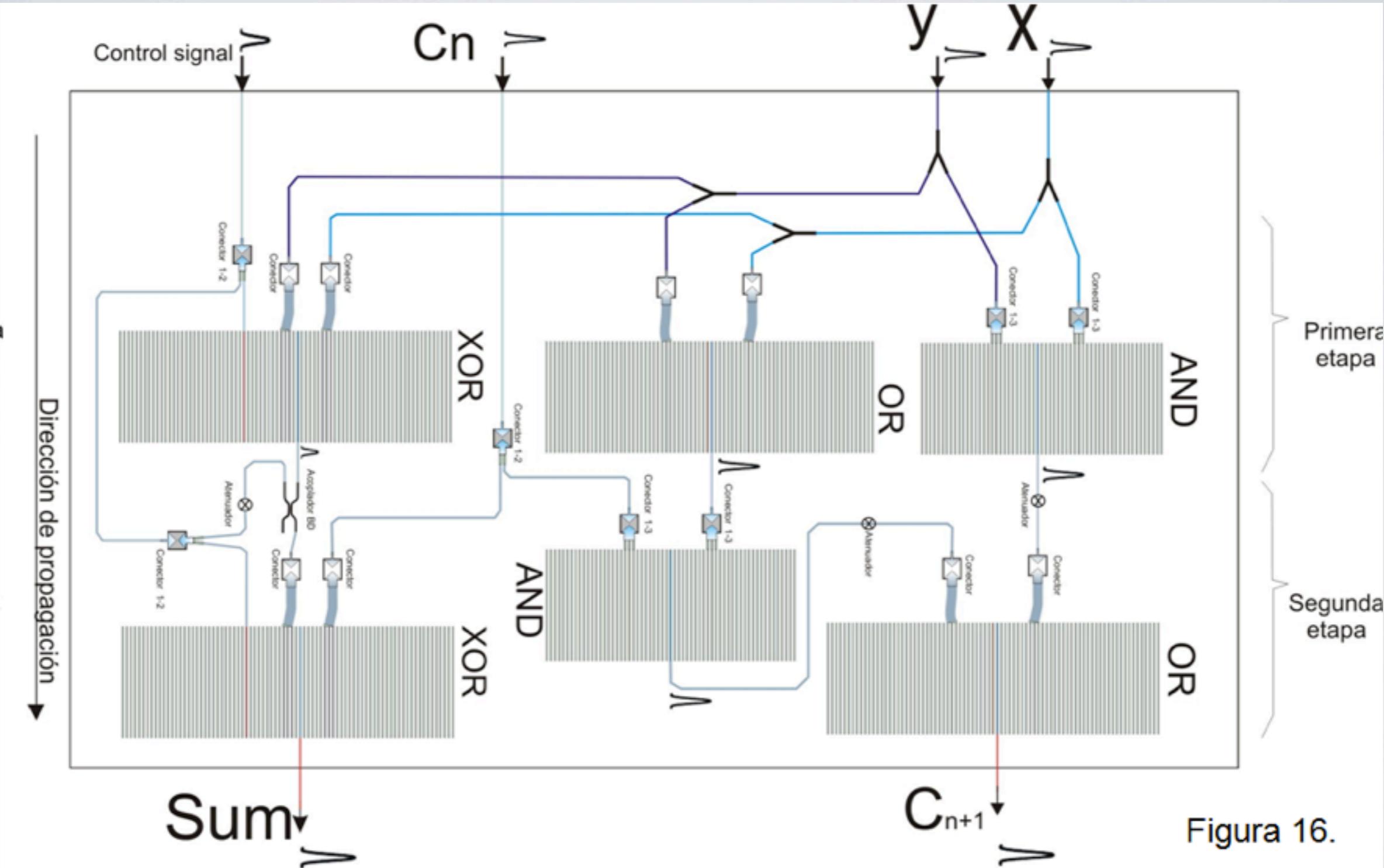


Figura 16.

Entradas: Señal de control, dos bits (X, Y) y el bit de acarreo (C_n).
Salidas: Señal de suma (Sum) y el bit de acarreo resultante C_{n+1} .

	C_n	X	Y	Sum	C_{n+1}
A	0	0	0	0	0
B	0	0	1	1	0
C	0	1	0	1	0
D	0	1	1	0	1
E	1	0	0	1	0
F	1	0	1	0	1
G	1	1	0	0	1
H	1	1	1	1	1

Tabla de verdad del SUMADOR electrónico digital

Se diseñaron las siguientes compuertas para el diseño del sumador:

✓ AND

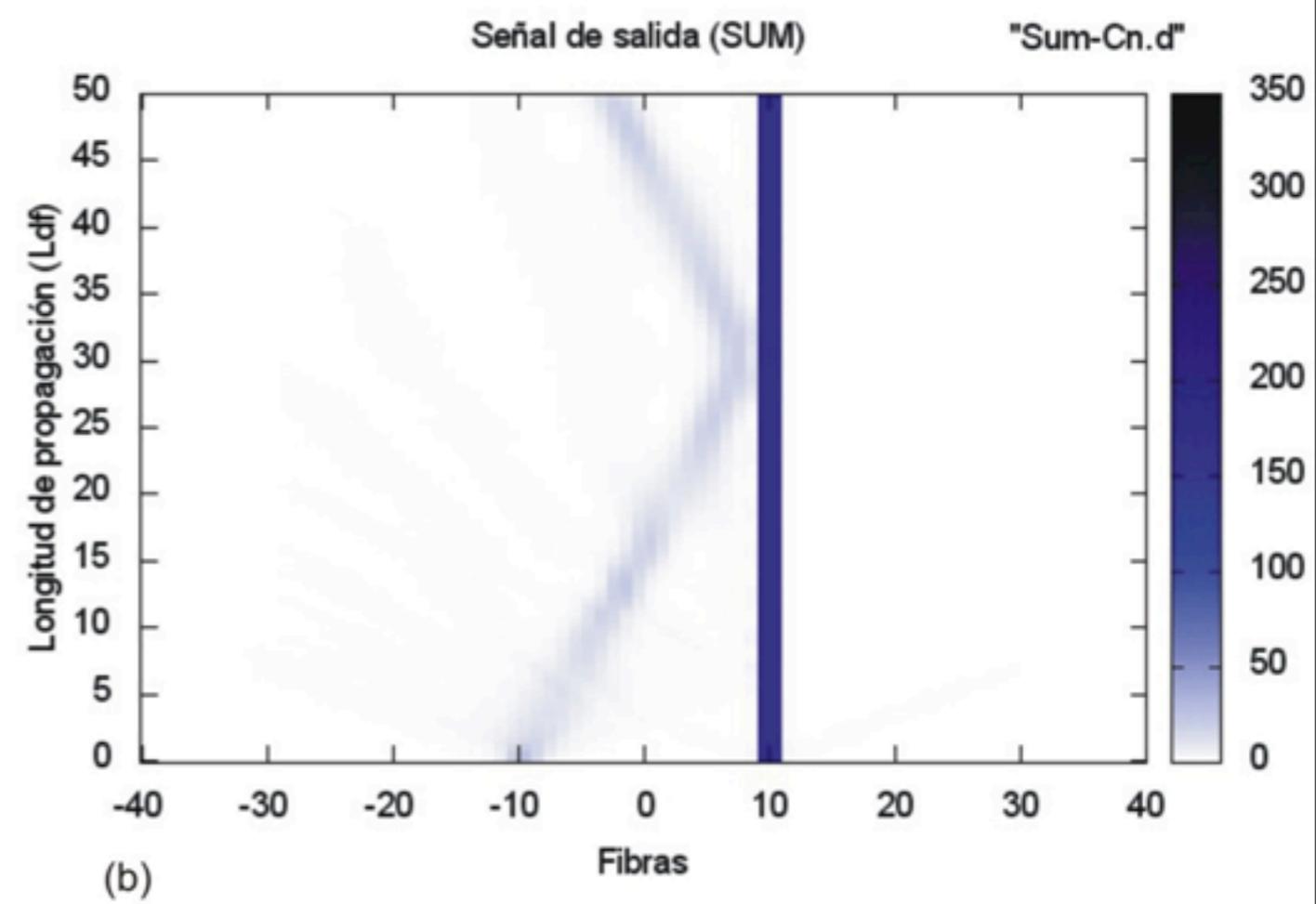
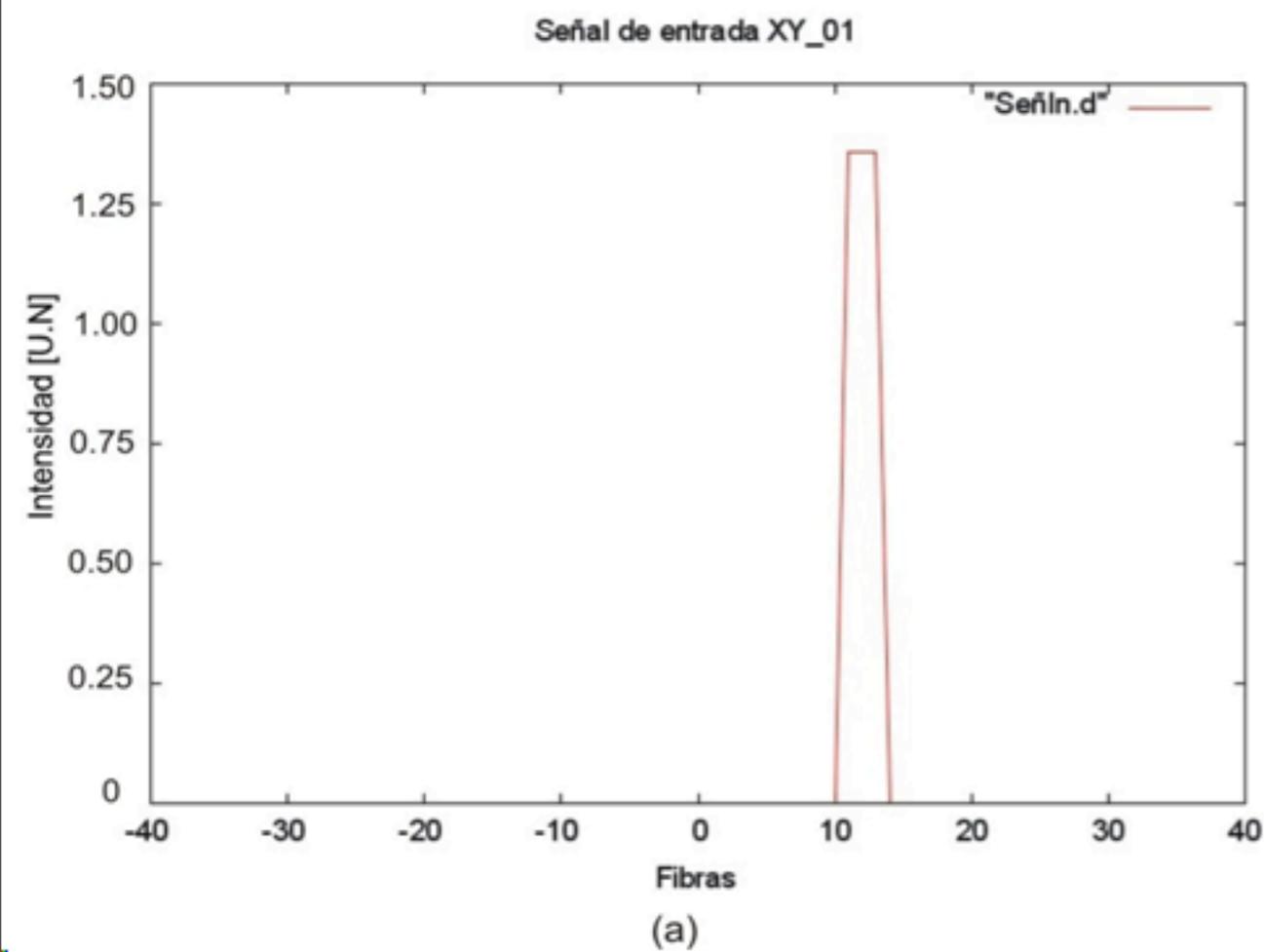
✓ OR

✓ XOR

	C_n	X	Y	Sum	C_{n+1}
A	0	0	0	0	0
B	0	0	1	1	0
C	0	1	0	1	0
D	0	1	1	0	1
E	1	0	0	1	0
F	1	0	1	0	1
G	1	1	0	0	1
H	1	1	1	1	1

Tabla de verdad del SUMADOR electrónico digital

	Entradas			Salidas	
	C_n	X	Y	Sum	C_{n+1}
B	0	0	1	1	0



Análisis de la propagación en guías de onda a escala nanométrica

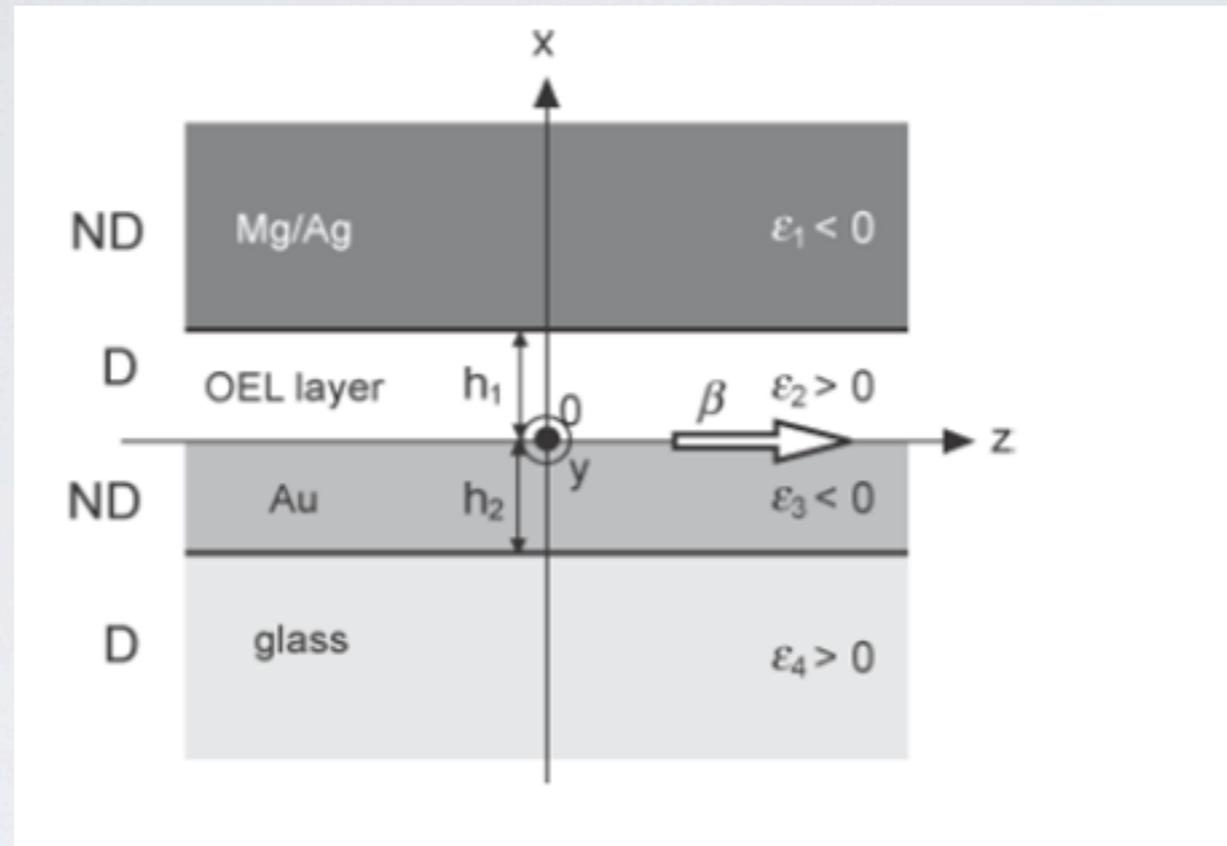


Diagrama esquemático de una guía de onda planar de cuatro capas

Potencial aplicación como sensor fotónico.

Grupo de Nanofotónica:

Dr. Erwin Armando Martí Panameño (FCFM-BUAP)

Investigadores:

Dra. Luz del Carmen Gómez Pavón (FCE-BUAP)

Dr. Arnulfo Luis Ramos (FCE-BUAP)

Dr. Ramón Parada Alfonso (ESIME-IPN, México)

Dra. Olga Guadalupe Félix Beltrán (FCE-BUAP)

Dr. Juan Manuel Merlo R. (ITSM-Puebla)

Estudiantes:

6 de Licenciatura en Ciencias de la Electrónica, Ingeniería en Mecatrónica y Física Aplicada

3 de Maestría en Ciencias de la Electrónica y Física Aplicada

3 de Doctorado en Física Aplicada

GRACIAS!!