

# Luz de Sincrotrón para México, por qué sí.

Tuesday 23 Nov 2010 at 18:00 (01h00')

Primary authors : Dr. HERRERA, Gerardo (CINVESTAV)

Co-authors :

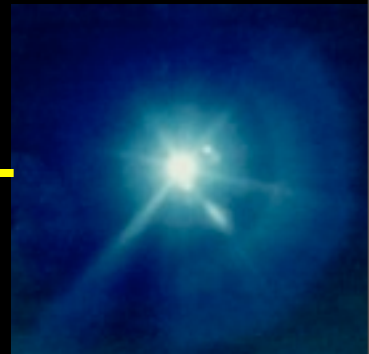
Presenter : Dr. HERRERA, Gerardo (CINVESTAV)

# sincrotrón



¿ un proyecto para México ?

---



# ***Aceleradores***





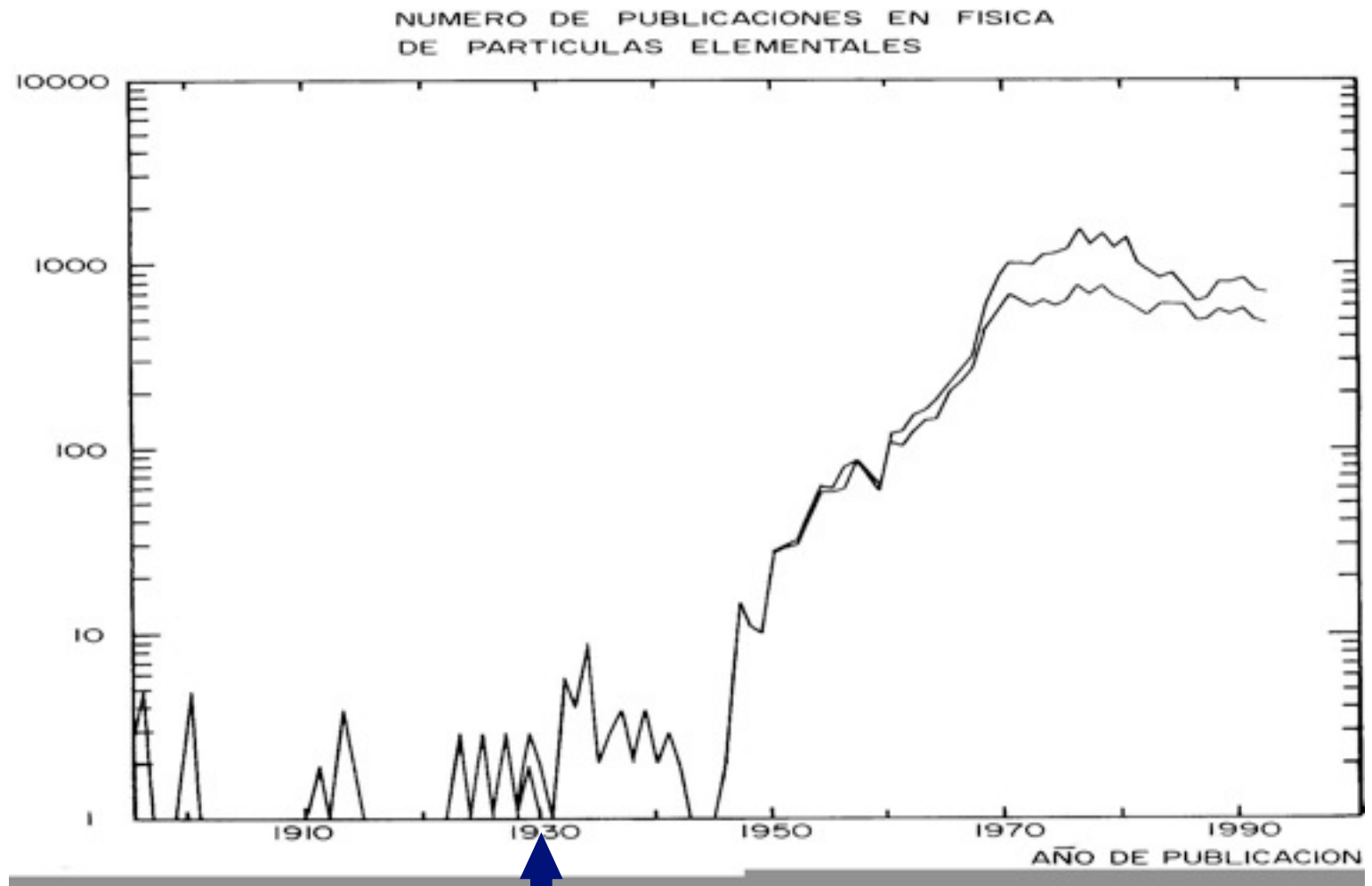
*E. Lawrence*



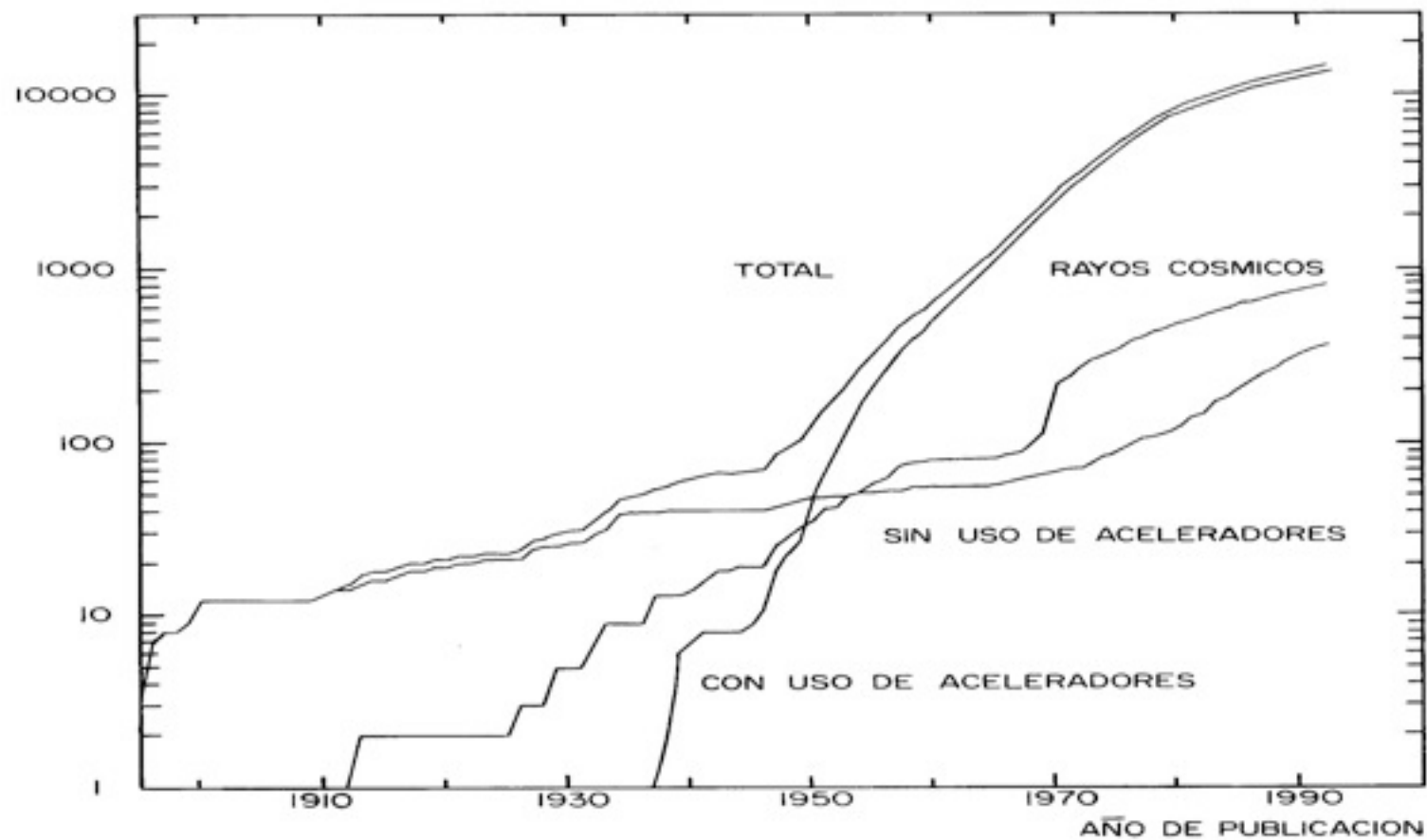
*John Cockcroft*



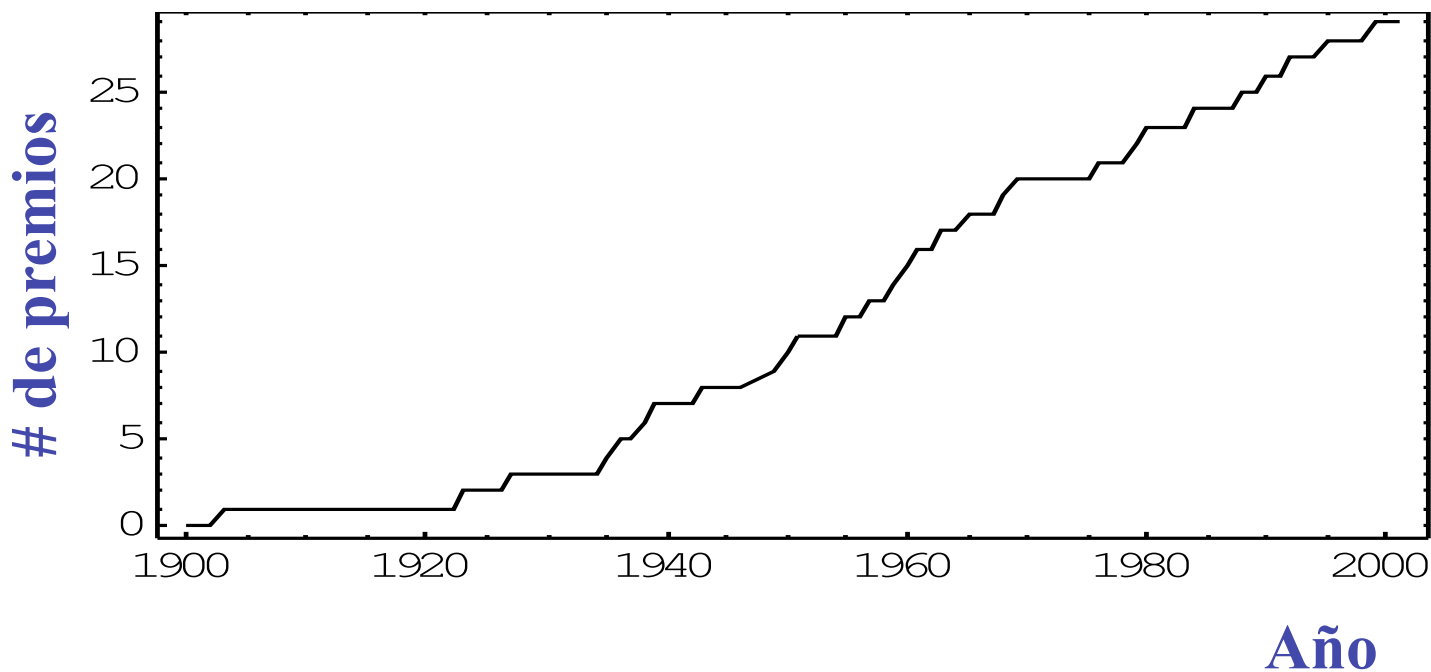
*R. Van de Graaff*

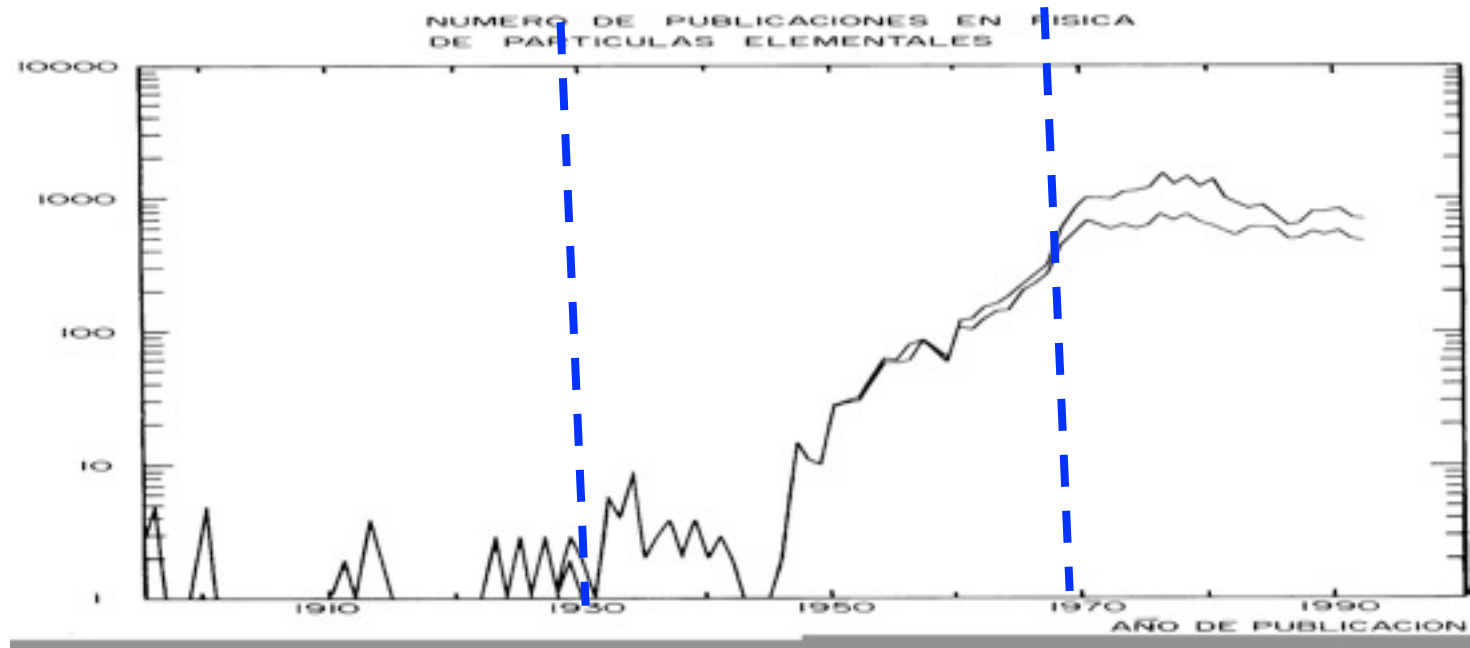
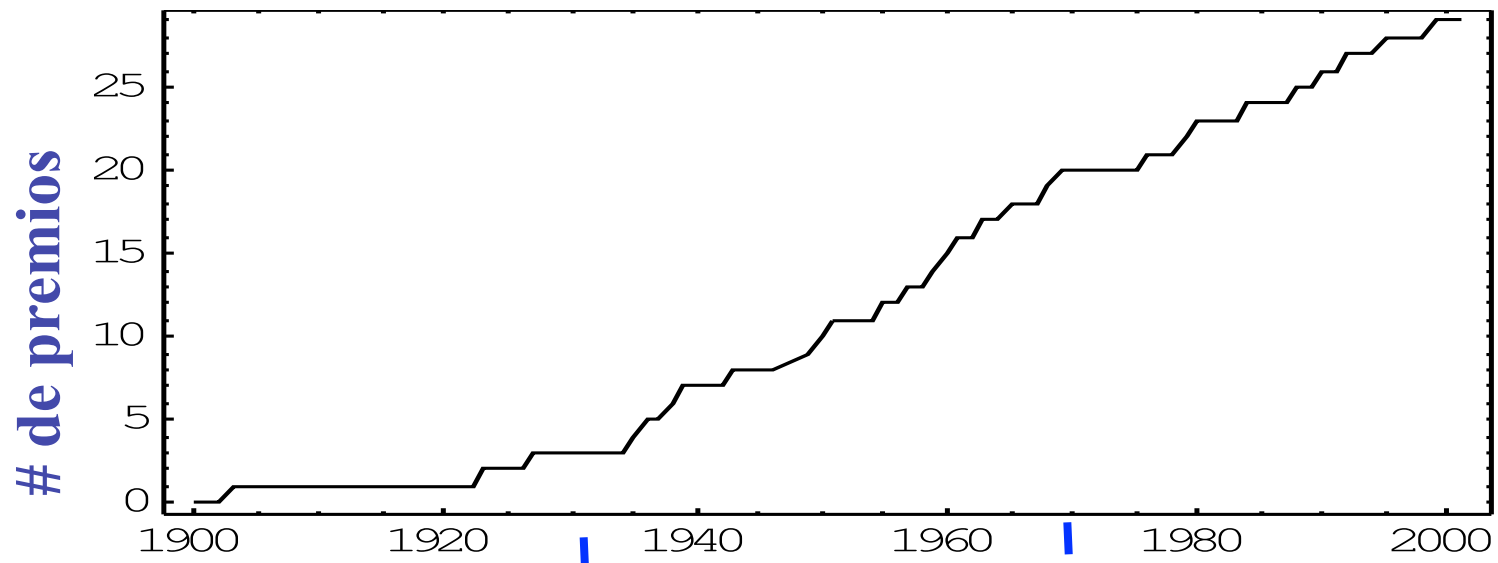


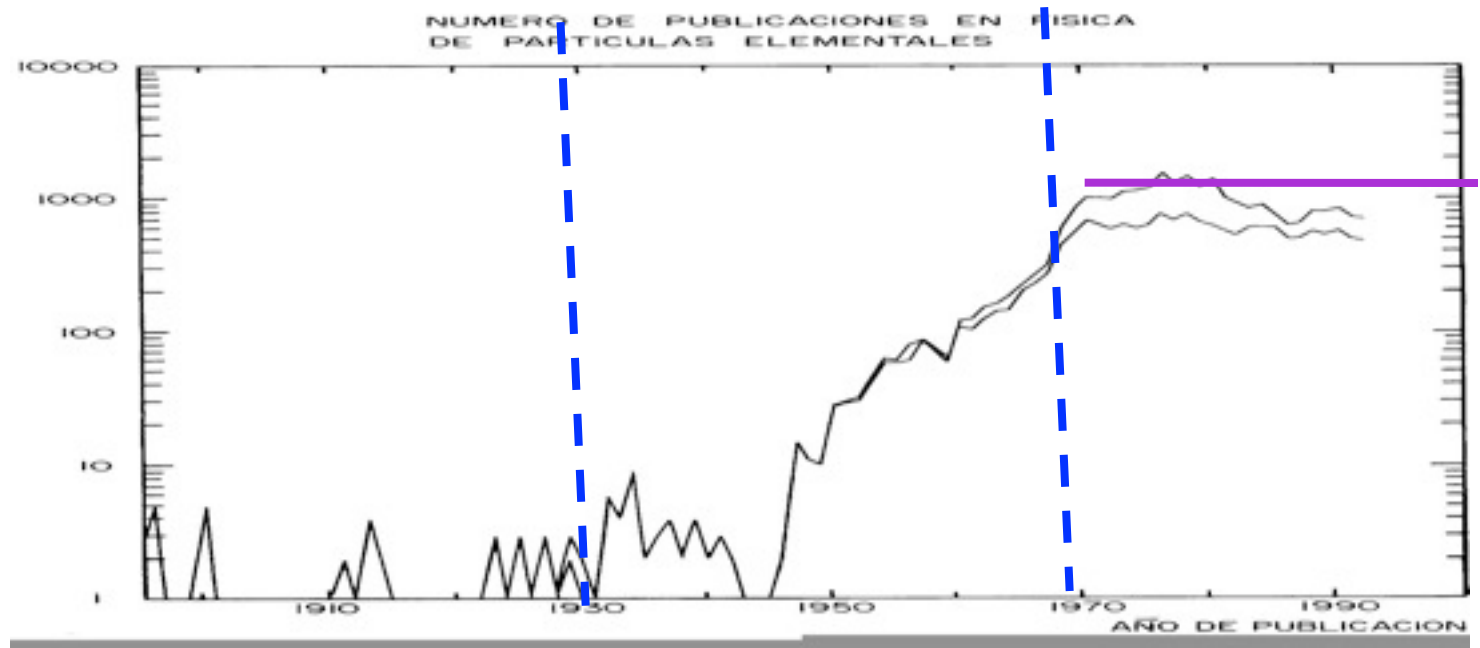
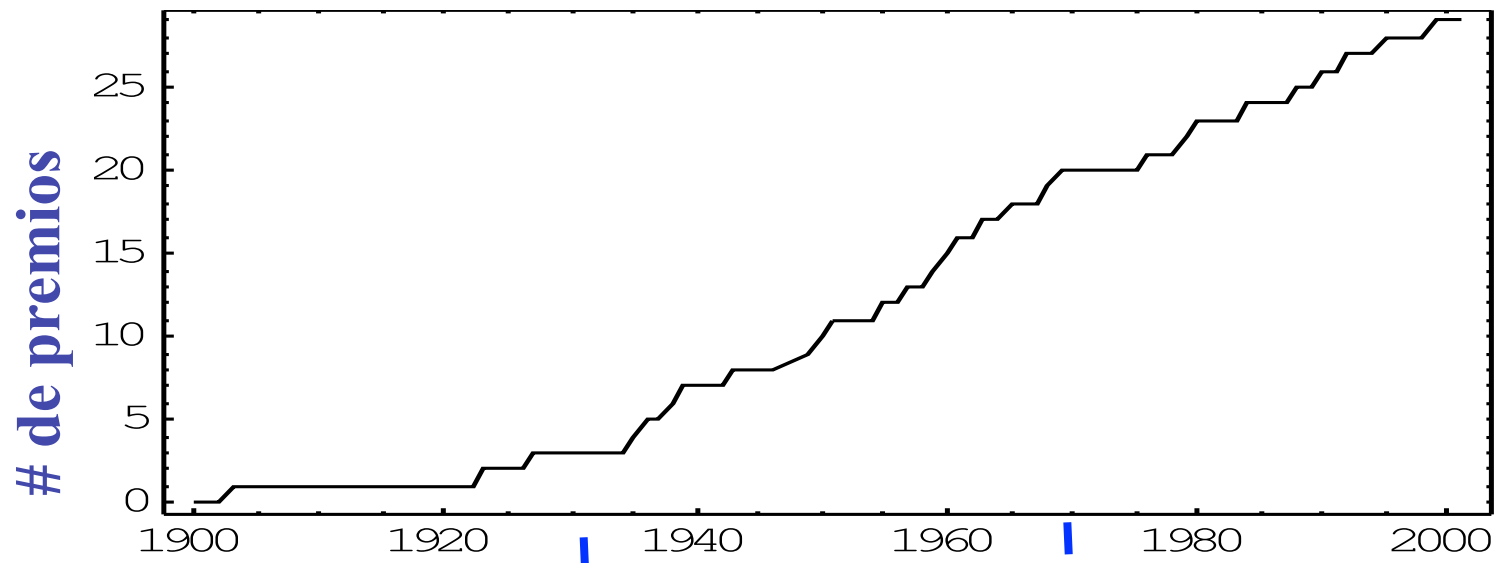
EVOLUCION DEL NUMERO TOTAL DE PUBLICACIONES  
DE FISICA EXPERIMENTAL DE PARTICULAS

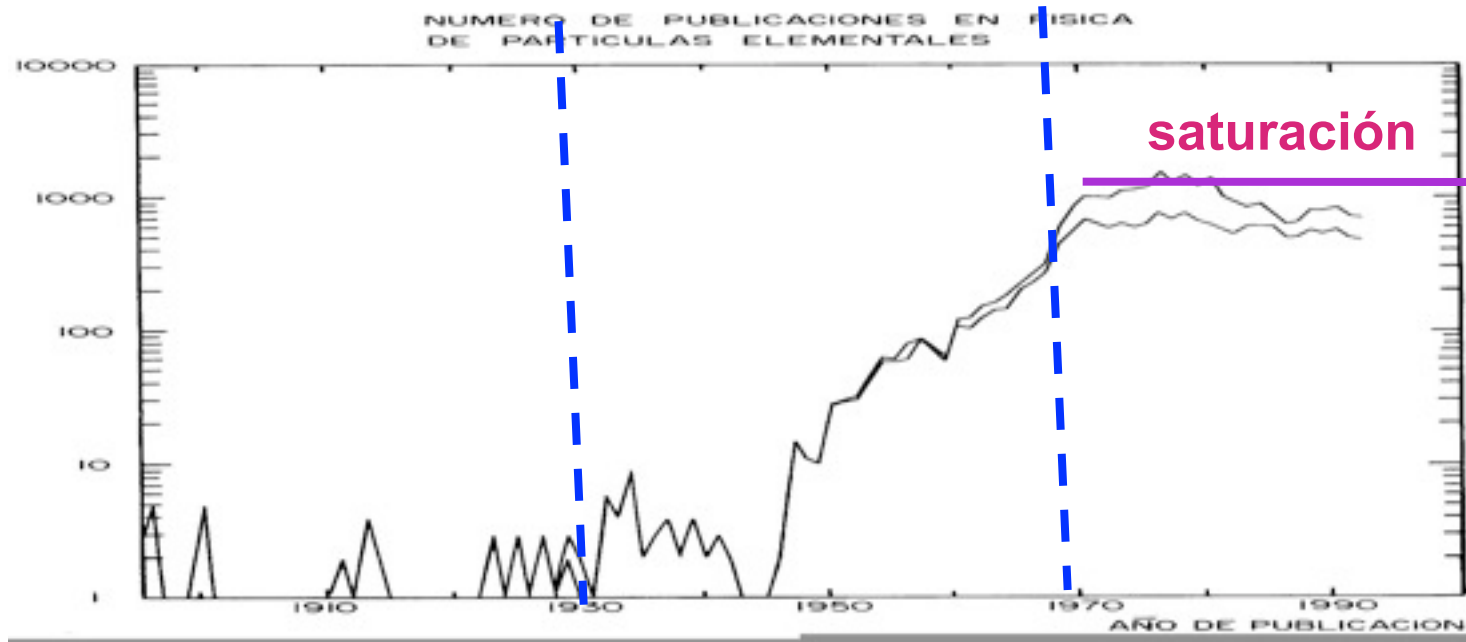
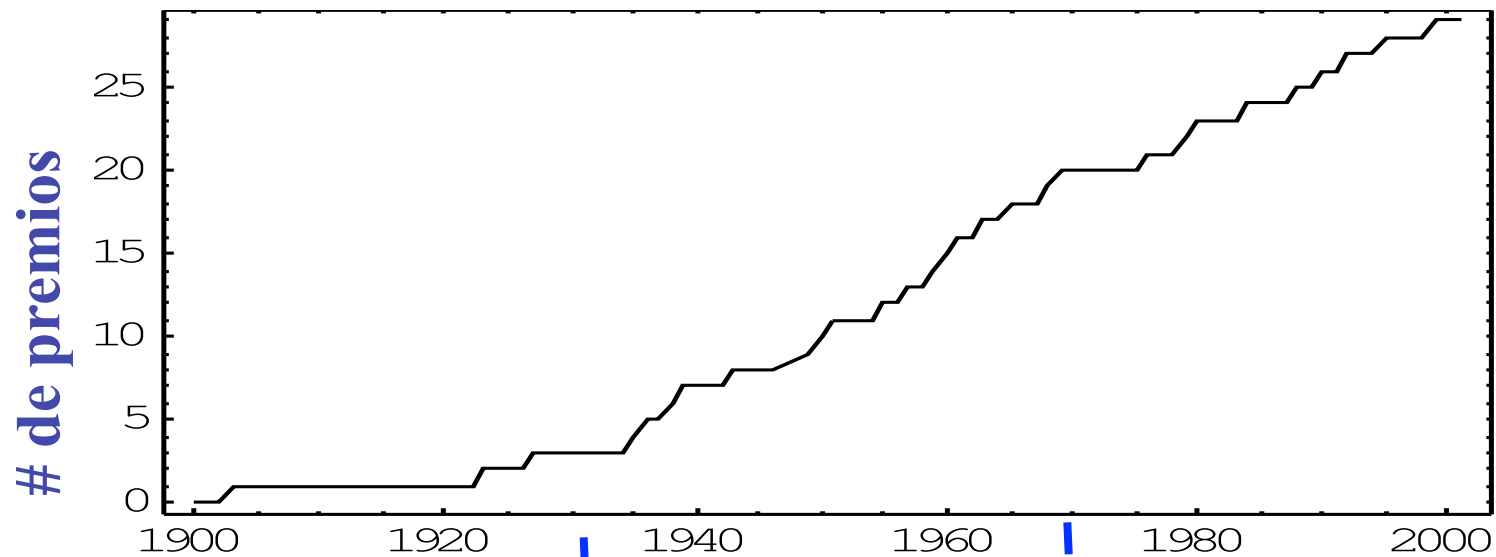


# Evolución de premios Nobel en la física de partículas









# hasta donde han llegado los aceleradores



en el mundo

*This table shows how far  
accelerators had come by 2002*

| Category of accelerators                            | Number in use |      |           |
|-----------------------------------------------------|---------------|------|-----------|
| High-energy accelerators ( $E > 1$ GeV)             | ~ 120         |      |           |
| Radiotherapy accelerators                           | >7500         | ~ 50 | in México |
| Research accelerators incl. biomedical research     | 1000          | ~ 8  |           |
| Medical radioisotope production                     | ~200          | ~ 3  |           |
| Accelerators for industrial processing and research | >1500         | ~ 0  |           |
| Ion implanters, surface modification centres        | >7000         | ~ 5  |           |
| Synchrotron radiation sources                       | ~50           | ~ 0  |           |
| <b>TOTAL IN 2002</b>                                | <b>~17370</b> |      |           |

sólo 120 de 17,370 son usados en la física de partículas elementales

# oncología hoy

## 50 aceleradores en hospitales mexicanos



### · REPORTE DE INSTITUCIONES QUE TIENEN ACELERADORES EN MEXICO CON LICENCIA VIGENTE EMITIDA POR LA CNSNS

13/03/2006

|        |                                                                                           |                           |                                |
|--------|-------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|--------------------------------|
| 1374   | ACELERACION NUCLEAR Y RESONANCIA MAGNETICA, S.A. DE C.V.                                  |                           |                                |
| Marca: | SIEMENS                                                                                   | Modelo: MEVATRON MD       | Tipo: LINEAL                   |
| 687    | CENTRO ESTATAL DE CANCEROLOGIA, "DR. MIGUEL DORANTES MESA"                                |                           |                                |
| Marca: | VARIAN                                                                                    | Modelo: CLINAC 21 EX      | Tipo: ACELERADOR DE ELECTRONES |
| 1      | CENTRO MEDICO NACIONAL "26 DE NOVIEMBRE" - ISSSTE                                         |                           |                                |
| Marca: | PHILIPS                                                                                   | Modelo: SL-75/14          | Tipo: UNEAL                    |
| 2115   | CENTRO ONCOLOGICO PRIVADO, S.A. DE C.V.                                                   |                           |                                |
| Marca: | VARIAN                                                                                    | Modelo: CLINAC 2100C      | Tipo: IA                       |
| 2588   | CORPORATIVO ONCOLOGIA, RADIOTERAPIA Y RADIOCIRUGIA, S.A. DE C.V.                          |                           |                                |
| Marca: | VARIAN                                                                                    | Modelo: 600 C             | Tipo: LINEAL                   |
| 604    | FACULTAD DE MEDICINA - UNAM                                                               |                           |                                |
| Marca: | CTI                                                                                       | Modelo: RDS 111           | Tipo: CICLOTRON                |
| 1391   | HOSPITAL ANGELES DEL PEDREGAL, S.A. DE C.V.                                               |                           |                                |
| Marca: | CTI                                                                                       | Modelo: ECLIPSE HP RD 111 | Tipo: CICLOTRON                |
| 1827   | HOSPITAL CENTRAL "DR. IGNACIO MORONES PRIETO"                                             |                           |                                |
| Marca: | VARIAN                                                                                    | Modelo: CLINAC 2100C      | Tipo: LINEAL                   |
| 109    | HOSPITAL CENTRAL MILITAR                                                                  |                           |                                |
| Marca: | SIEMENS                                                                                   | Modelo: PRIMUS            | Tipo: LINEAL                   |
| Marca: | SIEMENS                                                                                   | Modelo: MEVATRON 74458    | Tipo: LINEAL                   |
| 775    | HOSPITAL DE ESPECIALIDADES NO. 1, C.M.N. LIC. IGNACIO GARCIA TELLEZ-IMSS                  |                           |                                |
| Marca: | VARIAN                                                                                    | Modelo: CLINAC 21EX       | Tipo: LINEAL                   |
| 262    | HOSPITAL DE ESPECIALIDADES NO. 25, C.M.N. DEL NORESTE - I.M.S.S.                          |                           |                                |
| Marca: | VARIAN                                                                                    | Modelo: CLINAC 2100 C/D   | Tipo: LINEAL                   |
| Marca: | VARIAN                                                                                    | Modelo: CLINAC 6EX        | Tipo: ACELERADOR LINEAL        |
| 198    | HOSPITAL DE ESPECIALIDADES, C.M.N. "GRAL. DIV. MANUEL AVILA CAMACHO" - IMSS               |                           |                                |
| Marca: | VARIAN                                                                                    | Modelo: CLINAC 2300 C/D   | Tipo: LINEAL                   |
| 143    | HOSPITAL DE ONCOLOGIA - CENTRO MEDICO NACIONAL SIGLO XXI - IMSS                           |                           |                                |
| Marca: | PHILLIPS                                                                                  | Modelo: SL-18             | Tipo: LINEAL                   |
| Marca: | PHILLIPS                                                                                  | Modelo: SL/75/14          | Tipo: LINEAL                   |
| Marca: | VARIAN                                                                                    | Modelo: 2300 C/D          | Tipo: LINEAL                   |
| 98     | HOSPITAL GENERAL DE MEXICO, O. D.                                                         |                           |                                |
| Marca: | PHILIPS                                                                                   | Modelo: SL75/15           | Tipo: ACELERADOR DE ELECTRONES |
| Marca: | VARIAN                                                                                    | Modelo: 21EX              | Tipo: ACELERADOR DE ELECTRONES |
| 2707   | HOSPITAL GENERAL REGIONAL NO. 1 " LIC. IGNACIO GARCIA TELLEZ" - I.M.S.S.                  |                           |                                |
| Marca: | VARIAN                                                                                    | Modelo: CLINAC 600C       | Tipo: LINEAL                   |
| 46     | HOSPITAL INFANTIL DE MEXICO "FEDERICO GOMEZ"                                              |                           |                                |
| Marca: | VARIAN                                                                                    | Modelo: 6EX               | Tipo: ACELERADOR DE ELECTRONES |
| 1825   | HOSPITAL ONCOLOGICO DEL ESTADO DE SONORA                                                  |                           |                                |
| Marca: | GENERAL ELECTRIC                                                                          | Modelo: 21B12B41          | Tipo: LINEAL                   |
| 1727   | HOSPITAL SAN JAVIER, S.A. DE C.V.                                                         |                           |                                |
| Marca: | ELEKTA                                                                                    | Modelo: DIGITAL PRECISE   | Tipo: LINAC                    |
| Marca: | VARIAN                                                                                    | Modelo: 6XR               | Tipo: LINEAL                   |
| 207    | HOSPITAL UNIVERSITARIO "DR. JOSE ELEUTERIO GONZALEZ", UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON. |                           |                                |
| Marca: | SIEMENS                                                                                   | Modelo: MEVATRON K-74     | Tipo: LINEAL                   |

# **REPORTE DE INSTITUCIONES QUE TIENEN ACELERADORES EN MEXICO CON LICENCIA VIGENTE EMITIDA POR LA CNSNS**

13/03/2006

**2067 HOSPITAL Y CLINICA OCA, S.A.**

|        |                  |         |                      |       |                   |
|--------|------------------|---------|----------------------|-------|-------------------|
| Marca: | GENERAL ELECTRIC | Modelo: | MINITRACE            | Tipo: | CICLOTRON         |
| Marca: | SIEMENS          | Modelo: | MEVATRON KD<br>CLASS | Tipo: | ACELERADOR LINEAL |

**1159 ININ, GERENCIA DE CIENCIAS BASICAS**

|        |              |         |                        |       |        |
|--------|--------------|---------|------------------------|-------|--------|
| Marca: | HIGH VOLTAGE | Modelo: | TANDEM VAN DE<br>GRAFF | Tipo: | LINEAL |
|--------|--------------|---------|------------------------|-------|--------|

**1925 INSTITUTO DE RADIOTERAPIA DE MONTERREY, S.A. DE C.V.**

|        |        |         |      |       |        |
|--------|--------|---------|------|-------|--------|
| Marca: | VARIAN | Modelo: | 4/80 | Tipo: | LINEAL |
|--------|--------|---------|------|-------|--------|

**96 INSTITUTO NACIONAL DE CANCEROLOGIA.**

|        |        |         |             |       |        |
|--------|--------|---------|-------------|-------|--------|
| Marca: | VARIAN | Modelo: | CLINAC 600C | Tipo: | LINEAL |
|--------|--------|---------|-------------|-------|--------|

|        |        |         |                 |       |        |
|--------|--------|---------|-----------------|-------|--------|
| Marca: | VARIAN | Modelo: | CLINAC 2100 C/D | Tipo: | LINEAL |
|--------|--------|---------|-----------------|-------|--------|

**212 INSTITUTO NACIONAL DE NEUROLOGIA Y NEUROCIRUGIA**

|        |           |         |         |       |        |
|--------|-----------|---------|---------|-------|--------|
| Marca: | BRAIN LAB | Modelo: | NOVALIS | Tipo: | LINEAL |
|--------|-----------|---------|---------|-------|--------|

**2764 INSTITUTO ONCOLÓGICO DE MORELOS, S.A. DE C.V.**

|        |        |         |             |       |        |
|--------|--------|---------|-------------|-------|--------|
| Marca: | VARIAN | Modelo: | CLINAC 600C | Tipo: | LINEAL |
|--------|--------|---------|-------------|-------|--------|

**2702 INSTITUTO ONCOLÓGICO MEXIQUENSE, S.A. DE C.V.**

|        |        |         |               |       |        |
|--------|--------|---------|---------------|-------|--------|
| Marca: | VARIAN | Modelo: | CLINAC 2100 D | Tipo: | LINEAL |
|--------|--------|---------|---------------|-------|--------|

**2118 INSTITUTO REGIONAL DE TRATAMIENTO DEL CANCER, S. A. DE C. V.**

|        |        |         |       |       |        |
|--------|--------|---------|-------|-------|--------|
| Marca: | VARIAN | Modelo: | 6/100 | Tipo: | LINEAL |
|--------|--------|---------|-------|-------|--------|

**2251 JORGE JESUS RODRIGUEZ PERAL**

|        |        |         |       |       |        |
|--------|--------|---------|-------|-------|--------|
| Marca: | VARIAN | Modelo: | 6/100 | Tipo: | LINEAL |
|--------|--------|---------|-------|-------|--------|

**2033 MEDI SYSTEMS, S.A. DE C.V.**

|        |                  |         |            |       |        |
|--------|------------------|---------|------------|-------|--------|
| Marca: | GENERAL ELECTRIC | Modelo: | SATURNO 41 | Tipo: | LINEAL |
|--------|------------------|---------|------------|-------|--------|

**1268 MEDICA SUR, S.A. DE C.V.**

|        |        |         |       |       |        |
|--------|--------|---------|-------|-------|--------|
| Marca: | VARIAN | Modelo: | 2100C | Tipo: | LINEAL |
|--------|--------|---------|-------|-------|--------|

**2396 ONCOLOGIA MUGUERZA, S.A. DE C.V.**

|        |        |         |             |       |        |
|--------|--------|---------|-------------|-------|--------|
| Marca: | VARIAN | Modelo: | CLINAC 600C | Tipo: | LINEAL |
|--------|--------|---------|-------------|-------|--------|

|        |        |         |           |       |        |
|--------|--------|---------|-----------|-------|--------|
| Marca: | VARIAN | Modelo: | CLINAC 18 | Tipo: | LINEAL |
|--------|--------|---------|-----------|-------|--------|

**2153 RADIOTERAPIA GUADALUPE AMOR Y BIEN, S.A. DE C.V.**

|        |         |         |    |       |                   |
|--------|---------|---------|----|-------|-------------------|
| Marca: | PHILIPS | Modelo: | SU | Tipo: | ACELERADOR LINEAL |
|--------|---------|---------|----|-------|-------------------|

**2774 SERVICIOS DE SALUD DEL ESTADO DE PUEBLA**

|        |        |         |             |       |    |
|--------|--------|---------|-------------|-------|----|
| Marca: | VARIAN | Modelo: | CLINAC 21EX | Tipo: | IA |
|--------|--------|---------|-------------|-------|----|

**1846 SERVICIOS ONCOLÓGICOS DEL NORESTE, S.A. DE C.V.**

|        |        |         |              |       |        |
|--------|--------|---------|--------------|-------|--------|
| Marca: | VARIAN | Modelo: | CLINAC 6/100 | Tipo: | LINEAL |
|--------|--------|---------|--------------|-------|--------|

|        |        |         |       |       |        |
|--------|--------|---------|-------|-------|--------|
| Marca: | VARIAN | Modelo: | 4/100 | Tipo: | MEDICO |
|--------|--------|---------|-------|-------|--------|

**85 U.M.A.E. HOSPITAL DE ESPECIALIDADES CENTRO MEDICO NACIONAL DE OCCIDENTE  
- IMSS**

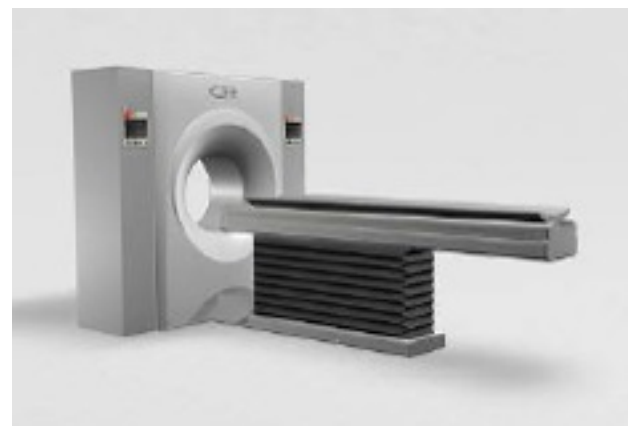
|        |         |         |             |       |    |
|--------|---------|---------|-------------|-------|----|
| Marca: | SIEMENS | Modelo: | MEVATRON 74 | Tipo: | IB |
|--------|---------|---------|-------------|-------|----|

|        |           |         |         |       |                          |
|--------|-----------|---------|---------|-------|--------------------------|
| Marca: | BRAIN LAB | Modelo: | NOVALIS | Tipo: | LINEAL PARA RADIOCIRUGIA |
|--------|-----------|---------|---------|-------|--------------------------|

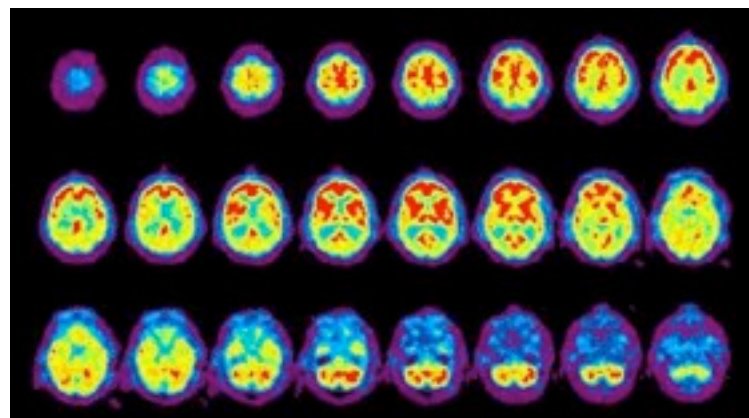
## CTI RDS 111 PET Ciclotrón



acelerador  
de protones  
a 11 MeV



producir Fluor 18 ... radionuclido  
emisor de positrones ... para  
la síntesis de *2 fluoro 2 desoxi D  
glucosa* 18FDG



**El impacto en la física del siglo XX fue enorme**

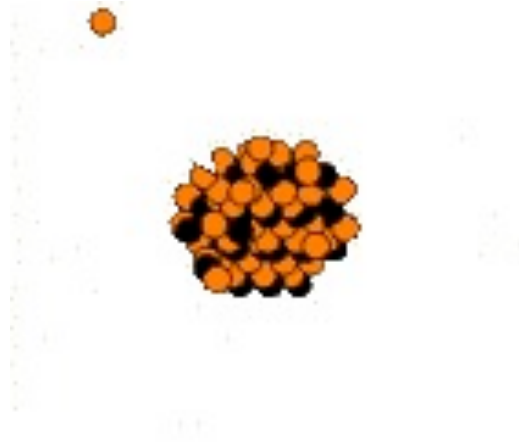
**La tendencia es tal que el impacto en ciencia y tecnología de los aceleradores en el siglo XXI será enorme.**

# I Mexican Workshop on Accelerator Physics: a Light Source



24-27 de enero, 2007 - Physics Department - CINVESTAV

**Energía → Energía Nuclear**



washingtonpost.com

## **Going Nuclear**

A Green Makes the Case

By Patrick Moore

Sunday, April 16, 2006; B01



In the early 1970s when I helped found Greenpeace, I believed that nuclear energy was synonymous with nuclear holocaust, as did most of my compatriots. That's the conviction that inspired Greenpeace's first voyage up the spectacular rocky northwest coast to protest the testing of U.S. hydrogen bombs in Alaska's Aleutian Islands. Thirty years on, my views have changed, and the rest of the environmental movement needs to update its views, too, because nuclear energy may just be the energy source that can save our planet from another possible disaster: catastrophic climate change.

<http://www.washingtonpost.com/wp-dyn/content/article/2006/04/14/AR2006041401209.html>

washingtonpost.com

## **Going Nuclear**

A Green Makes the Case

By Patrick Moore

Sunday, April 16, 2006; B01



In the early 1970s when I helped found Greenpeace, I believed that nuclear energy was synonymous with nuclear holocaust, as did most of my compatriots.

That's the conviction that inspired Greenpeace's first voyage up the spectacular rocky northwest coast to protest the testing of U.S. hydrogen bombs in Alaska's Aleutian Islands.

Thirty years on, my views have changed, and the rest of the environmental movement needs to update its views, too, because nuclear energy may just be the energy source that can save our planet from another possible disaster: catastrophic climate change.

<http://www.washingtonpost.com/wp-dyn/content/article/2006/04/14/AR2006041401209.html>

... señala que las mas de 600 plantas electricas que utilizan carbón en EU, generan 36% de las emisiones de dióxido de carbón (CO2) del país y casi el 10% del total mundial

# DIARIOMONITOR

COMPROMETIDO CON LA VERDAD

TEMPERATURA:  
Min. 12° - Máx. 28°



Martes 25 de Abril, 2006

TERESA BOUZA

## Energía nuclear gana adeptos

La metamorfosis de Patrick Moore, uno de los dos fundadores de Greenpeace, es un ejemplo de los nuevos tiempos que corren en el debate sobre la energía nuclear, que vuelve a ganar fuerza al cumplirse 20 años de la tragedia de Chernóbil.

A principios de la década de los 70, cuando ayudó a crear el grupo ecologista Greenpeace, Moore creía que la energía nuclear era sinónimo de holocausto nuclear.

Treinta años más tarde, su opinión ha cambiado, según explicó este mes en el diario "The Washington Post".

En una columna titulada "Convertirse en nuclear: un verde argumenta a favor", Moore señala que "la energía nuclear puede ser la fuente que salve a al planeta de otro posible desastre: un catastrófico cambio climático".

Moore, que ya no forma parte de Greenpeace, señala que las más de 600 plantas eléctricas que utilizan carbón en EU generan el 36 por ciento de las emisiones de dióxido de carbono (CO2) del país y casi el 10 por ciento del total mundial.

El principal responsable del cambio climático en el planeta.

Ante esa situación, el ex ecologista cree que "la energía nuclear es la única fuente competitiva de energía a gran escala que puede reducir esas emisiones y satisfacer al mismo tiempo la creciente demanda energética".

Moore opina que otros de nuevos tecnológicos las plantas nucleares pueden cumplir ese objetivo de forma segura.

Moore no es el único ecologista reconvertido en defensor de la energía nuclear.

El famoso científico británico James Lovelock -creador de la Hipótesis Gaia sobre el funcionamiento de la vida en la Tierra- y el también británico Hugh Montefiore, miembro durante mucho tiempo de "Friends of the Earth", son otros de los prominentes "verdes" a favor de la energía nuclear.

Moore, Lovelock y Montefiore forman parte de una tendencia que amplía una especie de "renacer" de la energía nuclear, cuyo avance se aceleró tras el fallo en un reactor de la central de

Mile Island, en marzo de 1979, y se abandonó o dejó de prosperar en otros países tras el catastrófico accidente en la planta nuclear ucraniana de Chernóbil hace ahora 20 años.

Prueba de ese renacer es el próximo informe anual de la Agencia Internacional de la Energía, que se publicará en noviembre y que, según adelantó esta semana el diario británico "Financial Times" respaldará por primera vez la energía nuclear.

El informe destaca, según el "Financial Times", que existe un mayor apoyo a esa forma de energía lo que, según la Agencia, podría poner fin a décadas de moratoria y a la paralización de reactores nucleares que tuvo lugar tras Chernóbil.

Los 21 miembros de la Agencia respaldan el estudio, según el diario británico,

porque sus promotores son muy dispuestos a asumir los riesgos de la energía nuclear. En el informe se menciona que España, Gran Bretaña, Italia y Suecia ya han comenzado a construir nuevas plantas nucleares. El informe también menciona que la energía por medio de los reactores nucleares es la única que puede reducir esas emisiones

La nueva ley energética estadounidense defiende la energía nuclear y la Casa Blanca insiste en que es una opción, junto con las fuentes renovables, ante los elevados precios del crudo.

No falta tampoco quien contemple este revivir con ansiedad.

Los críticos, como la organización ecologista Sierra Club o la asociación de Union of Concerned Scientists, integrada por científicos, señalan que el apostar con fuerza por esa vía podría estimular una nueva proliferación de armas nucleares.

La imposibilidad de deshacerse de unos residuos que tardan cientos de miles de años en descomponerse y el fantasma de más accidentes preocupa también a los opositores.

Las discrepancias no hacen sino avivar el debate si que tendrían que dar respuesta a las preguntas que se plantean: ¿se debe apostar por la energía nuclear o no la apuesta por "la alternativa verde"? Moore, el fundador del "Friends of the Earth", resume en el planeta.

ante esta situación el ecologista cree que "la energía nuclear es la única fuente competitiva de energía a gran escala que puede reducir esas emisiones

## Patrick Moore, fundador de Greenpeace, se pasa a la energía nuclear

\_ 17.04.06 @ 12:32:50. Archivado en [Personajes](#), [Prensa Internac.](#), [WP](#)

(PD).- Patrick Moore ha entonado el `mea culpa'. Pese a ser uno de los fundadores de Greenpeace, el ecologista escribe en The Washington Post para asegurar que la única alternativa al calentamiento global es la energía nuclear y que se vuelve urgente e imprescindible que los países desarrollados apuesten por ella. Parece una broma, pero no lo es. Patrick Moore ha escrito en The Washington Post [un artículo](#) que levantará ampollas. El fundador del movimiento ecologista más conocido de todos los tiempos se pasa a la energía nuclear. Y lo hace así: "A principio de los setenta, cuando ayudé a fundar Greenpeace, creía que la energía nuclear era sinónimo de holocausto nuclear, tal y como creían la mayoría de mis compatriotas. Esa fue la convicción que inspiró la primera travesía de Greenpeace hacia la espectacular costa rocosa del noroeste para protestar por las pruebas de las bombas estadounidenses de hidrógeno en las islas Aleutian de Alaska. Treinta años después, mis puntos de vista han cambiado, y el resto del movimiento ecologista necesita actualizar sus presuposiciones también, ya que la energía nuclear debería ser exactamente el recurso energético que puede salvar nuestro planeta de otro posible desastre: el catastrófico cambio climático".

[http://blogs.periodistadigital.com/periodismo.php/2006/04/17/patrick\\_moore\\_fundador\\_de\\_greenpeace\\_se](http://blogs.periodistadigital.com/periodismo.php/2006/04/17/patrick_moore_fundador_de_greenpeace_se)

# LA "TRAYECTORIA" NUCLEAR DE MEXICO

**1950:** se crea la Comisión Nacional de Energía Nuclear ( **CNEN**)

**1964:** se construye el Centro de Investigaciones Nucleares de Salazar, que trabaja en el Triga Mark III, el Tandetron y el Pelletron

**1976:** comienza construcción reactores BWR (General Electric) de **Laguna Verde**

**1989:** se conecta a la red Laguna Verde 1 ( 682 MW)

**1994:** se conecta a la red Laguna Verde 2 ( 682 MW)

**2006:** el Secretario de Energía anuncia el posible comisionamiento de una **tercera planta** nuclear para 2008

# Los problemas asociados con la energía nuclear



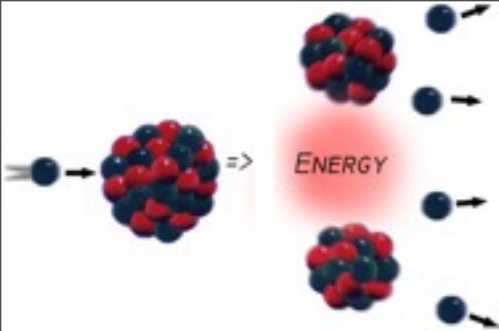
Desechos nucleares

Seguridad ante riesgo de accidentes

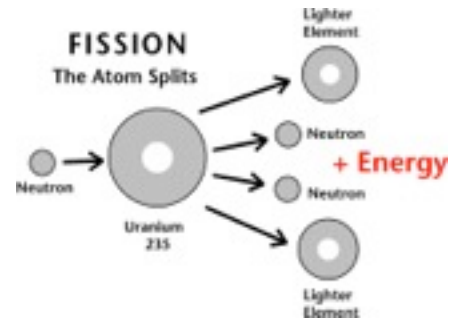
Proliferación de armas nucleares

Hoy existen 1200 reactores de varios tipos y tamaños en el mundo y aproximadamente 445 reactores comerciales en operación unos 30 mas están en construcción y 30 en planeación

Estos 445 contribuyen con el 8 % de la energía total del mundo y con aprox. 17% de la electricidad.



neutron a 2 Km/seg



neutrones a 20,000 Km/seg

es necesario frenarlo con un moderador

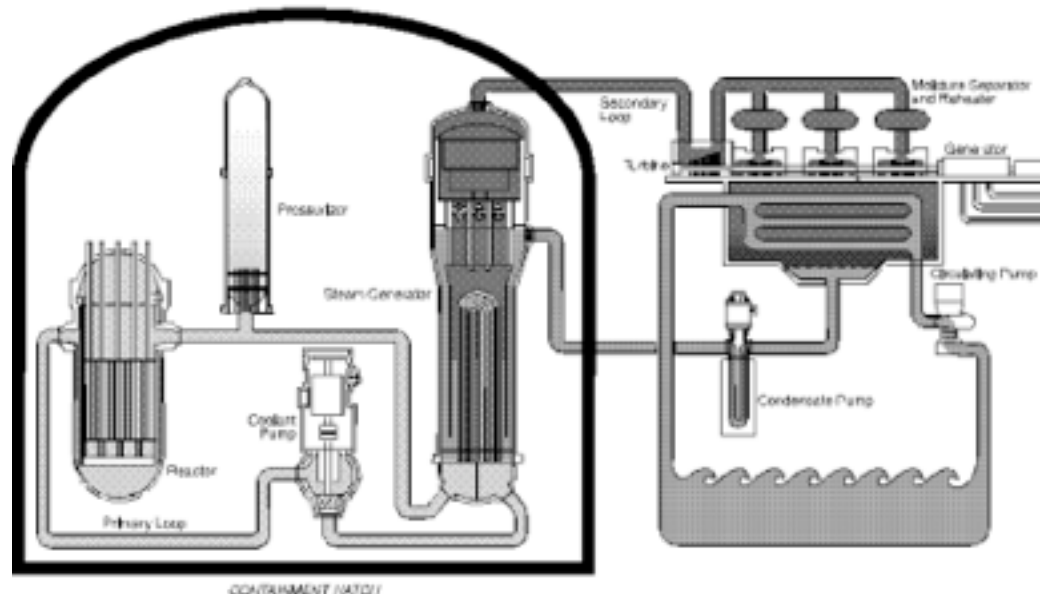
... frenar sin absorber ejemplo:

Grafito

Agua ligera

Agua pesada

Figure FE1. Nuclear Steam Supply System (U-bend Design Steam Generator)

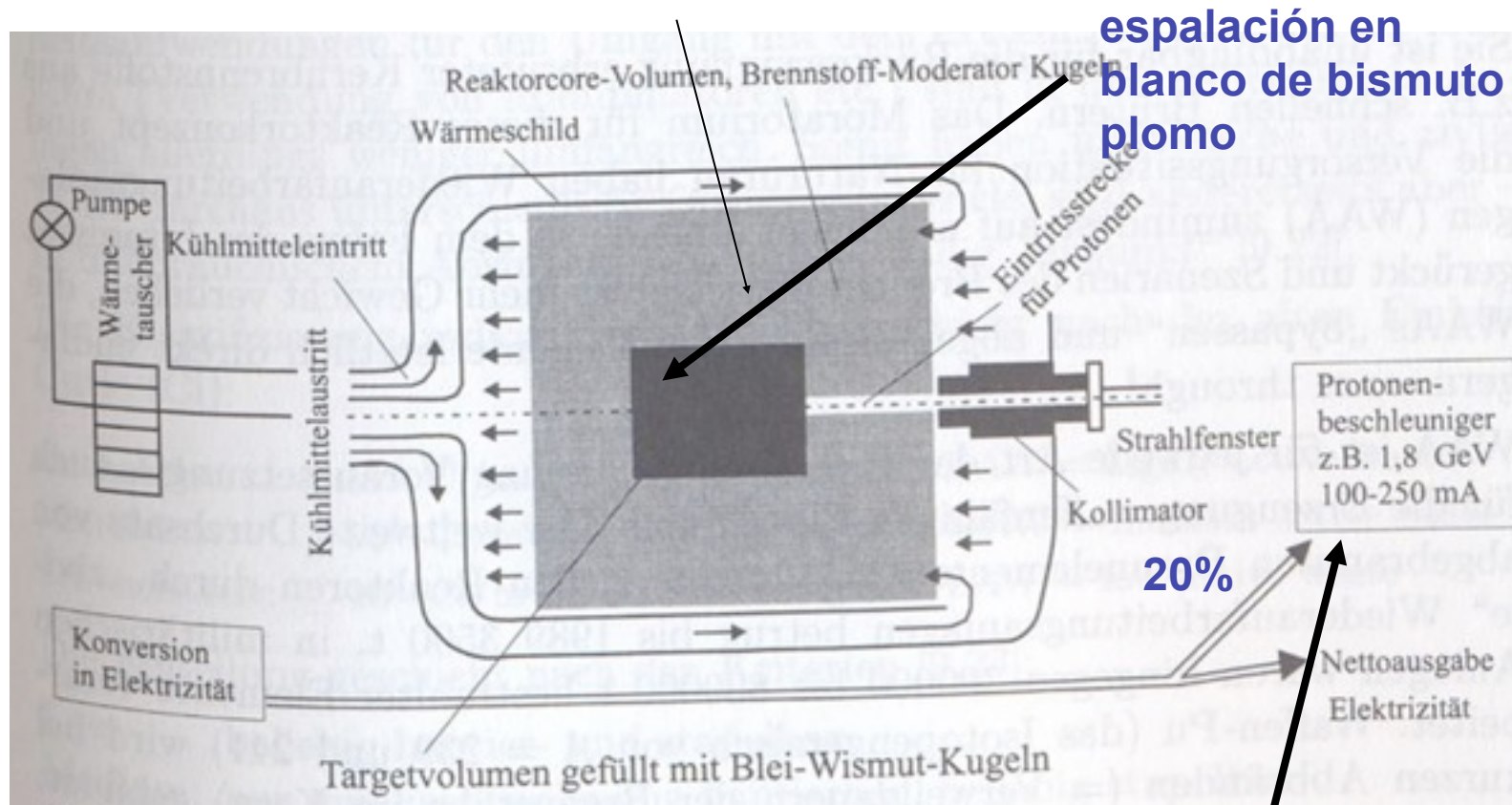


barras de control mantienen la reacción en cadena dentro de los limites deseados

Ejemplo: Carburo de Boro captura neutrones

# Amplificador de Energía

Thorium,  $^{233}\text{U}$

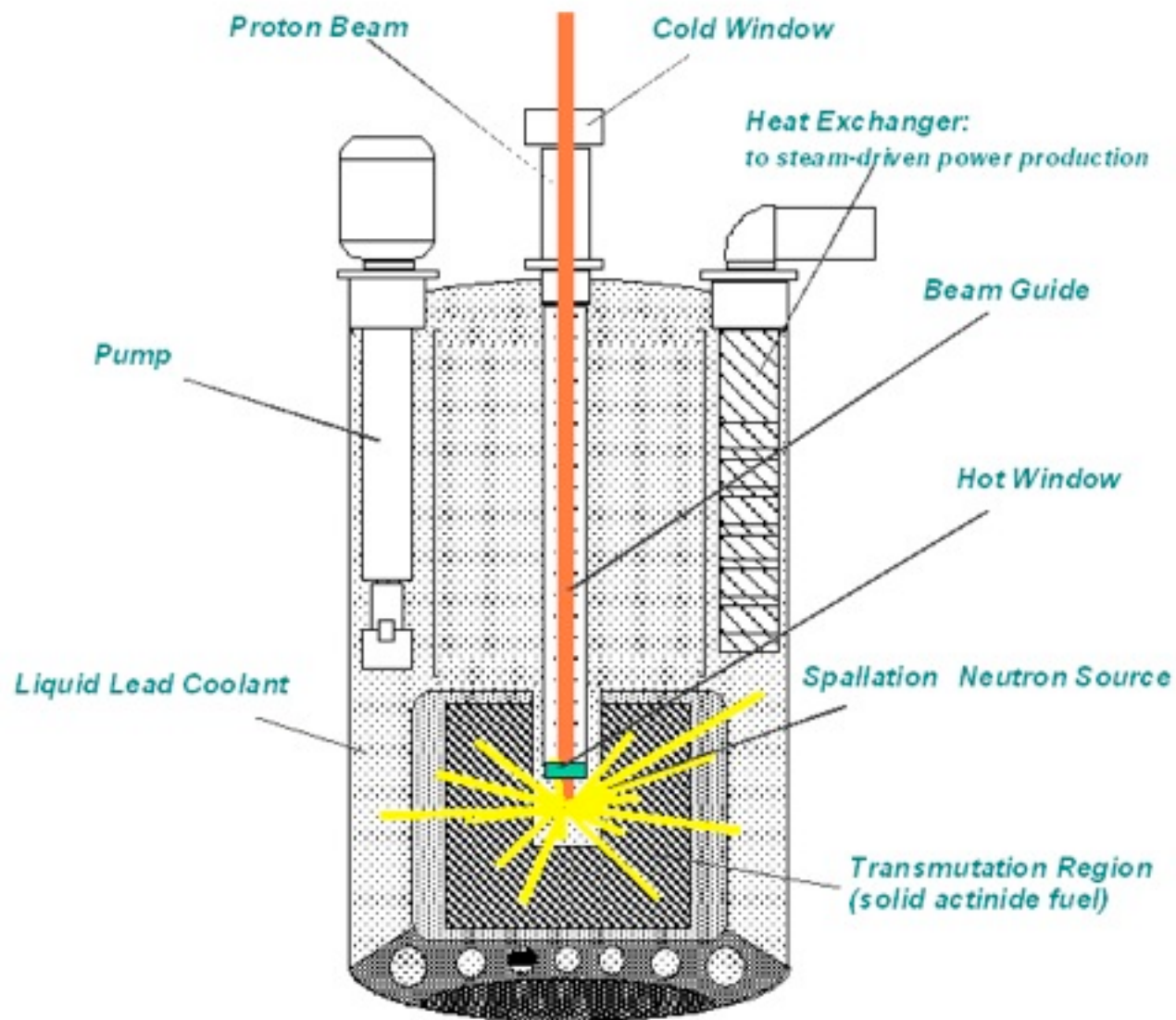


se producen 55 neutrones por reacción  
encendido artificial

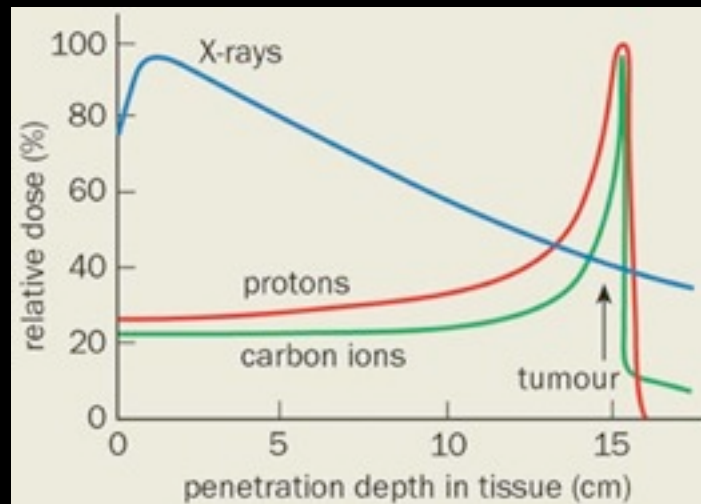
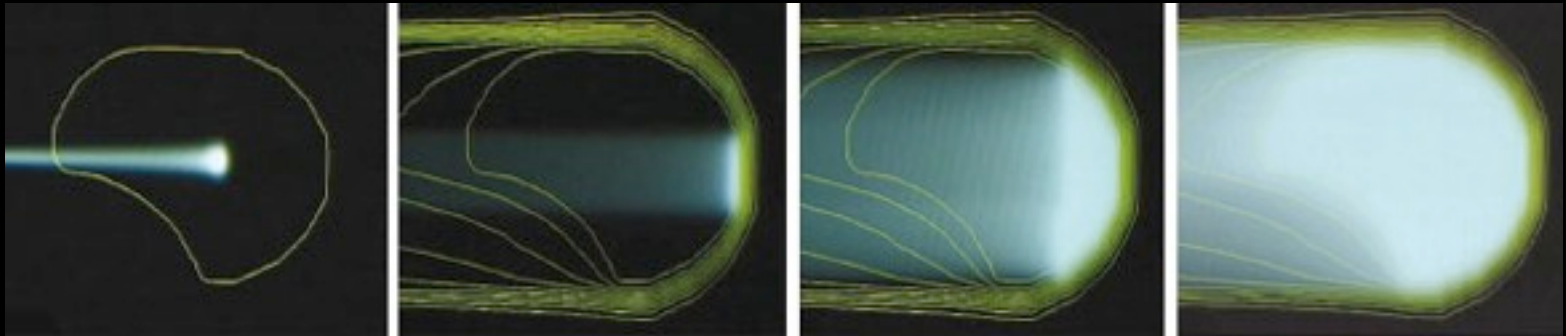
$10^{18}$  Protones/seg

# ATW

## Accelerator-driven Transmutation of Waste



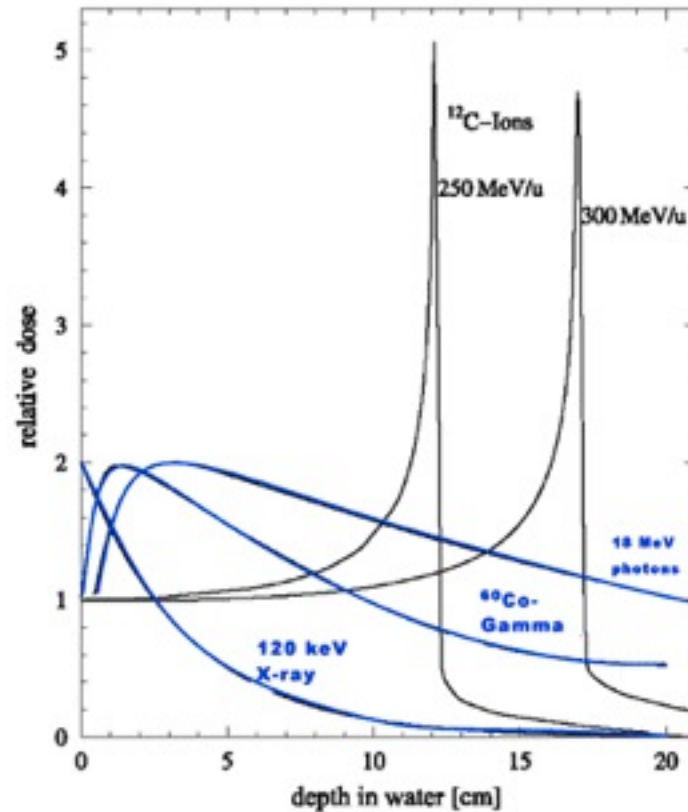
# oncología de mañana hadroterapia



North America = 5 + 8

Europe = 7 + 5 + 1 carbon

Asia = 8 + 3 + 2 carbon



# Comet Cyclotron

Irradiation of Tumours with  
250 MeV Protons

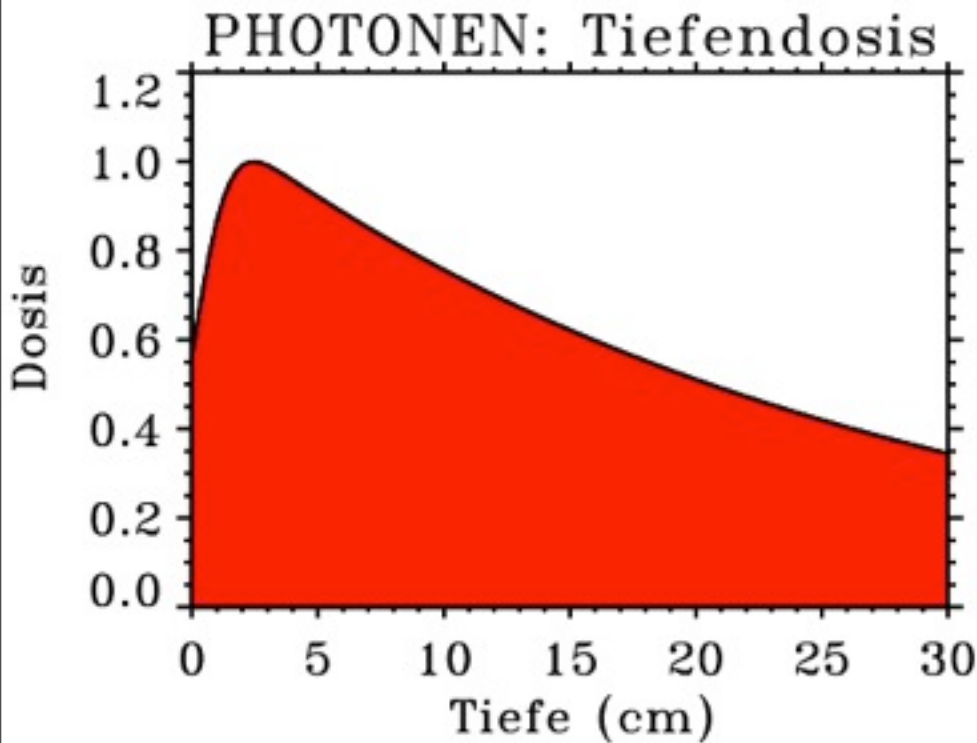
Cyclotron:

superconducting Magnet, 3m Ø

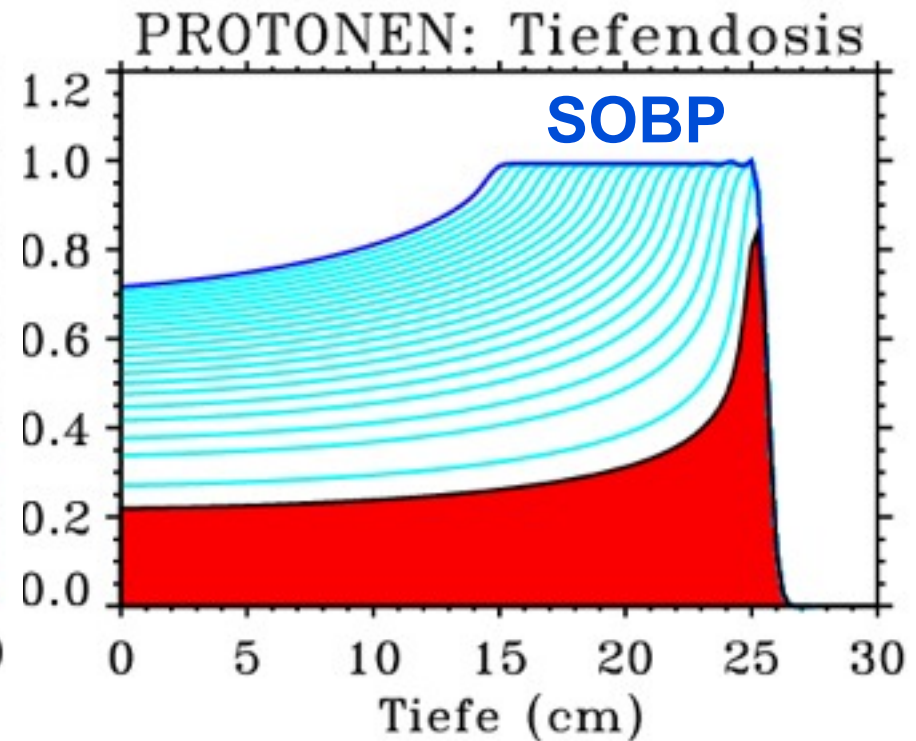
Collaboration of PSI with ACCEL  
(Varian)



## Dose Distribution in human Body

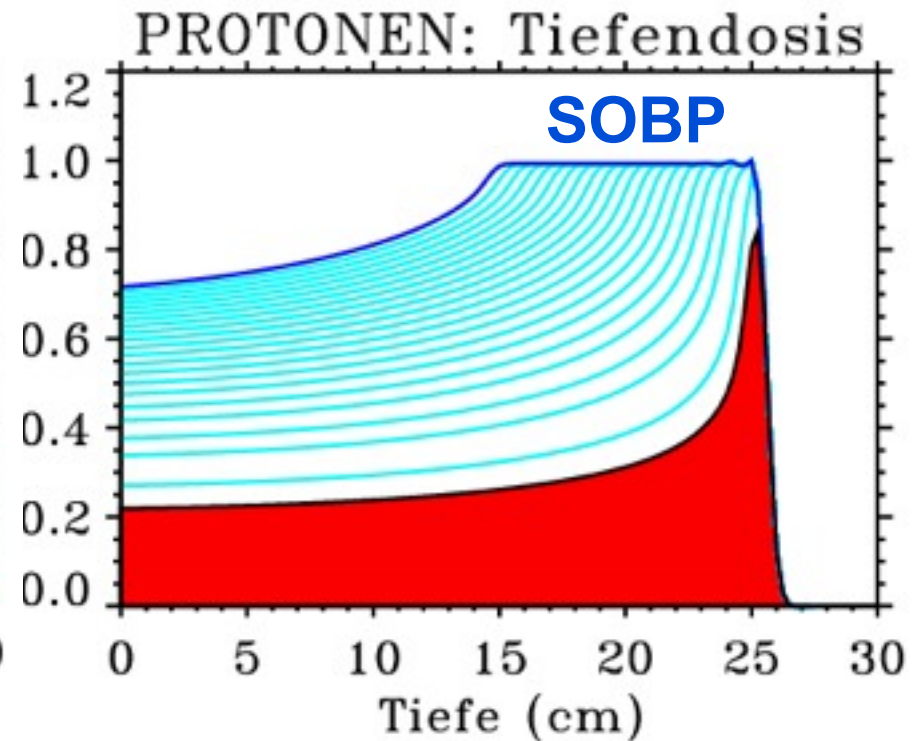
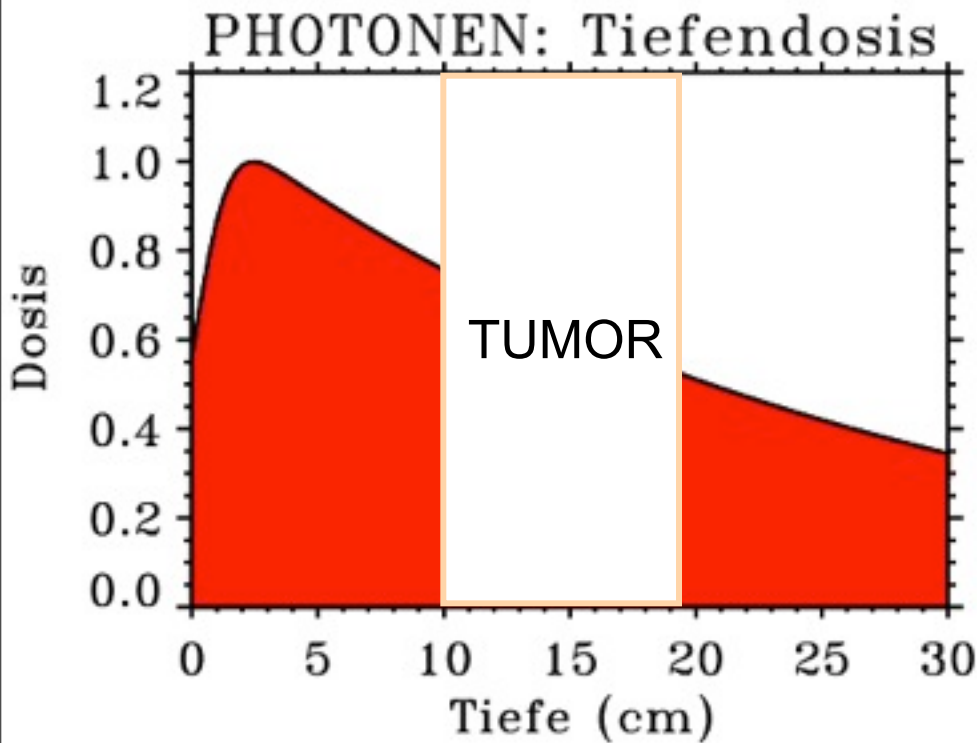


X-rays (Photons): Dose at surface is larger than at site of tumour



Protons have well defined Range (Bragg Peak)

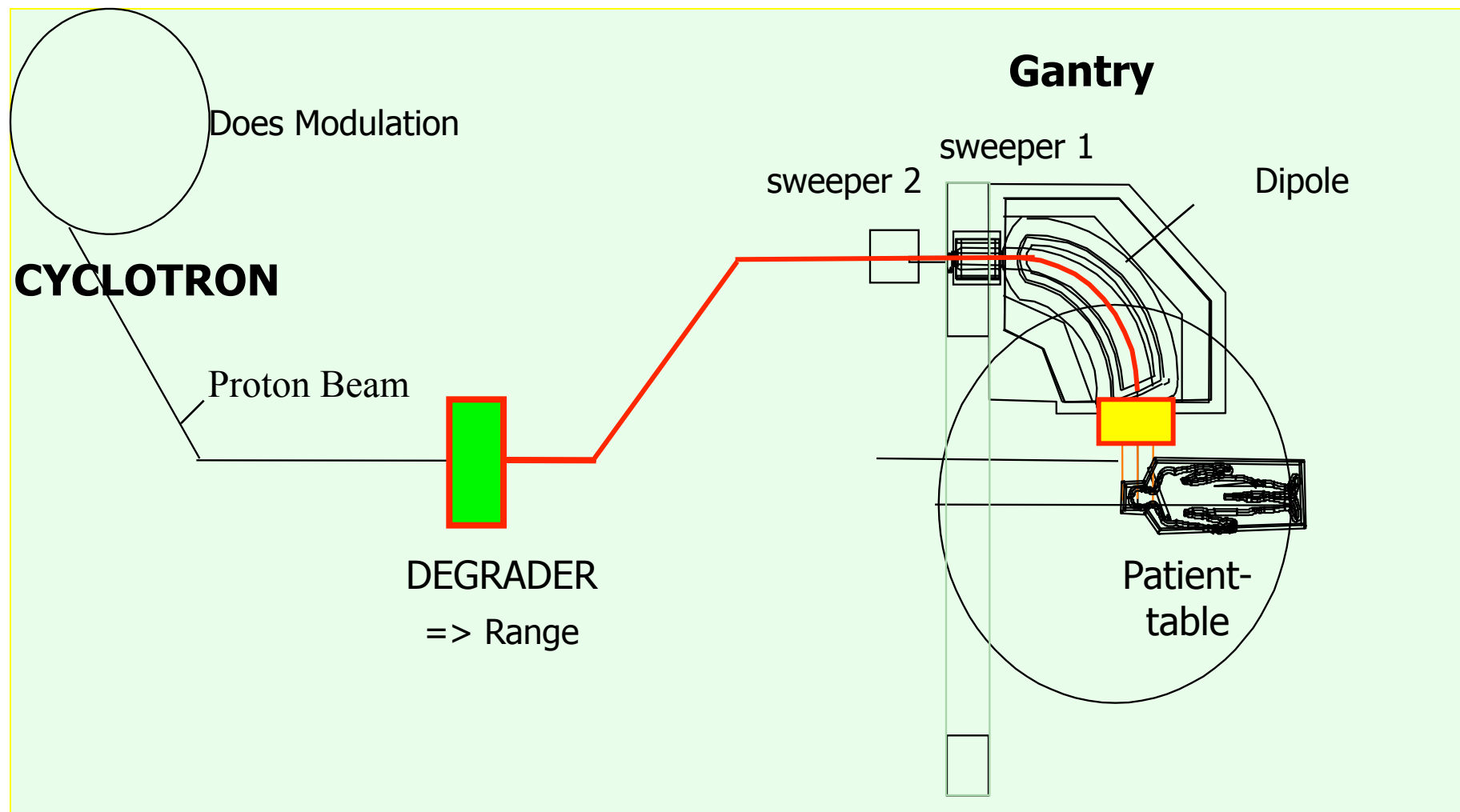
## Dose Distribution in human Body



X-rays (Photons): Dose at surface is larger than at site of tumour

Protons have well defined Range (Bragg Peak)

# Proton Therapy with PROSCAN

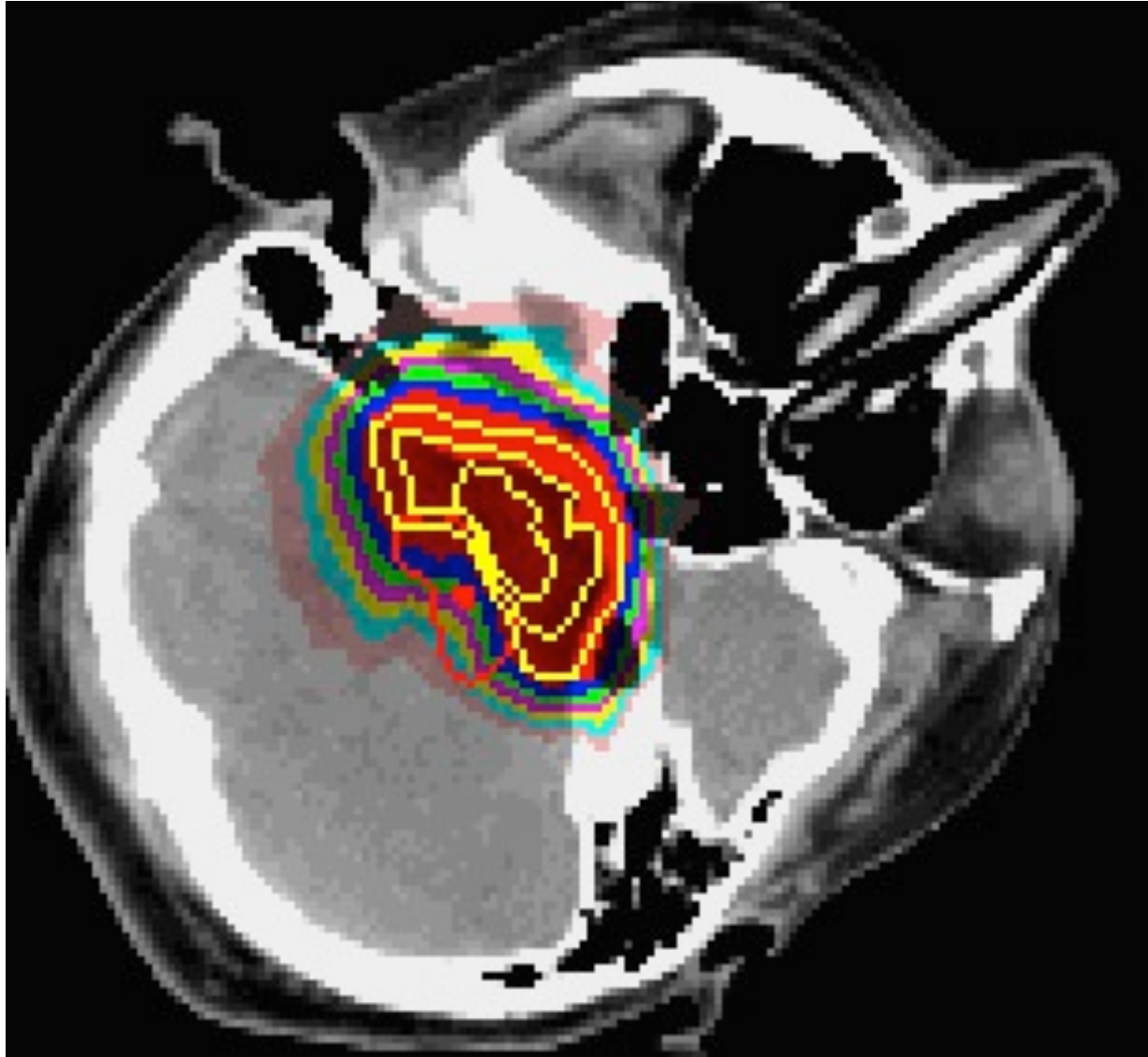




## Proton Therapy

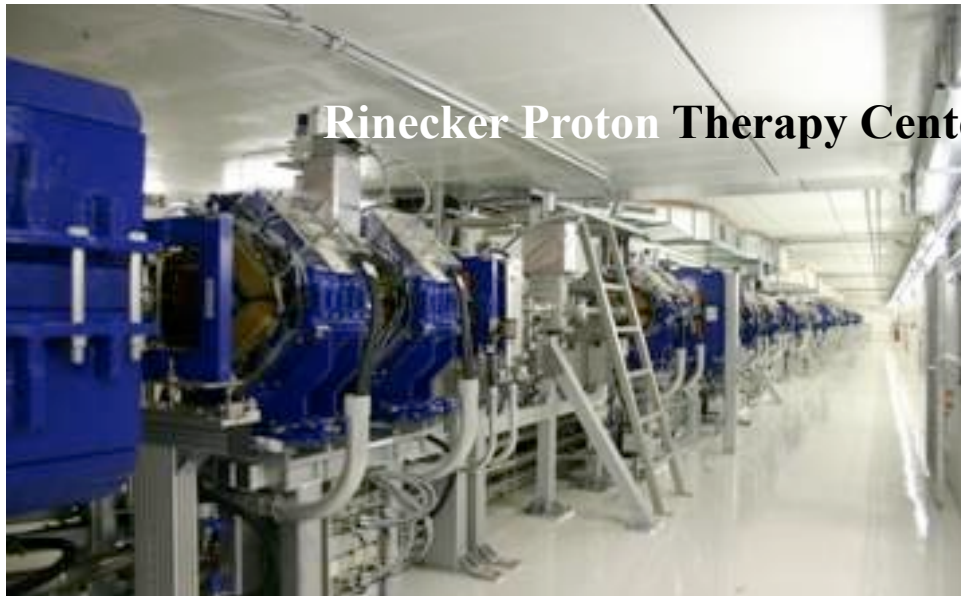
Irradiation of Tumour  
from different Directions  
with Gantry

⇒ minimal Dose at  
Surface



## Brain Tumour

Irradiation with  
Protons by  
Spot-Scanning  
(E.Pedroni, PSI)



**Rinecker Proton Therapy Center RPTC, Munich**

Beam  
Transfer  
Line

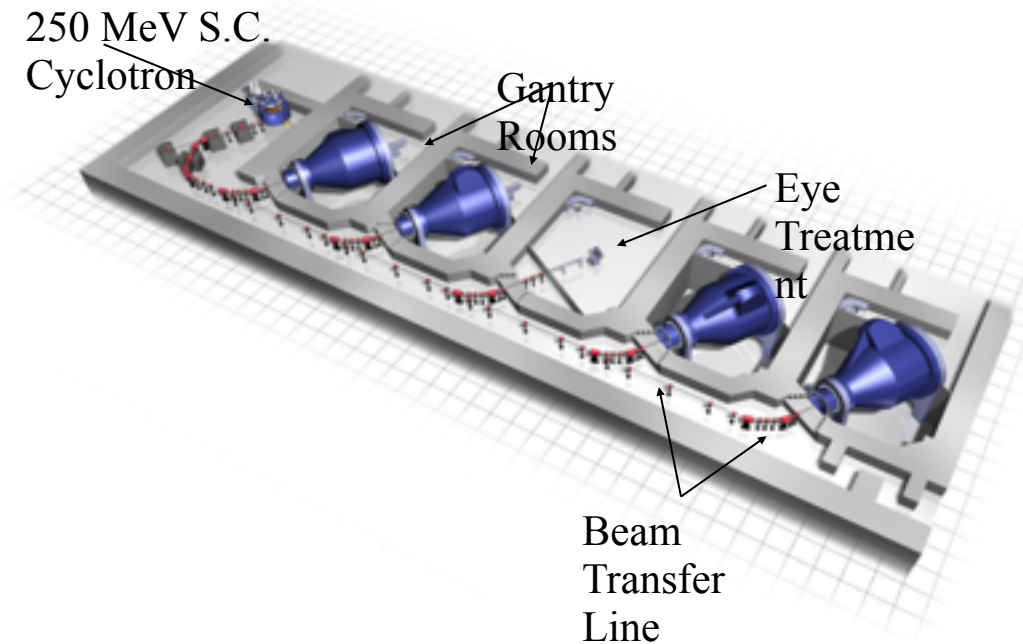
250 MeV S.C.  
Cyclotron

250 MeV S.C.  
Cyclotron

Gantry  
Rooms

Eye  
Treatme  
nt

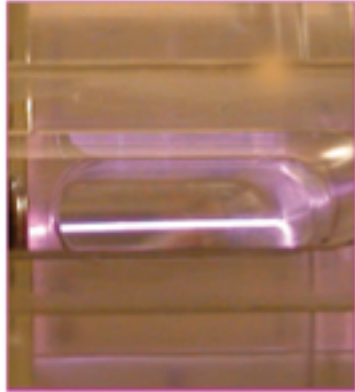
Beam  
Transfer  
Line



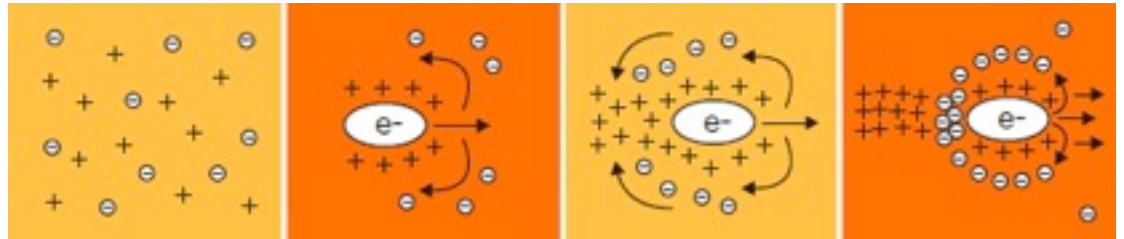
el amanecer de un nuevo día



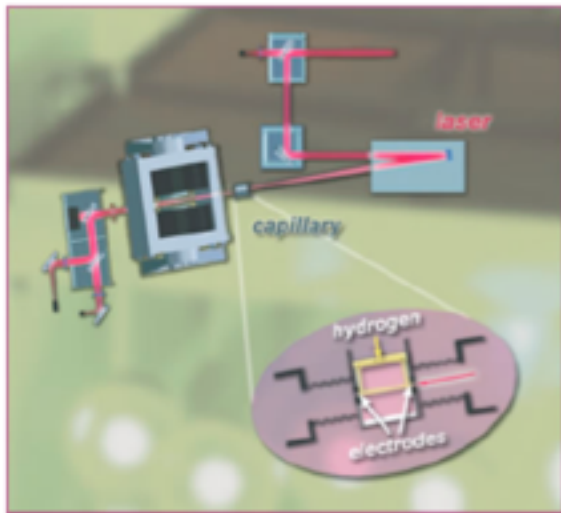
# From zero to a billion electron volts in 3.3 centimeters



The drive laser beam travels through a plasma inside a capillary wave guide in stainless capillary.



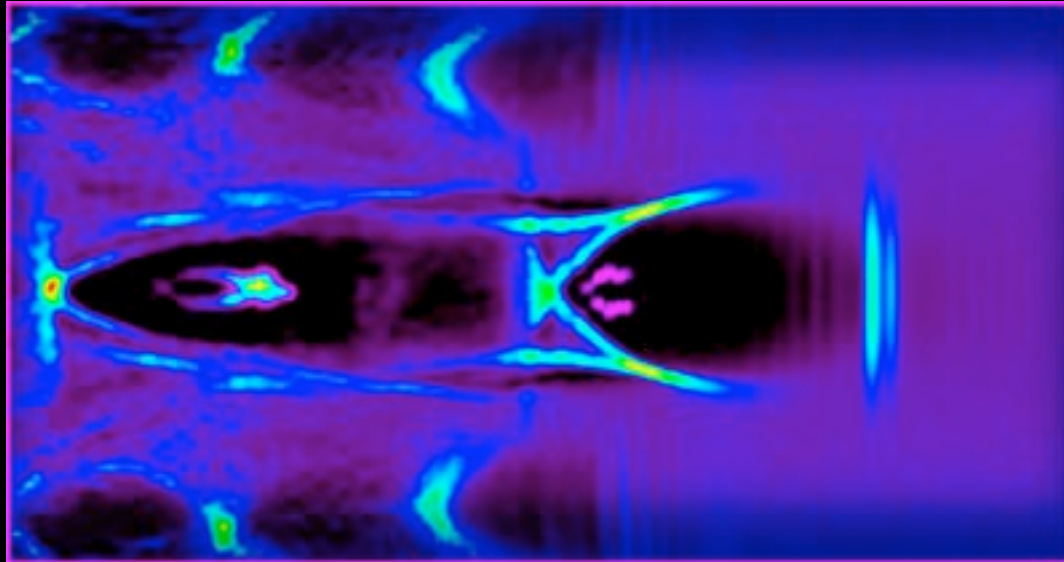
In a precedent-shattering demonstration of the potential of laser-wakefield acceleration, scientists at the Department of Energy's Lawrence Berkeley National Laboratory, working with colleagues at the University of Oxford, have accelerated electron beams to energies exceeding a billion electron volts (1 GeV) in a distance of just 3.3 centimeters. The researchers report their results in the October issue of *Nature Physics*.



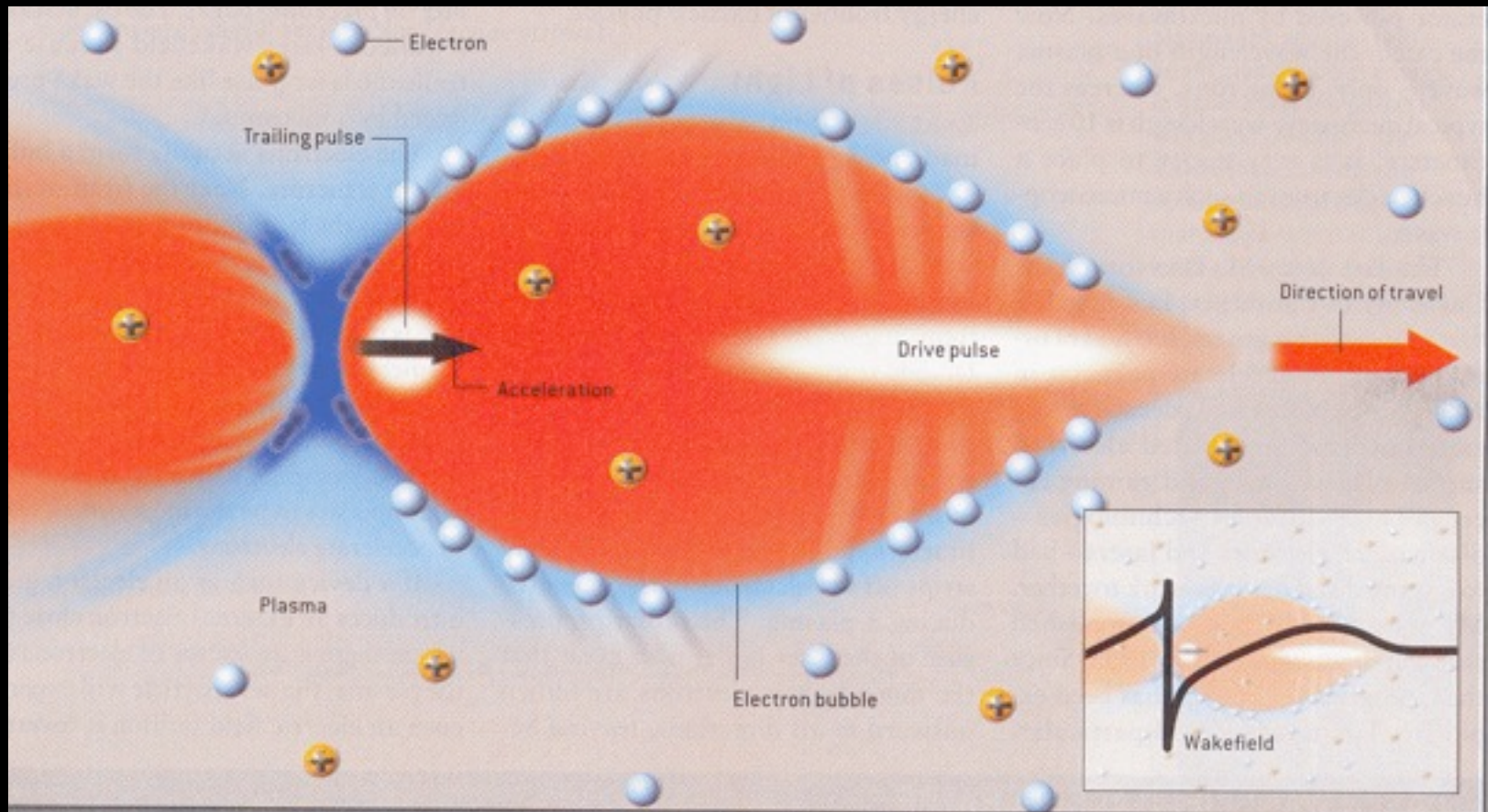
The capillary waveguide is filled with hydrogen gas, and a discharge between electrodes at each end of the waveguide heats the gas and forms a plasma. The laser accelerates the electron beam, which is steered by magnets and monitored by a phosphor screen and synchronized CCD cameras.

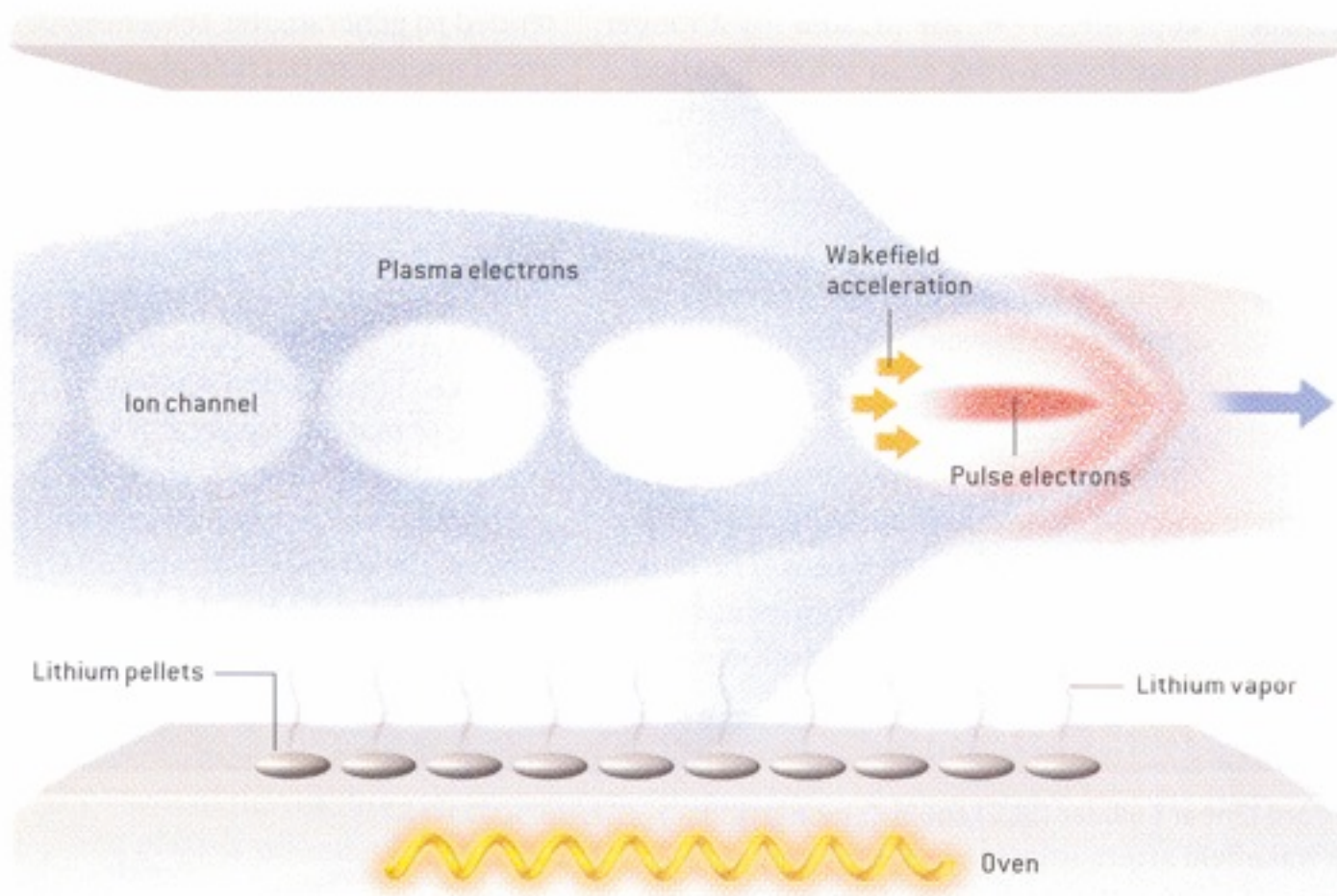
By comparison, SLAC, the Stanford Linear Accelerator Center, boosts electrons to 50 GeV over a distance of two miles (3.2 kilometers) with radiofrequency cavities whose accelerating electric fields are limited to about 20 million volts per meter.

# Wakefield Acceleration

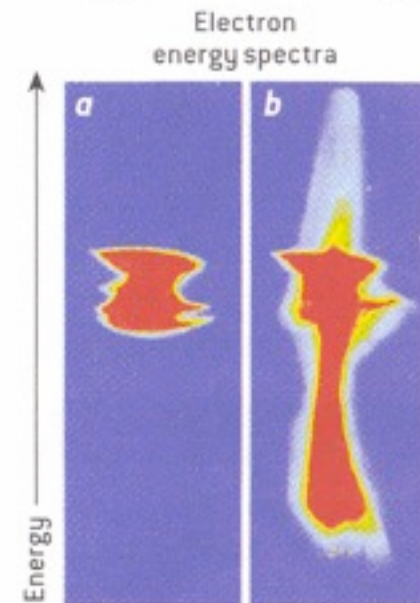


# Wakefield acceleration



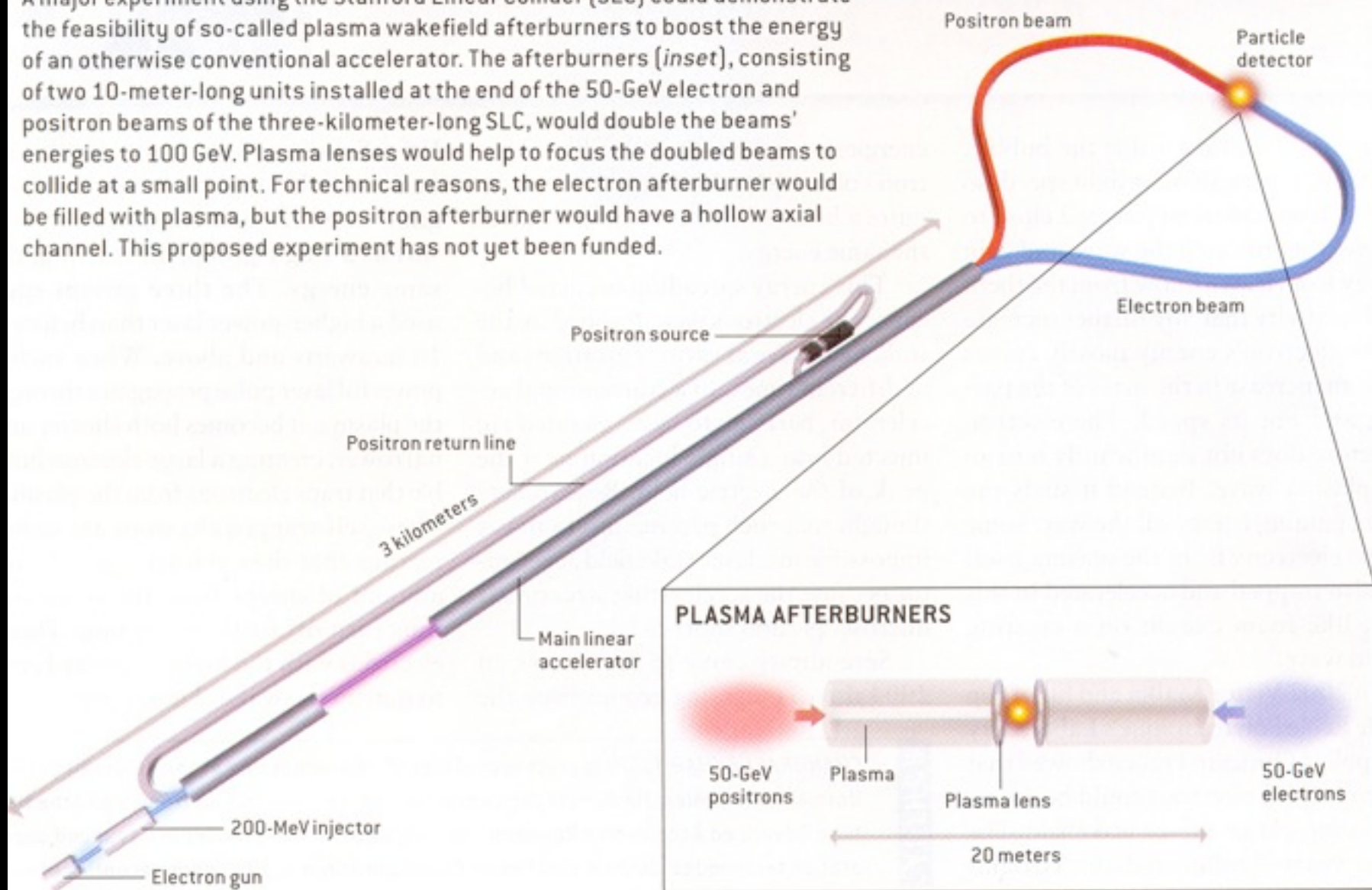


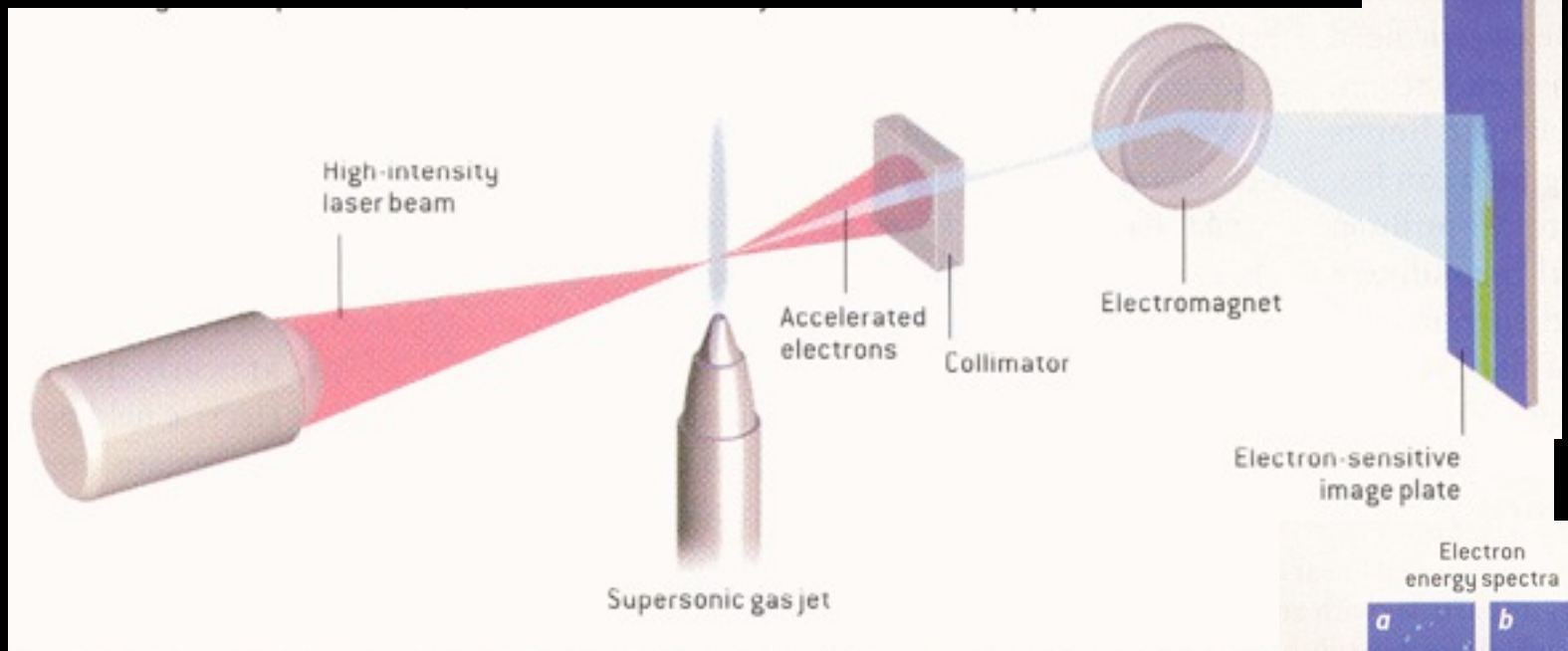
## **Aceleración en una estela de plasma**



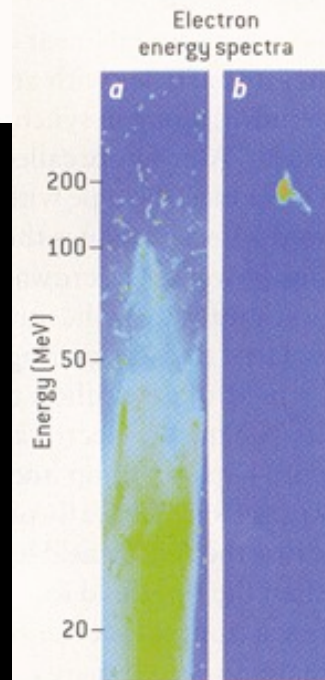
## BOOSTING A CONVENTIONAL ACCELERATOR

A major experiment using the Stanford Linear Collider (SLC) could demonstrate the feasibility of so-called plasma wakefield afterburners to boost the energy of an otherwise conventional accelerator. The afterburners (*inset*), consisting of two 10-meter-long units installed at the end of the 50-GeV electron and positron beams of the three-kilometer-long SLC, would double the beams' energies to 100 GeV. Plasma lenses would help to focus the doubled beams to collide at a small point. For technical reasons, the electron afterburner would be filled with plasma, but the positron afterburner would have a hollow axial channel. This proposed experiment has not yet been funded.





## Aceleración en una estela de plasma con láser

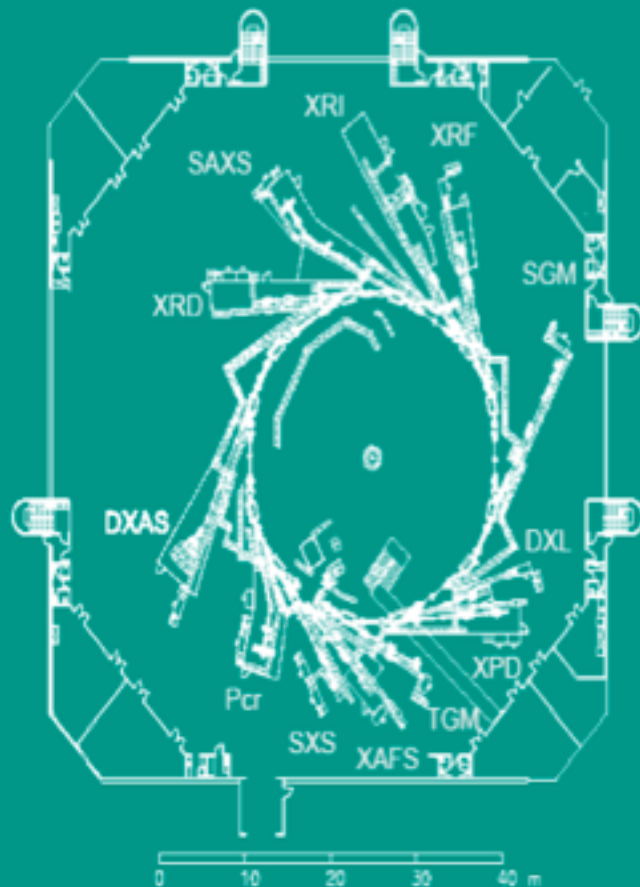


enero

2007

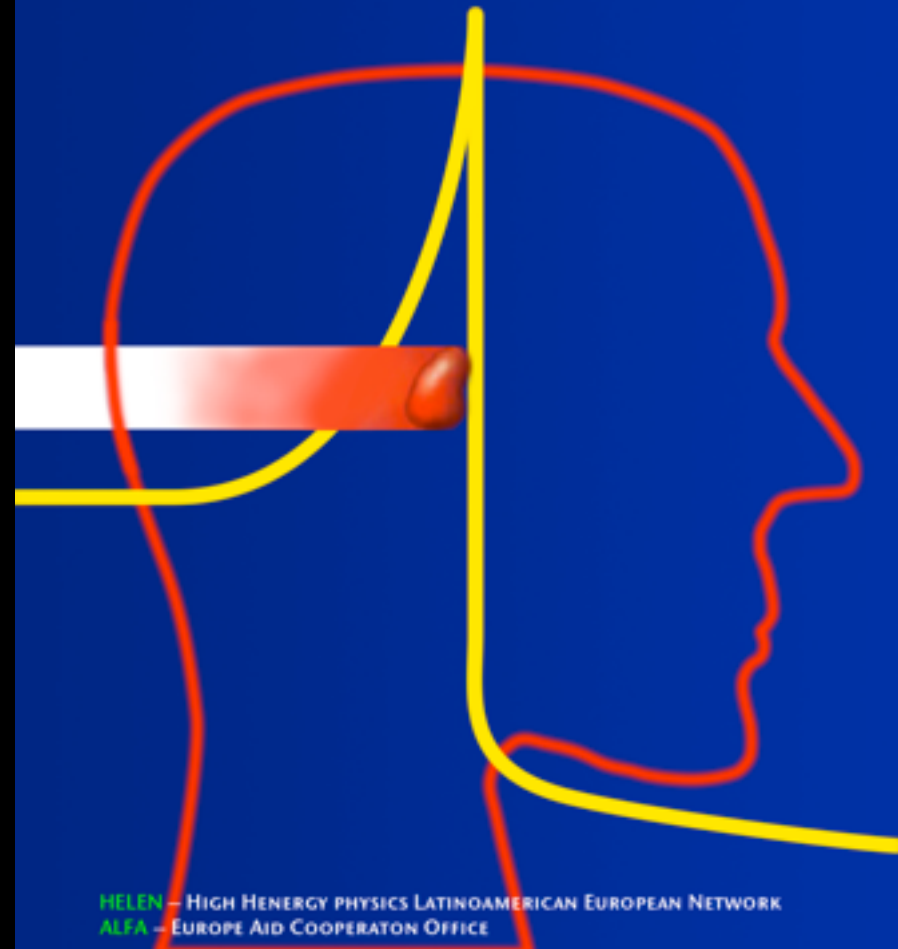
mayo

## Desarrollo de Aceleradores de Partículas. Fuente de Luz de Sincrotrón



# HADRONTHERAPY WORKSHOP

CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y ESTUDIOS AVANZADOS  
INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL  
MEXICO DF, MEXICO, 28TH-30TH MAY, 2007



## *II Taller Mexicano de Física de Aceleradores: Una Fuente de Luz*

*II Mexican Workshop on Accelerator Physics: a Light Source*

Puerto Vallarta, México  
November 22-24, 2010

### *Invited Speakers:*

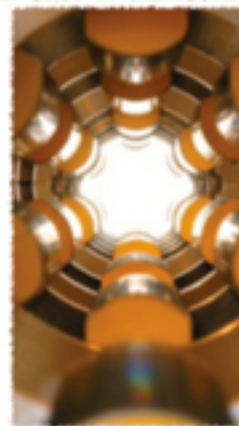
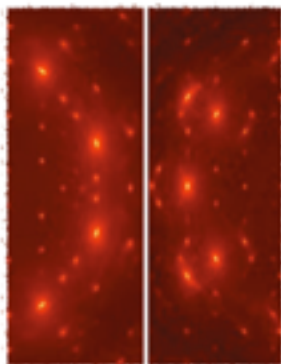
Joan Bordas, ALBA, Spain

Robert Hettel, SLAC, USA

Boris Podobedov, BNL, USA

José Roque, LNLS, Brazil

Hanspeter Vogel, Research Instruments, Germany



Additional information and registration  
[www.fisica.unam.mx/matias/iimwpa](http://www.fisica.unam.mx/matias/iimwpa)  
[armando@fis.unam.mx](mailto:armando@fis.unam.mx)

### Organizing Committee

Armando Antillón, UNAM, Ciencias Físicas

Guillermo Contreras, Cinvestav, Mérida

Gerardo Herrera, Cinvestav, D.F.

Ricardo López, Cinvestav, D.F.

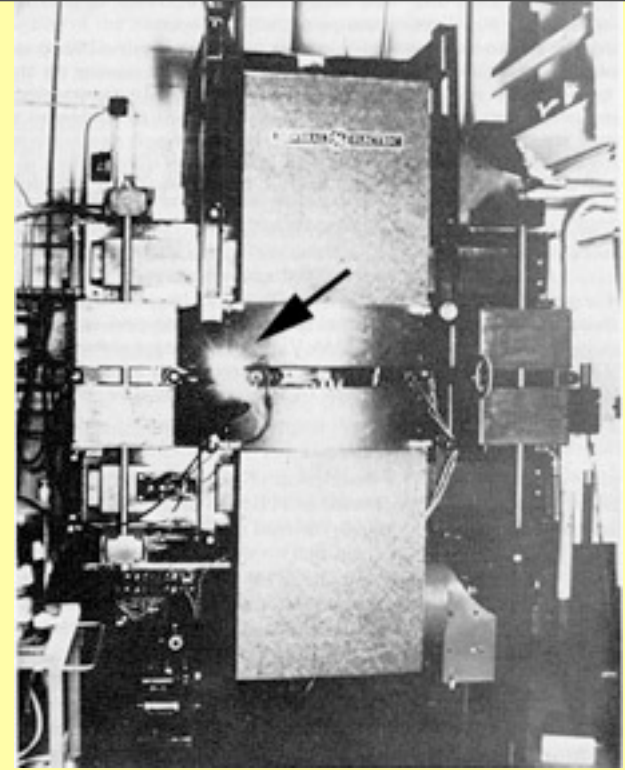
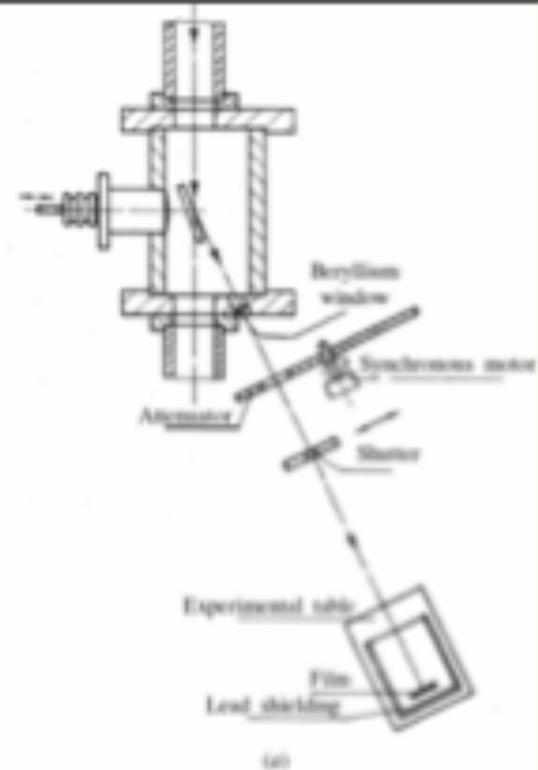
Matías Moreno, UNAM, Física

Tomás Viveros, Conacyt

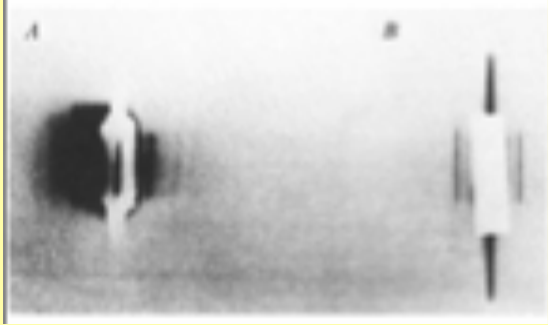
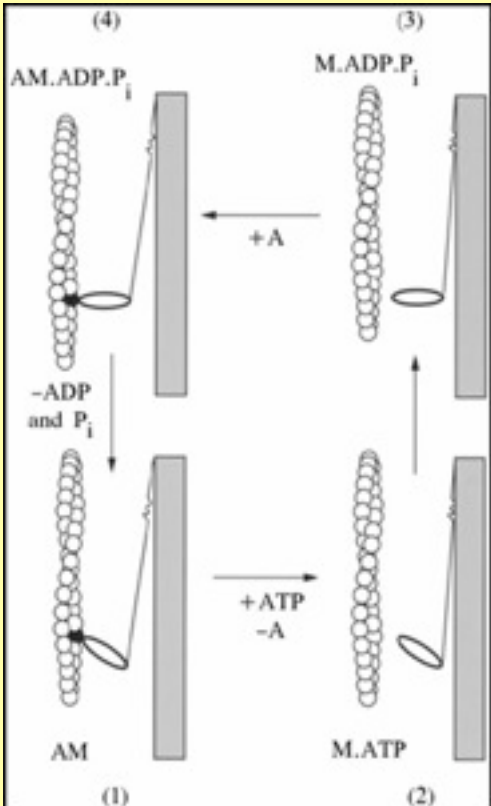
SR first observed - 1946  
J. Blewett

1947 - 70 MeV  
synchrotron  
Pollock H. C. *et al.*

1949 J. Schwinger 'On the  
classical radiation of accelerated  
electrons' *Phys Rev.* 75, 1912  
**-definitive theoretical work.**



70 MeV electron synchrotron  
General Electric Research Lab



first SR image  
of muscle - 1972

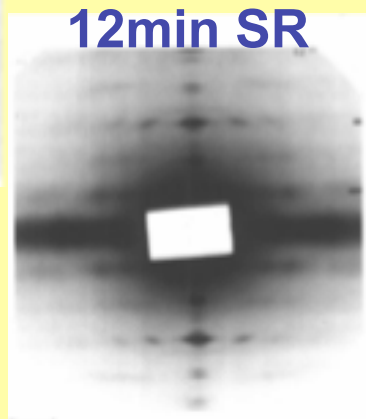


Figure 5  
X-ray diagram from resting muscle, synchrotron radiation source (beamline E33) on the storage ring DORIS at DESY (Hamburg). 12 min exposure (film).

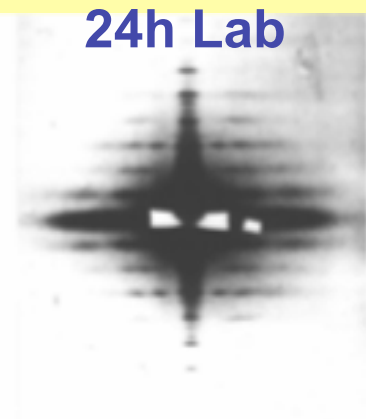


Figure 6  
X-ray diagram from frog muscle, laboratory X-ray source (GDR), source-microfilm camera. 24 h exposure.

# Nobel Prizes based on discoveries through X-ray work

## Physics

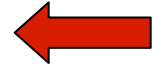
1901 Wilhelm Röntgen  
1914 Max von Laue  
1915 Sir William Henry Bragg  
Sir William Lawrence Bragg  
1917 Charles Barkla  
1924 Karl Manne Siegbahn  
1927 Arthur Compton  
1981 Kai Siegbahn

## Physiology or Medicine

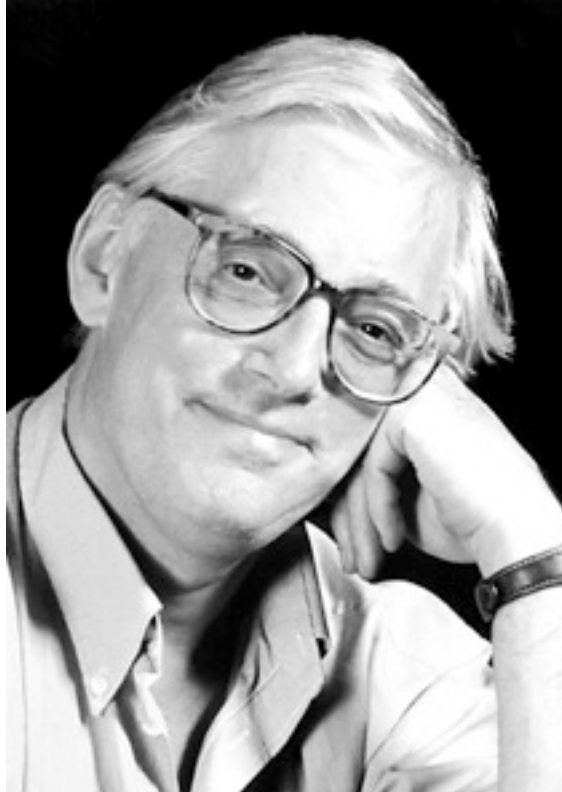
1946 Hermann Joseph Muller  
1962 Francis Crick,  
James Watson  
Maurice Wilkins  
1979 Alan M. Cormack  
Sir Godfrey N. Hounsfield

## Chemistry

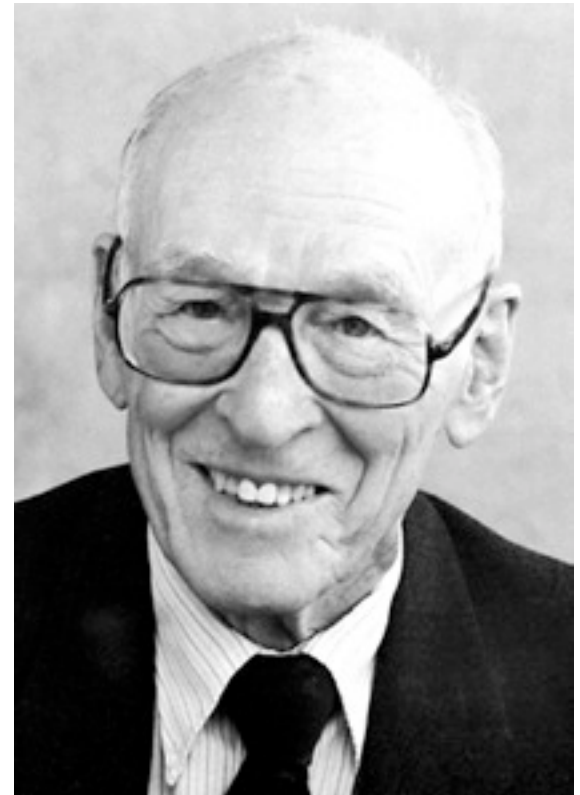
1936 Peter Debye  
1962 Max Perutz  
Sir John Kendrew  
1964 Dorothy Hodgkin  
1976 William Lipscomb  
1985 Herbert Hauptman  
Jerome Karle  
1988 Johann Deisenhofer  
Robert Huber  
Hartmut Michel  
1997 Paul D. Boyer  
John E. Walker



## 1997 Nobel Prize in Chemistry Awarded to John Walker and Paul D. Boyer



"for their elucidation of the enzymatic mechanism underlying the synthesis of adenosine triphosphate (ATP)"

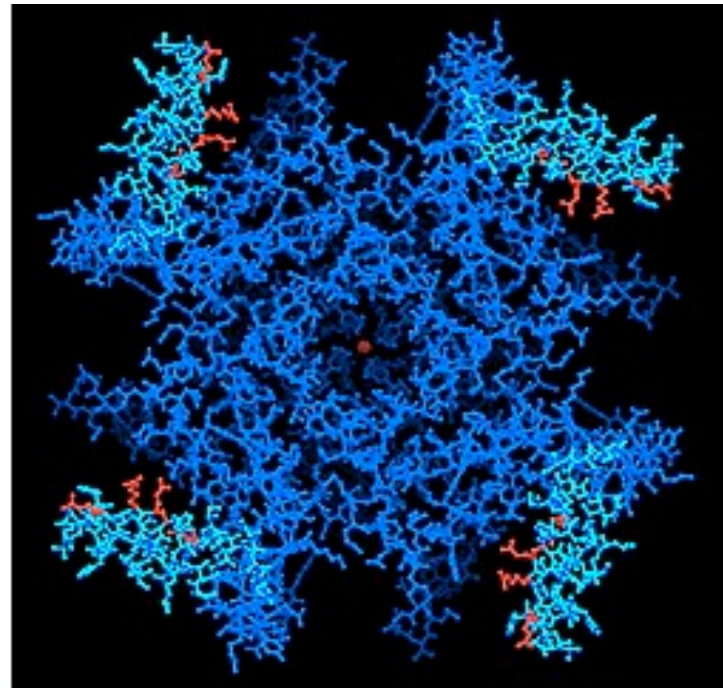


## 2003 Nobel Prize in Chemistry Awarded to Researcher Roderick MacKinnon

**MacKinnon's Research Conducted at  
Brookhaven's National Synchrotron Light Source  
and Cornell's High Energy Synchrotron Source**



MacKinnon



An overhead view of a voltage-dependent potassium ion channel shows four red-tipped "paddles" that open and close in response to positive and negative charges. This structure, discovered by Rockefeller scientists, shows for the first time the molecular mechanism by which potassium ions are allowed in and out of living cells during a nerve or muscle impulse.

## 2006 Nobel Prize in Chemistry

Kornberg, Roger D., U.S.A., Stanford University,  
Stanford, CA

•Professor Roger D. Kornberg has been awarded the Nobel Prize in Chemistry for determining how DNA's genetic blueprint is read and used to direct the process for protein manufacture. Kornberg carried out a significant part of the research leading to this prize at the [Stanford Synchrotron Radiation Laboratory](#) (SSRL), a Department of Energy (DOE)-supported research facility located at the Stanford Linear Accelerator Center (SLAC). Kornberg also carried out research at the Advanced Light Source, another DOE-funded synchrotron light source located at the Lawrence Berkeley National Laboratory.



## Nobel Prize in Chemistry 2009

Israel's scientist Prof. Ada E. Yonath was awarded the 2009 Nobel Prize in Chemistry, along with two U.S. scientists. Essential parts of her studies of the structure and function of the ribosome, a component of the cell that translates the genetic code into the production of proteins, were made at DESY's accelerator DORIS.

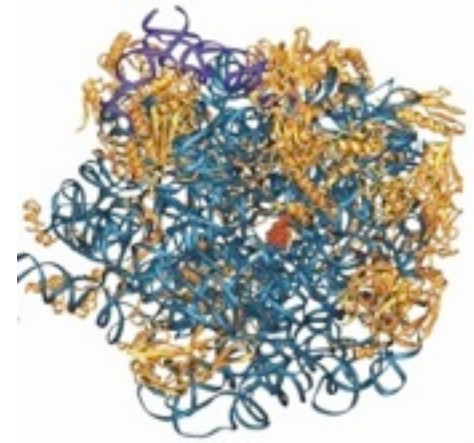


Photo: MRC Laboratory of  
Molecular Biology

**Venkatraman  
Ramakrishnan**



Credits: Michael  
Marsland/Yale University

**Thomas A. Steitz**

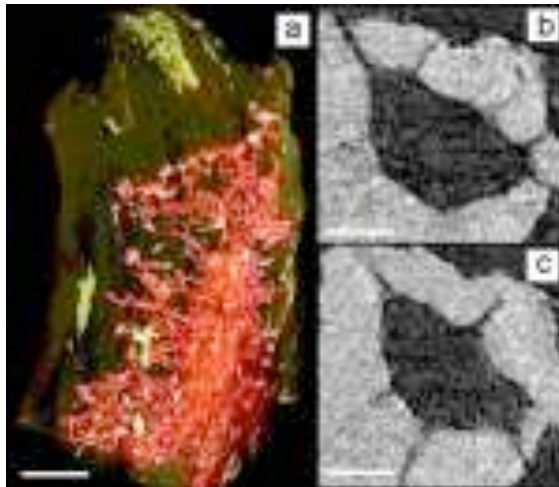


Credits: Micheline  
Pelletier/Corbis

**Ada E. Yonath**



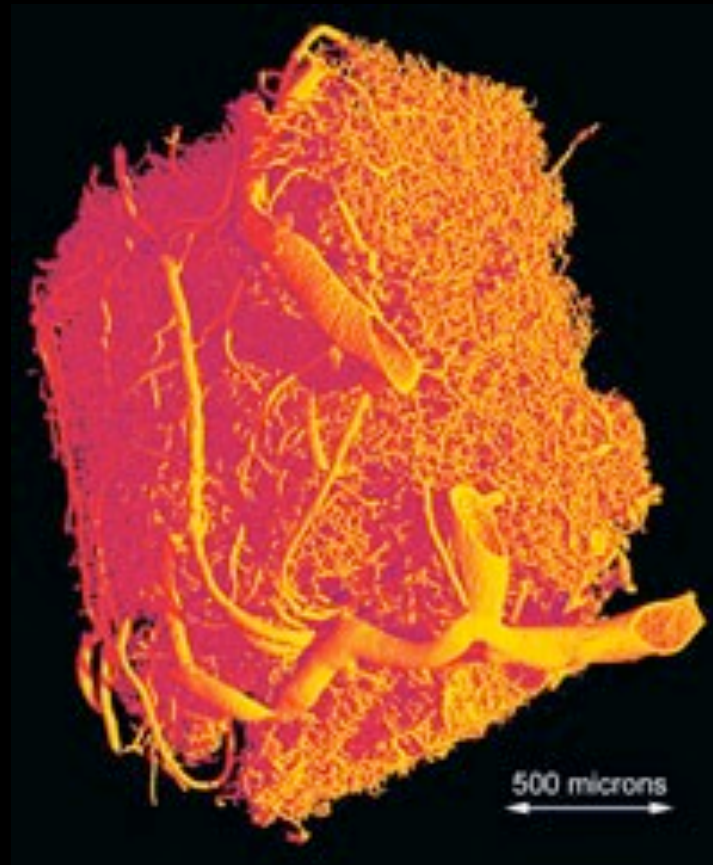
3D imaging of bone structure key to understanding bone health  
**SSRL Science Summary, June 2010 - Raven Hanna**  
Stanford Synchrotron Radiation Lightsource, Menlo Park, CA.



**tomografía de una  
trabecula de hueso  
de -90 a 90 grados**

**Imagen 3D**

A team that included scientists from NASA Ames Research Center, Cornell University, Xradia Inc., and SSRL has developed a technique that can be used to image bone structure in 3D at high (30 nanometer) resolution. They used the transmission X ray microscope (TXM) on SSRL beam line 6-2 to visualize bone from mice that had undergone a process to simulate weightlessness. Using mathematically reconstructed tomography (nano-CT) images, they created a 3D image of the bone's nanostructures. The scientists were also able to measure bone density on a fine scale.

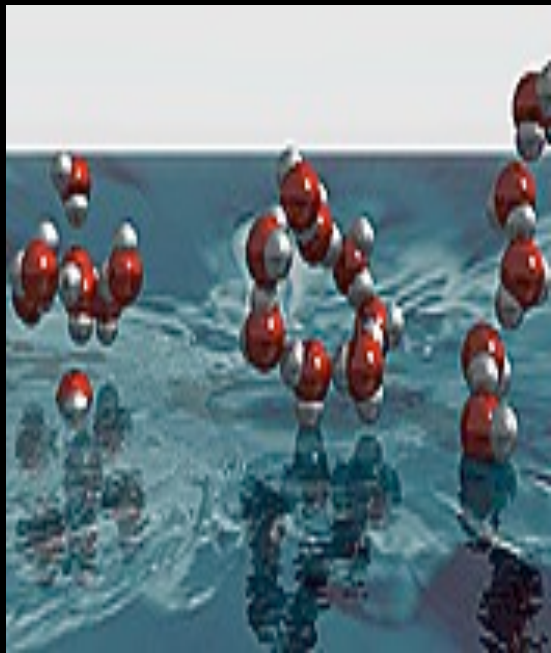


*3D reconstruction of the brain of a transgenic mouse,  
study of Alzheimer's disease, Krucker et al.  
(SCRIPPS, UZh, ETHZ, PSI).  
(Courtesy: Swiss Light Source/PSI)*



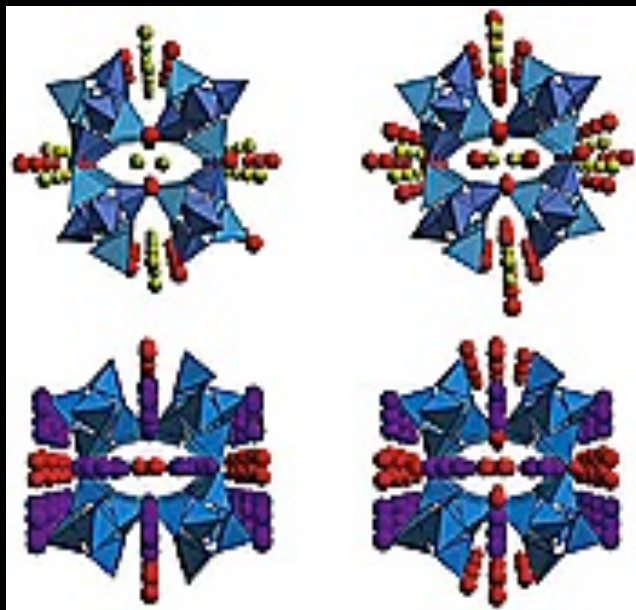
**Selective detection of isomers with photoionization  
mass spectrometry for studies of hydrocarbon  
flames**

**T.A Cool et al., *J. Chem. Phys.* 119, 8356 (2003).**



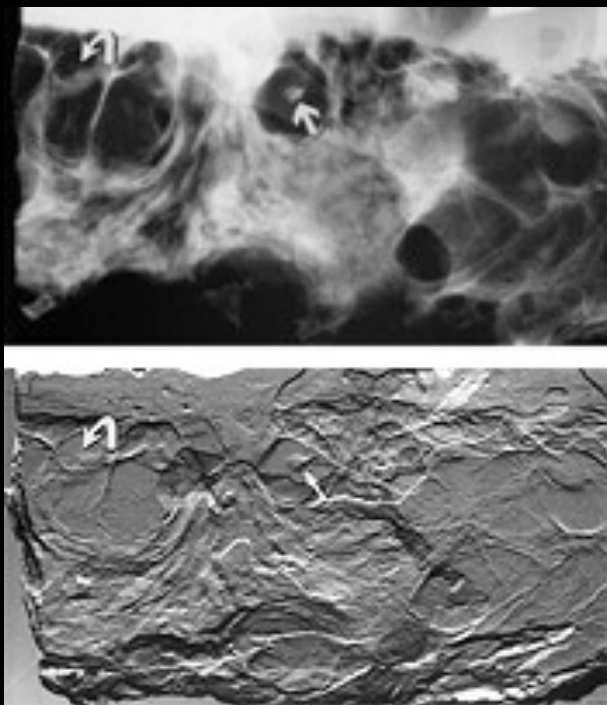
**The structure of the first coordination shell in  
liquid water**

***Ph. Wernet, et al. Science 304, 995 (2004).***



**Non-framework cation migration and irreversible pressure-induced hydration in a zeolite**

*Y. Lee, et al. Nature 420, 485 (2002).*



**Human breast cancer specimens: Diffraction-enhanced imaging with histologic correlation—Improved conspicuity of lesion detail compared with digital radiography**

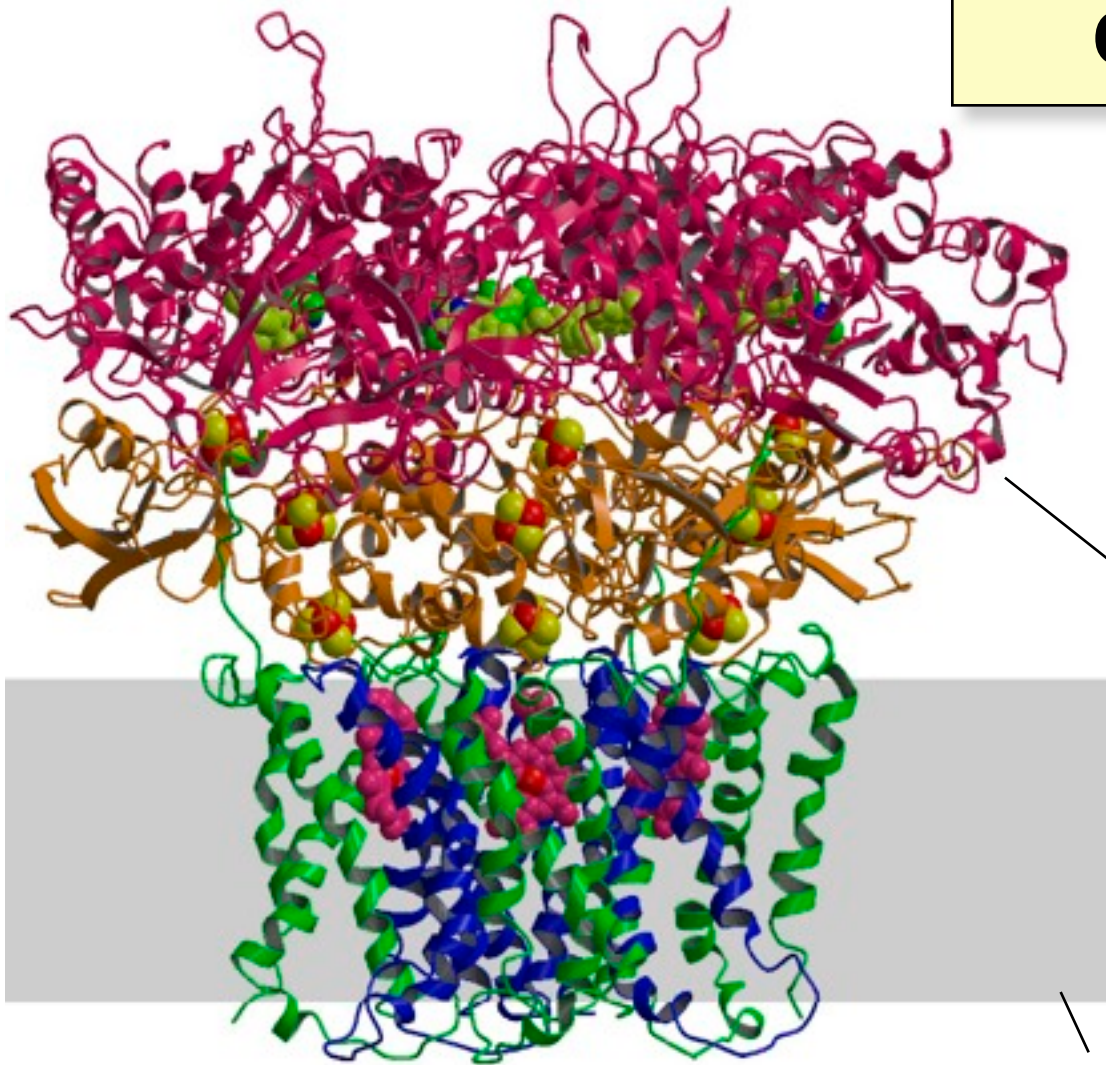
*E.D. Pisano, et al. Radiology 214, 895 (2000).*

# Protein Cristallography

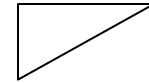
Growth of Bio-Molecules into  
Crystals (size 5-50  $\mu\text{m}$ )

=> Reconstruction with  
diffraction of X-Rays

Succinat-Dehydrogenase,  
(Komplex II) is part of  
breathing chain

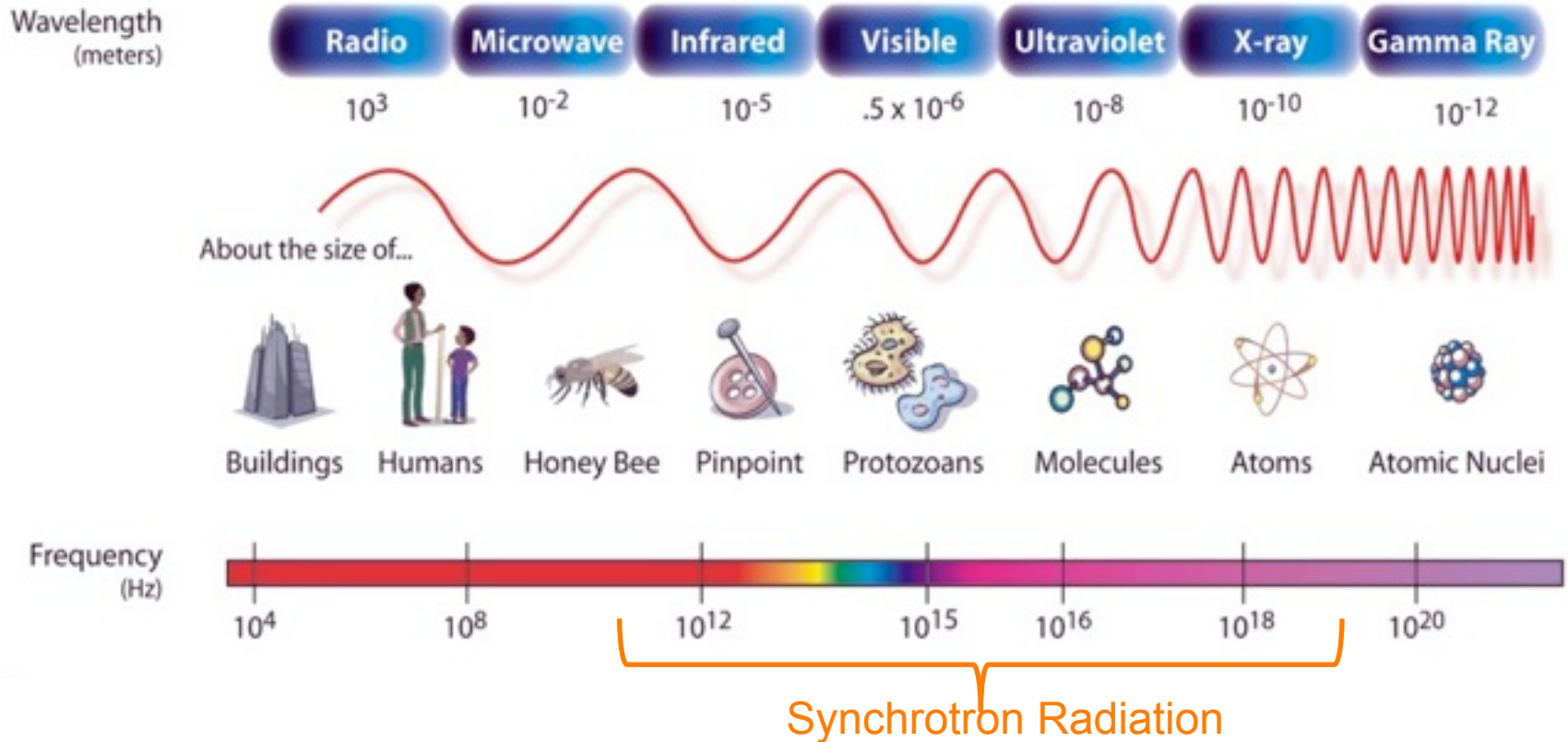


Membrane



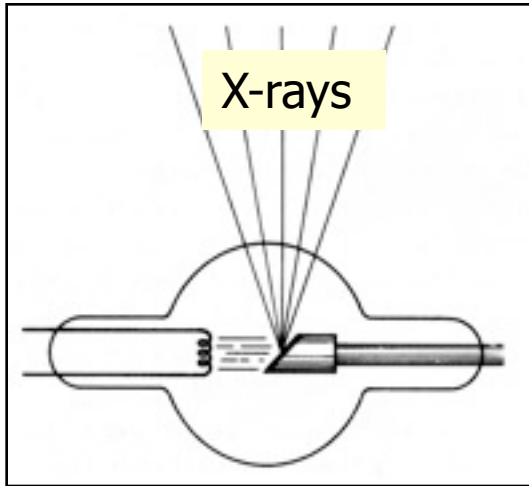
- **impacto en la ciencia tecnología del siglo XX —→ XXI**
- **sociológico: imagen de modernidad, competitividad...**
- **problema energético**
- **una nueva forma de hacer ciencia en el país**  
**súper nodo —→ red**
- **tratamiento de basura nuclear**
- **oncología hoy y mañana - hadroterapia**
- **la luz de sincrotrón es para todos !!!**
- **tecnología de mañana e. g. aceleración por plasmas**
- **Formación de recursos humanos**  
**comunidad de usuarios, operadores etc.**

# SR Spectrum



To “see” atoms, molecules & nanostructures you need light with wavelengths comparable to the size of those objects (UV, X-rays)

# Producción de rayos X

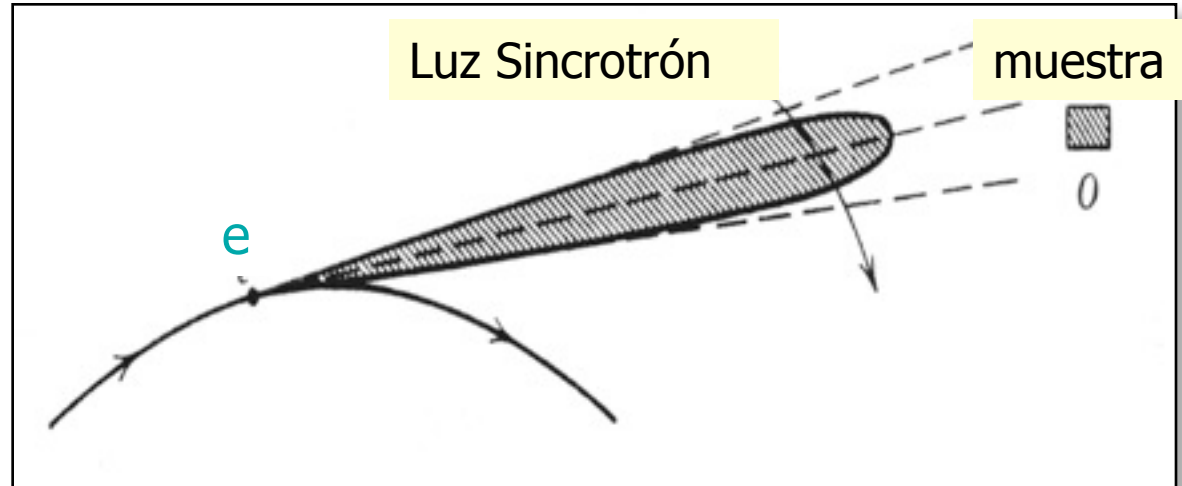


Producción con tubo  
(60-90kV)

Haz muy ancho



objetos grandes

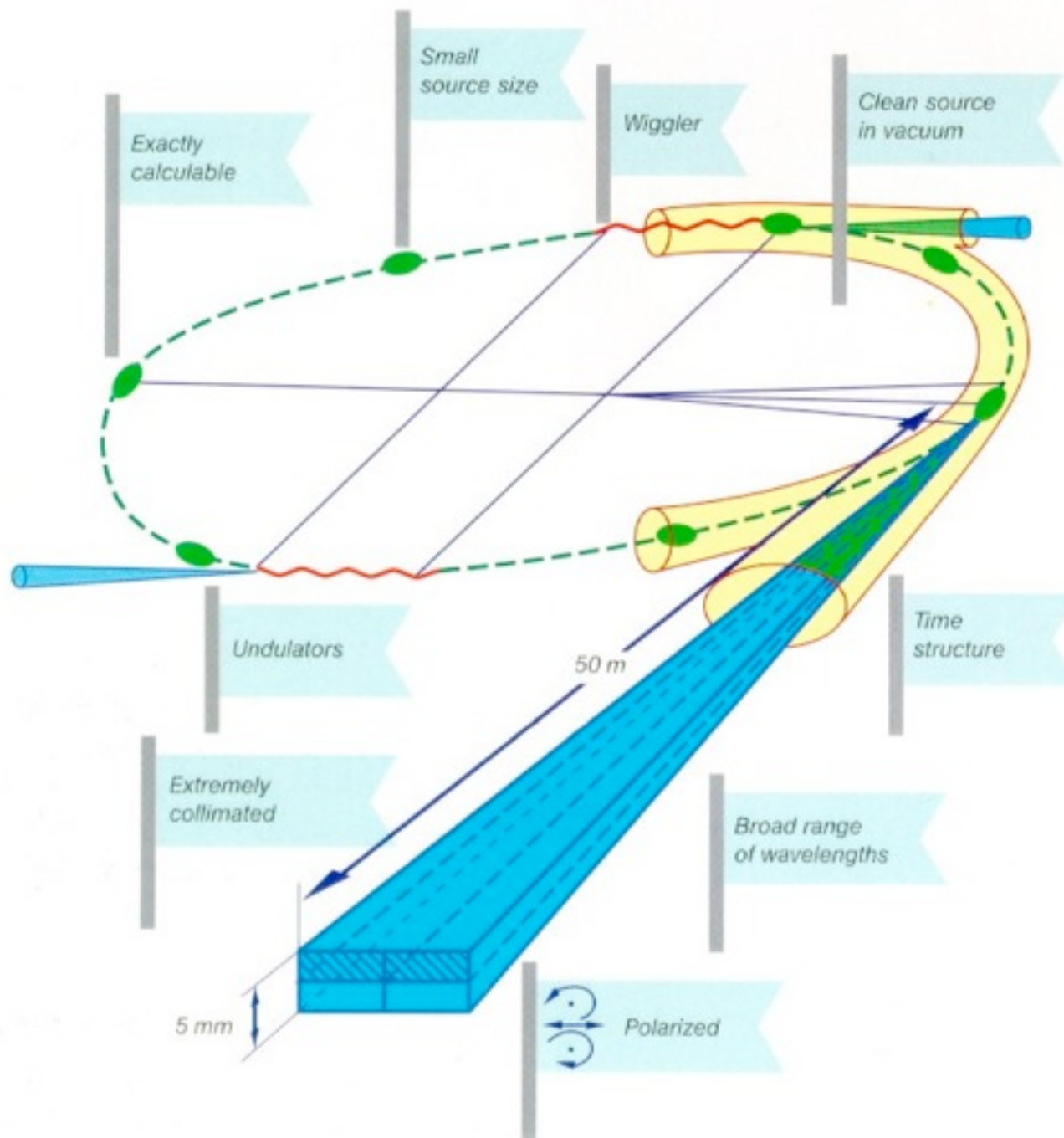


Producción con electrones rápidos en  
campos magnéticos

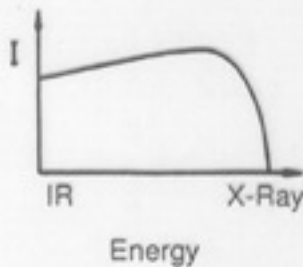
Intensidad, coherencia, colimación

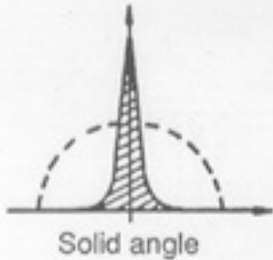


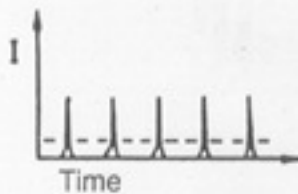
micro estructuras



## Important Characteristics of Synchrotron Radiation

- 1) 

Continuous spectrum
- 2) 

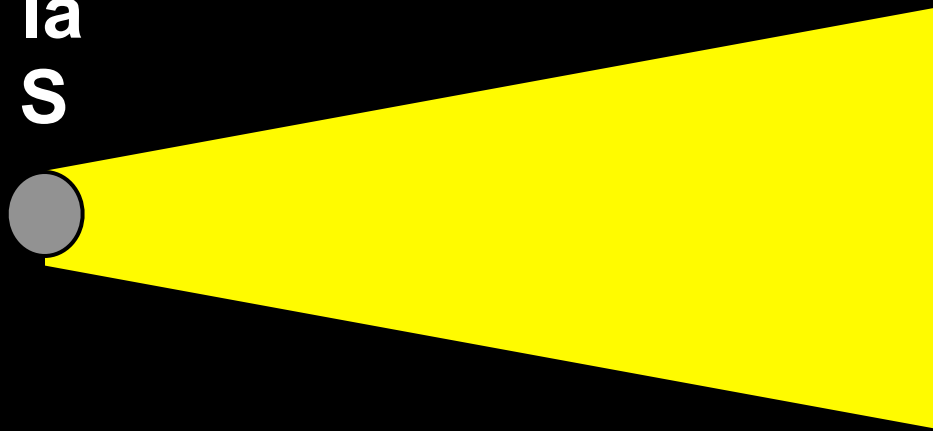
Emission in small solid angle
- 3) 

Pulsed time structure
- 4) 

High degree of polarisation
- 5) Properties can be calculated/predicted

# Brillantez

área de la  
fuente,  $S$

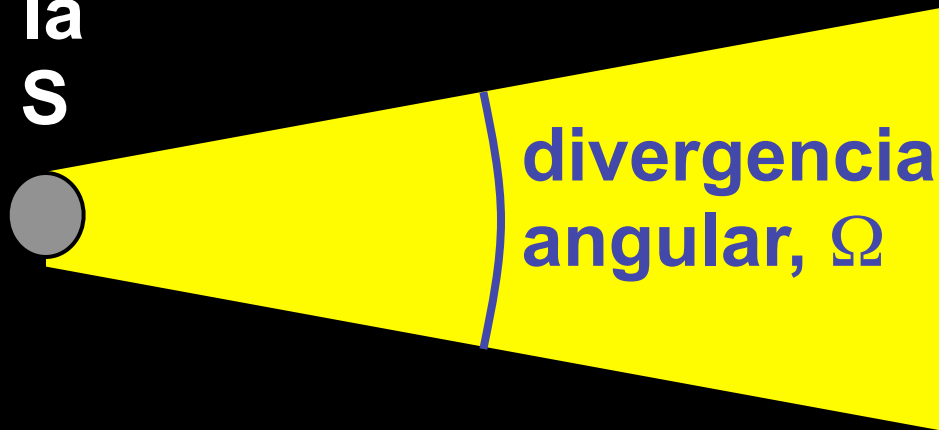


Flujo  $F$

$$\text{Brillantez} = \frac{F}{S \cdot \Omega}$$

# Brillantez

área de la  
fuente,  $S$



Flujo  $F$

$$\text{Brillantez} = \frac{F}{S \cdot \Omega}$$

flujo = fotones/segundo

I = corriente de electrones en el anillo

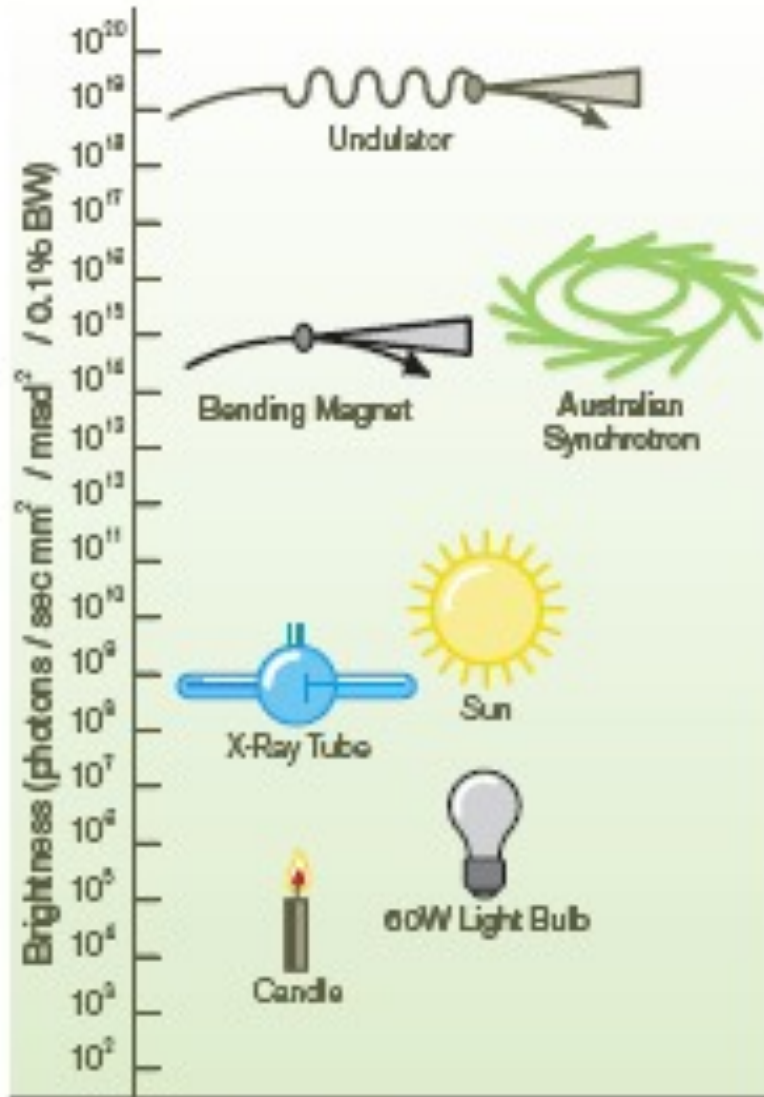
$\sigma_x \sigma_y$  = área de la fuente de radiación

$\sigma'_x \sigma'_y$  = ángulo sólido en el cual es emitida la radiación

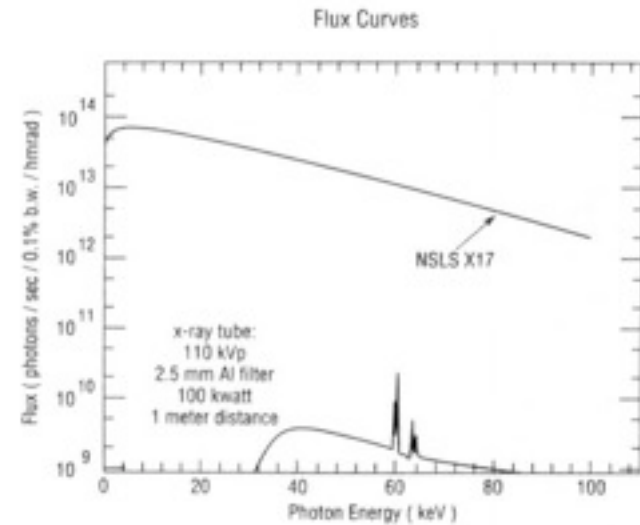
BW = ancho de banda de la energía de fotones

$$\text{Brillantez} = \frac{\text{flujo}}{I} \frac{1}{\sigma_x \sigma_y \sigma'_x \sigma'_y \text{ BW}}$$

$$\text{Unidades} = \frac{\text{fotones}}{\text{seg} \text{ mm}^2 \text{ mrad}^2 0.1\% \text{ BW}} \quad \text{para una corriente del anillo dada (típicamente 100mA)}$$



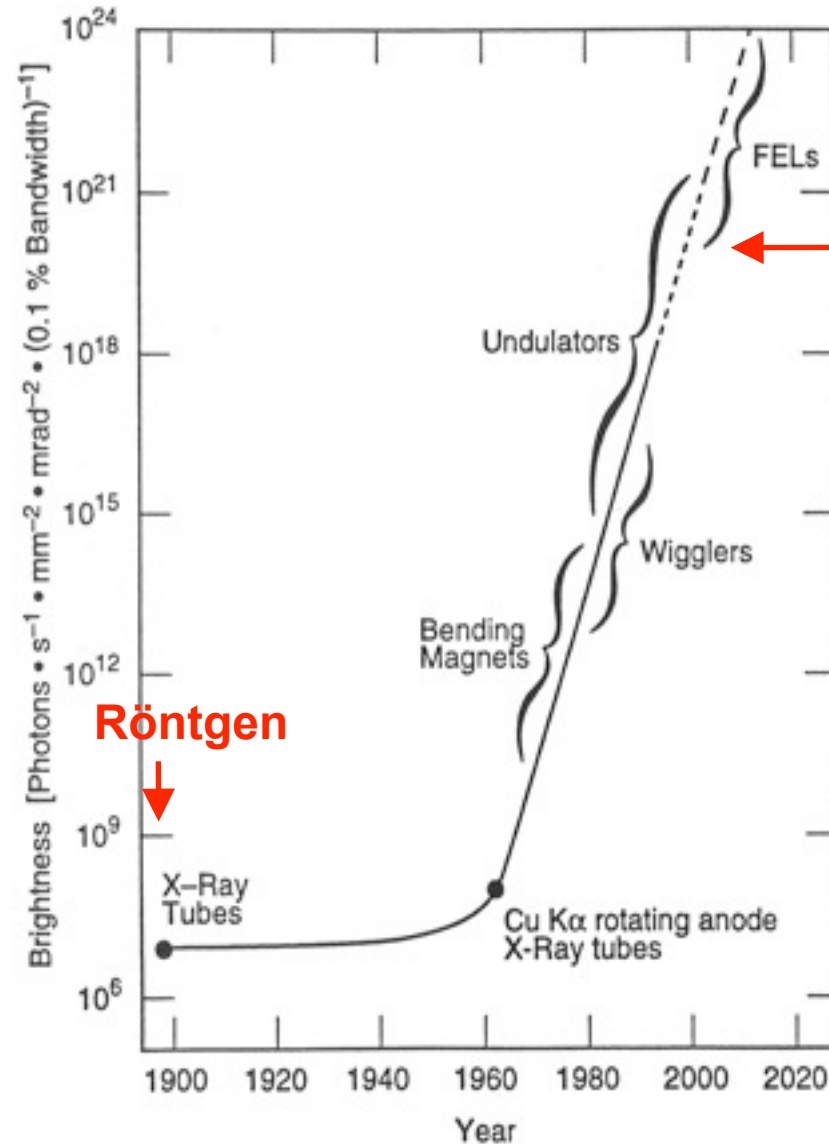
Comparative Brightness



Brookhaven NSLS, National Synchrotron Light Source

# Brillantez de Rayos

'Brightness' =  
performance  
of a light  
tower



## **¿ Que se puede hacer en una fuente de luz de sincrotrón ?**

**Biología (cristalografía de proteínas, biología celular)**

**Investigación medica (microbiología, imaginología de alta resolución  
oncología)**

**Ciencias químicas del medio ambiente (toxicología, investigación atmosférica  
tecnología de procesos industriales de producción limpia)**

**Agricultura (geonómica de plantas, estudios de suelos, imaginología animal  
y de plantas)**

**Estudios forenses (análisis de muestras pequeñas y diluidas)**

**Estudio de materiales**

**Materiales avanzados (nanociencias, polímeros inteligentes, cerámicas,  
metales livianos y aleaciones, materiales para electrónica)**

**Ingeniería (imaginología de procesos industriales en tiempo real,  
estudios de catálisis en procesos químicos de gran escala )**

**Exploración de minerales (análisis rápido de muestras, caracterización de  
minerales)**

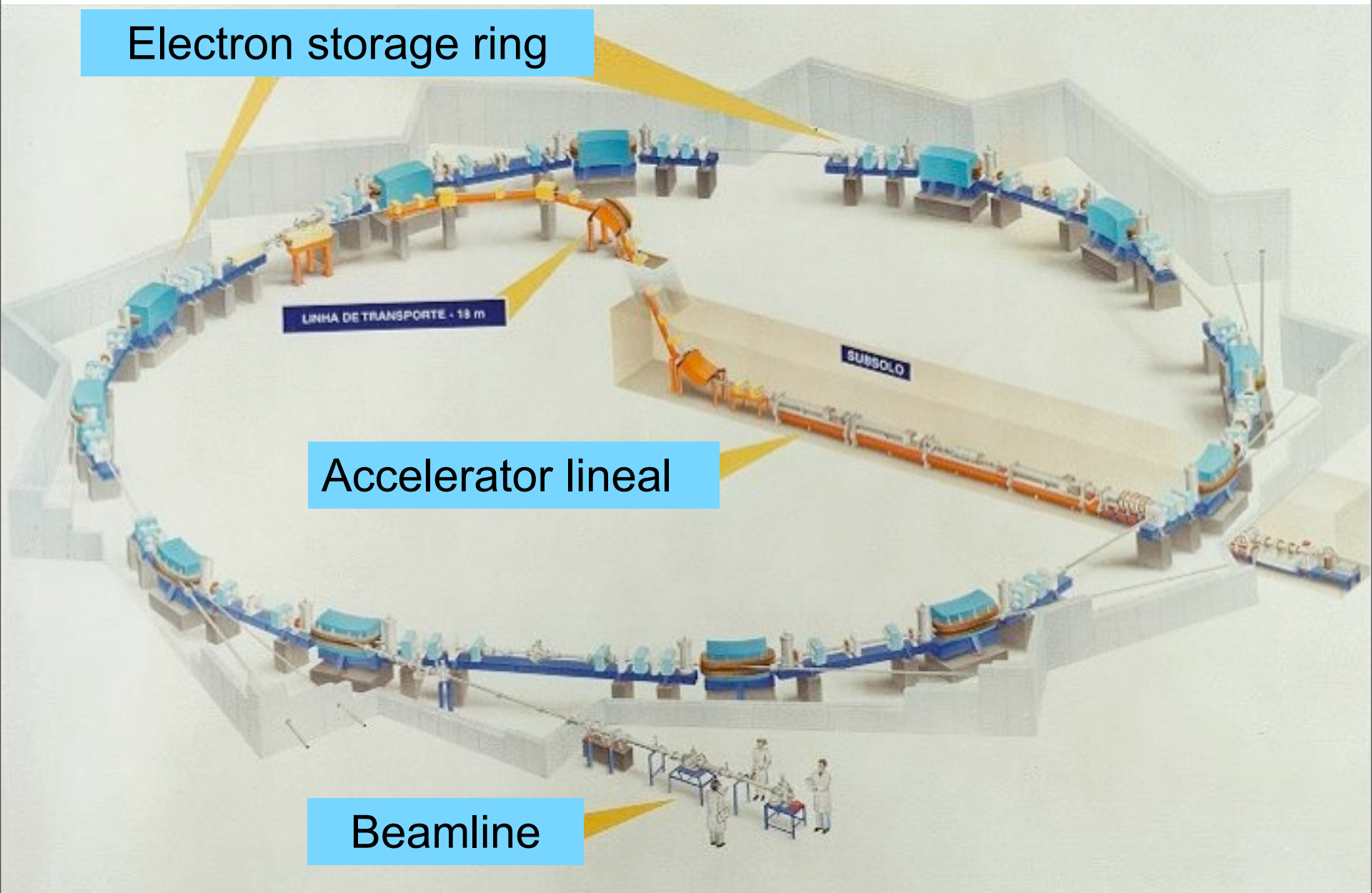
Electron storage ring

LINHA DE TRANSPORTE - 18 m

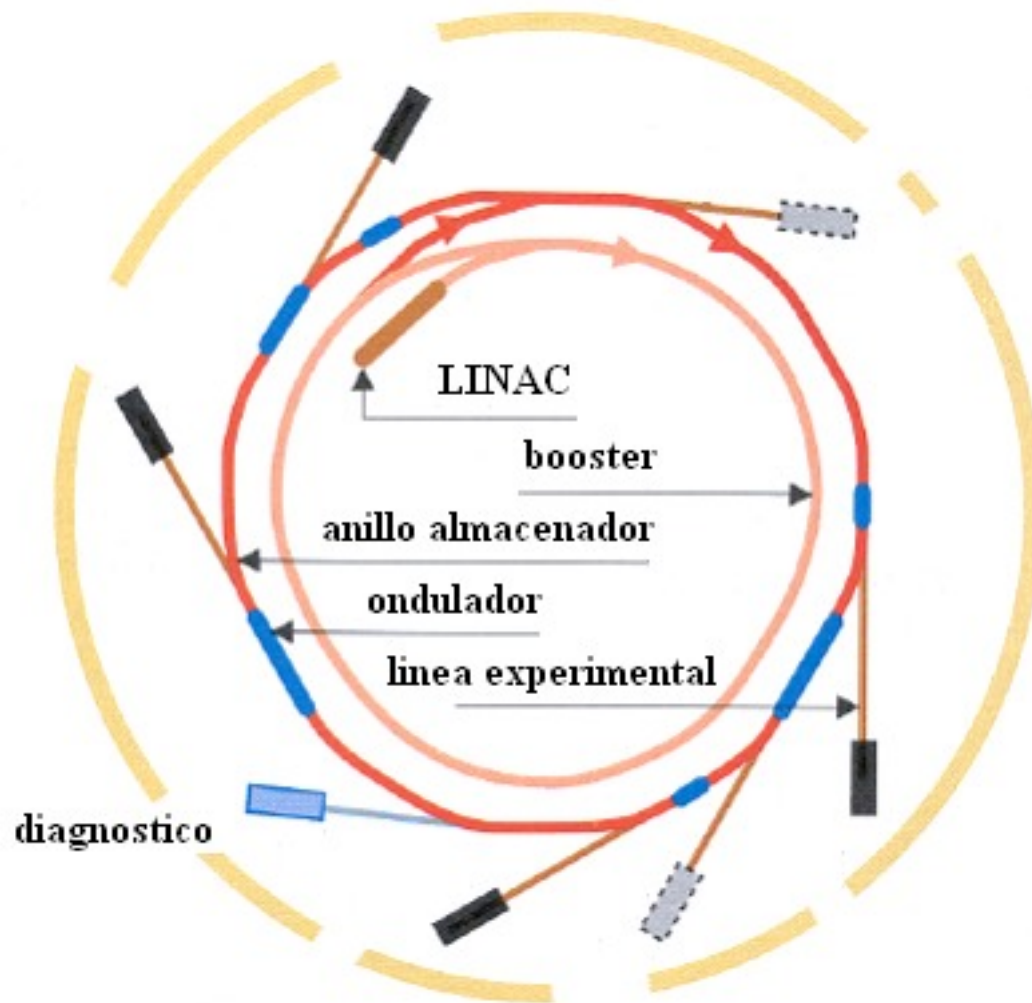
SUBSOLO

Accelerator lineal

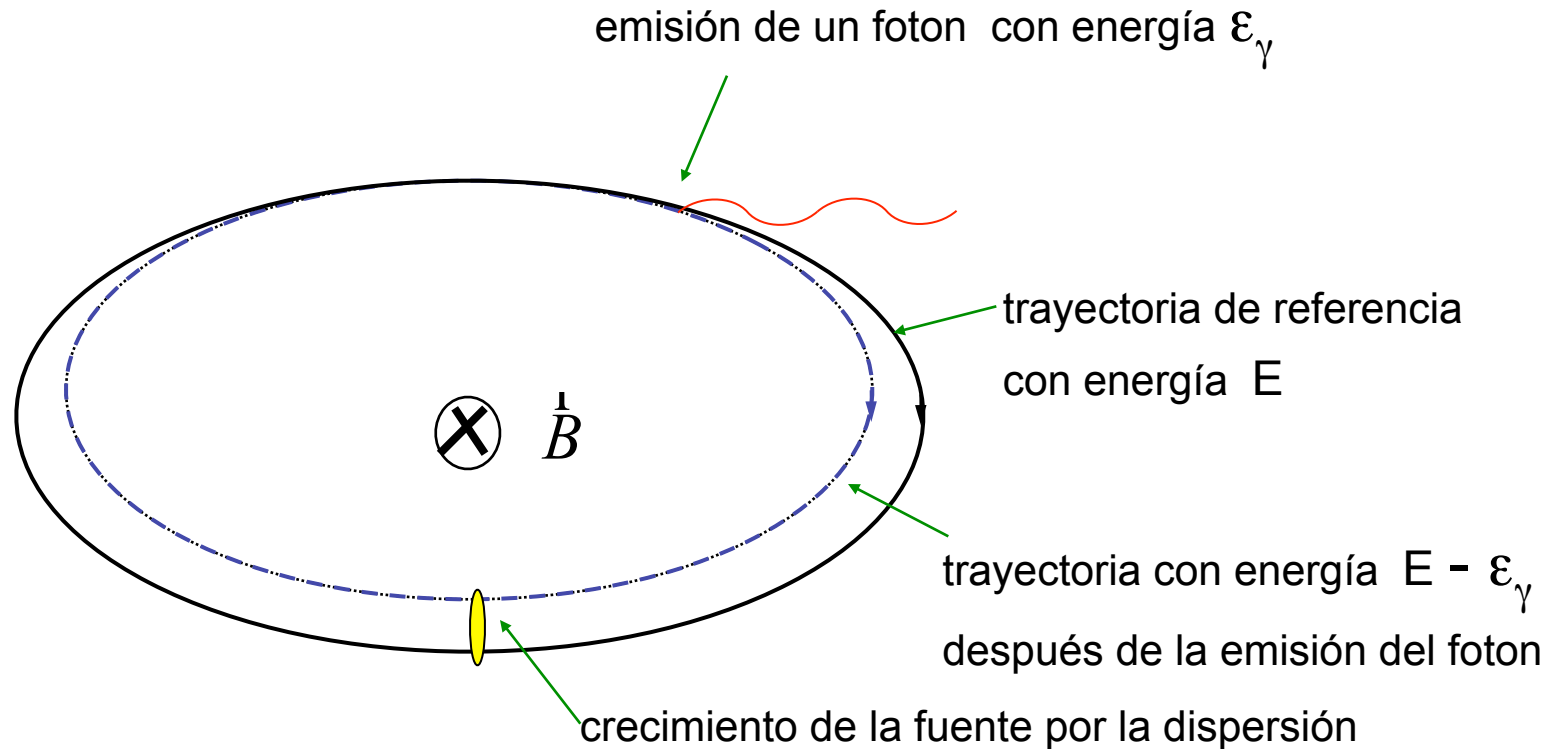
Beamline



# Componentes



El campo magnético de los dipolos produce crecimiento de la fuente de radiación de sincrotron es decir grandes emitancias

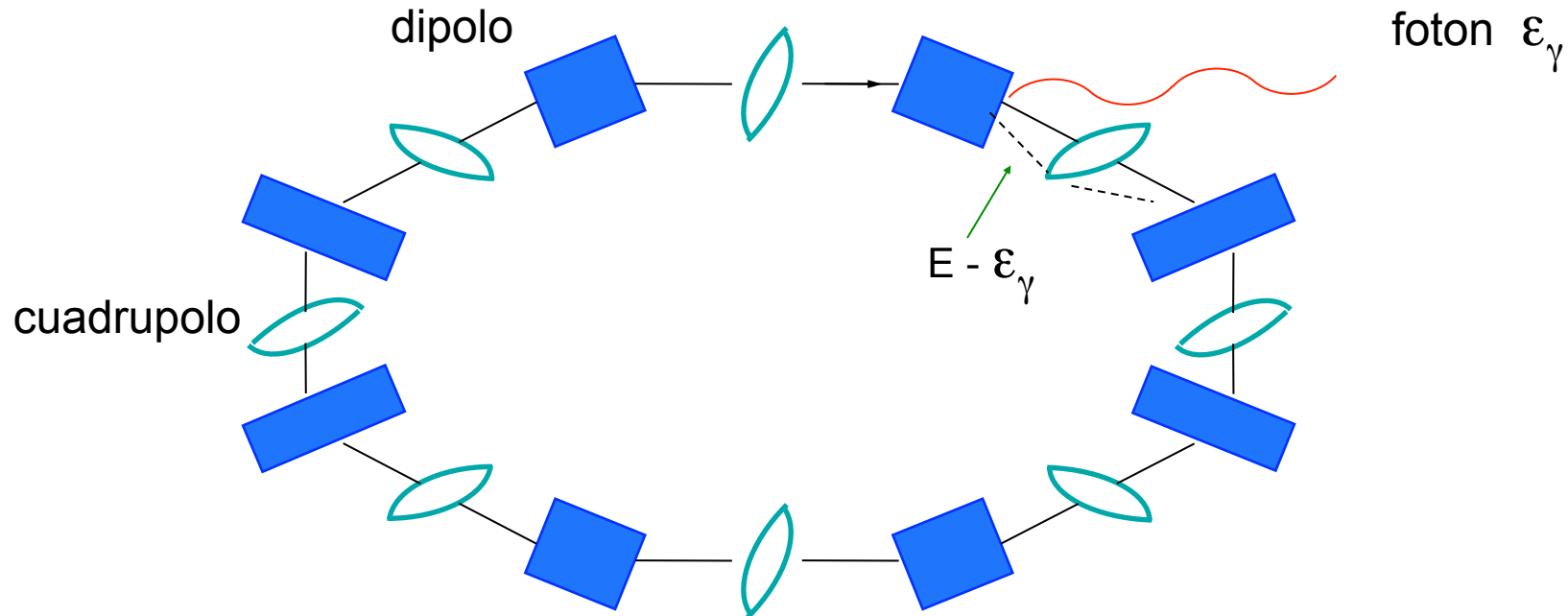


Receta: para un anillo almacenador con emitancia pequeña construir un anillo grande con muchos magnetos separados

Un electron que emite una energía  $\epsilon_\gamma$ , pierde esa energía y en el siguiente dipolo sera desviado en mayor grado.  
Los cuadрупolos enfocan de nuevo al electron para el siguiente dipolo.  
Esto mejora la emitancia del haz.

$$\epsilon \sim n^{-3} \quad (n = \text{numero de dipolos})$$

buena emitancia implica muchos dipolos



# idea general

## Calidad

alta brillantez, emitancia pequeña,  
→ circunferencia grande con muchos magnetos

## Flexibilidad

secciones rectas 4 m, 7 m and 11 m

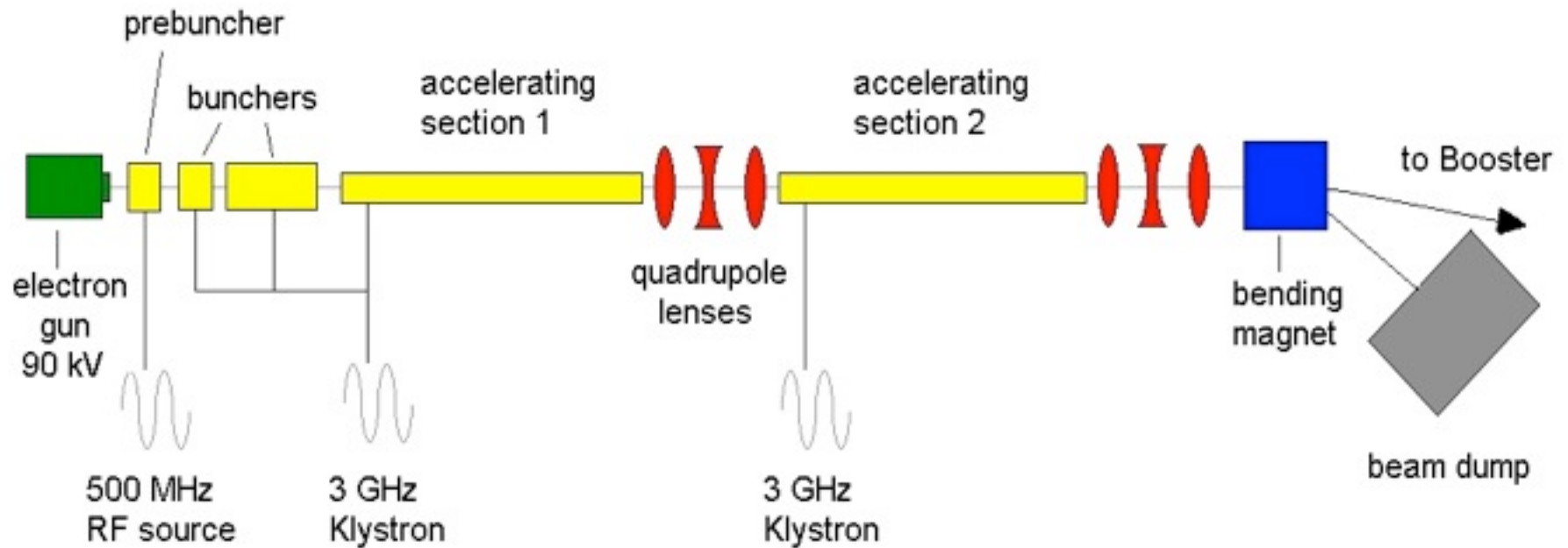
## Estabilidad

separación de la estructura del edificio del suelo

control de temperatura en el tunel y en el hall de experimentos

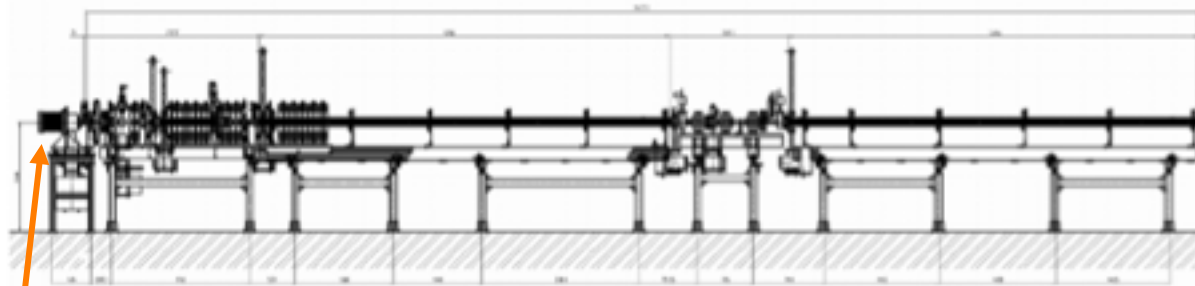
posicionamiento de magnetos y soportes rigidos

# LINAC de 100

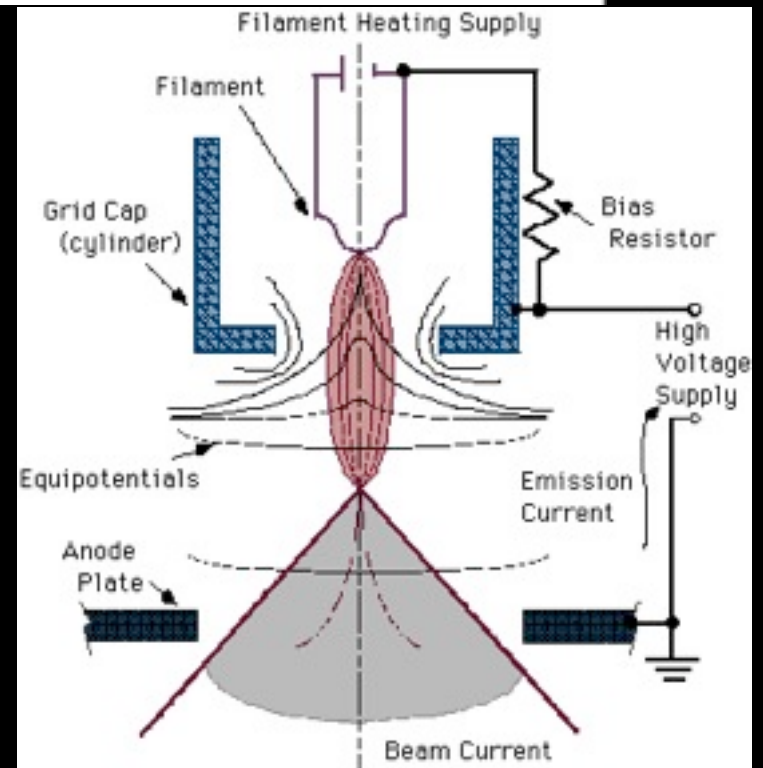


Electron Gun 90 keV

Linac (11m long) 100 MeV

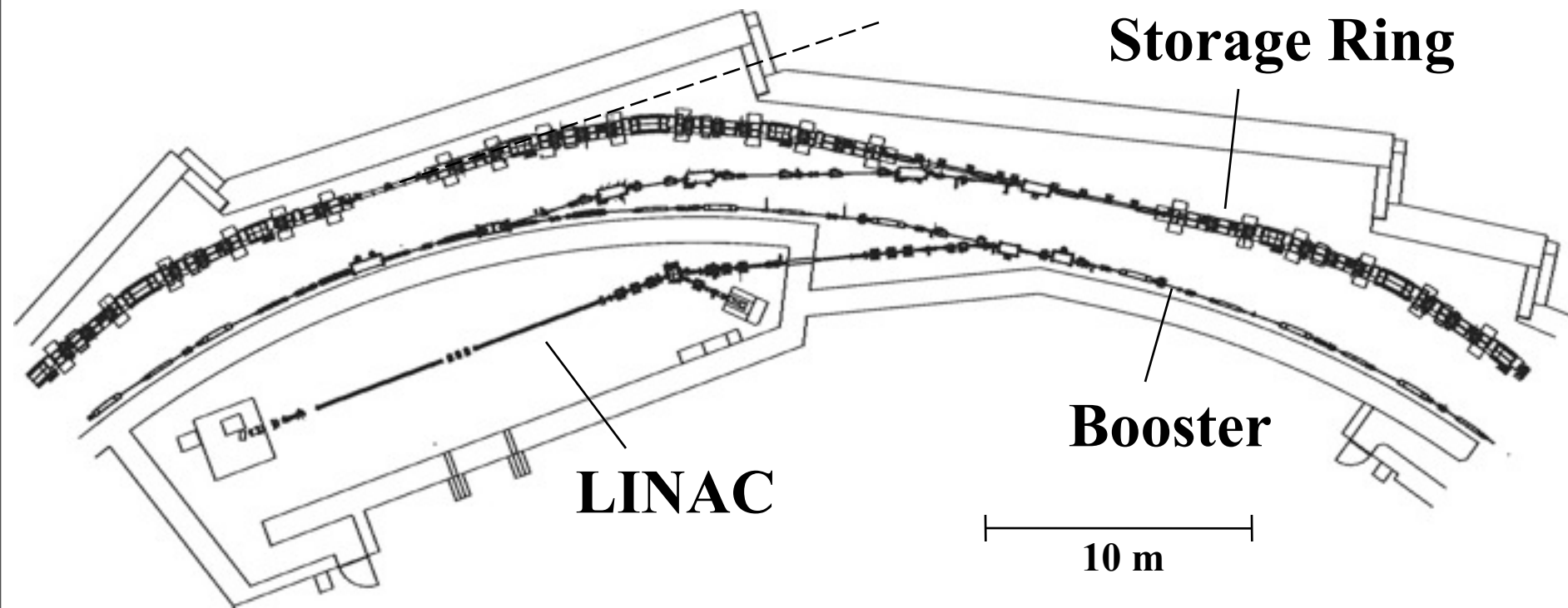


**100 MeV Electron Linear Accelerator  
for a possible Synchrotron Project at Mexico**



**90 KeV Thermionic Gun**

# área de inyección



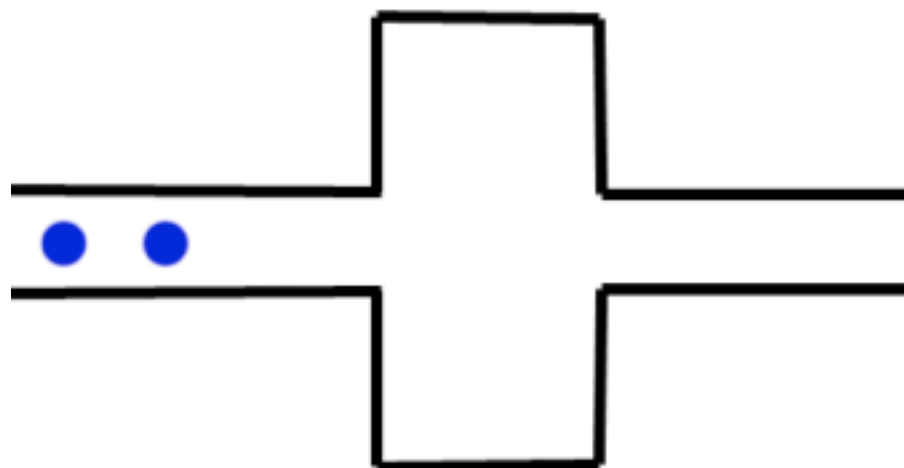
# Booster RF II



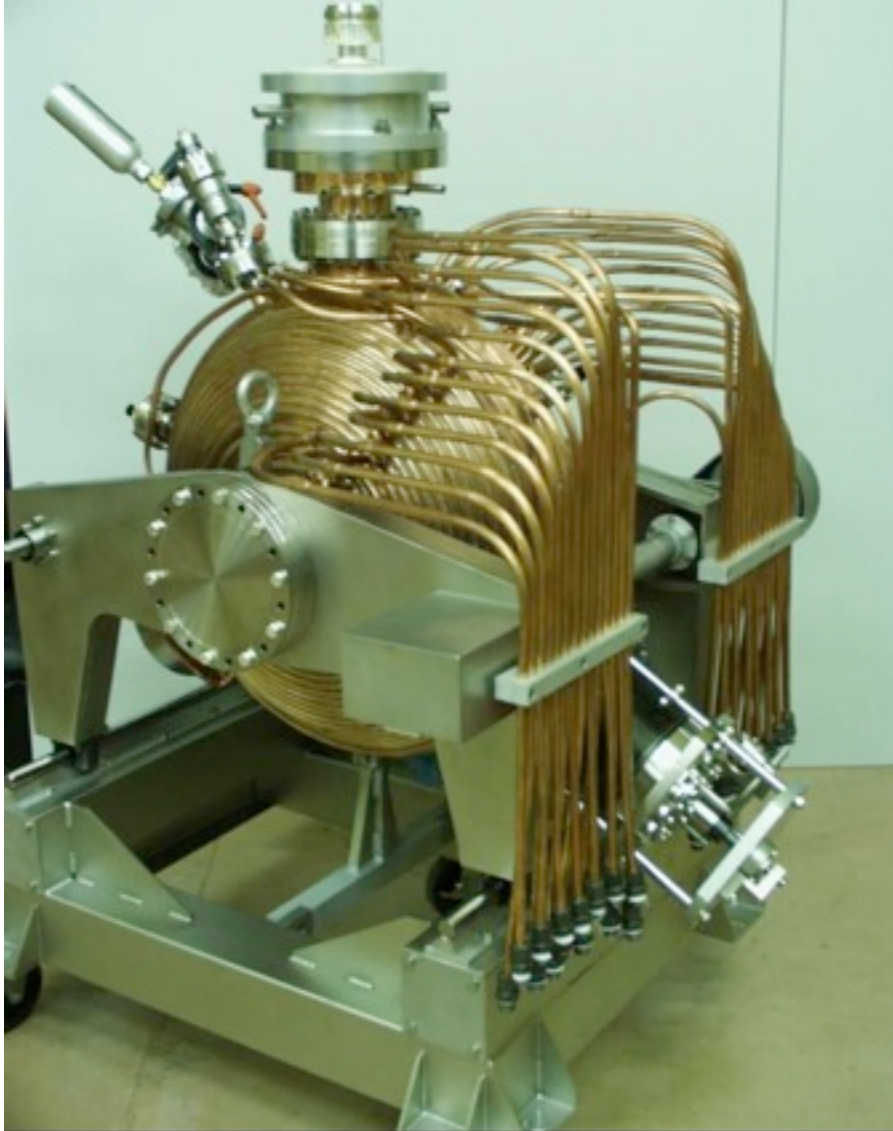
RF Cavities  
Based on PETRA design, 5 cell

**500 MHz Five Cell  
cavities used at  
DESY  
and in a number  
of booster rings:**

**DIAMOND  
Light Source  
(DLS)  
Canadian Light  
Source (CLS)  
Australian  
Synchrotron  
Project (ASP)  
Shanghai Light  
Source (SSRF)  
ALBA/CELLS  
Spain,  
Barcelona**



## Cavidad de radiofrecuencia



Los electrones generan  
200 kW de rayos X

Esta potencia tiene que ser  
alimentada por un sistema de  
Radio frecuencia

Cavidad = Resonador de Cobre,  
frecuencia 500 MHz

5 Cavidades en el anillo de  
almacenamiento,  
1 Cavidad en el Booster

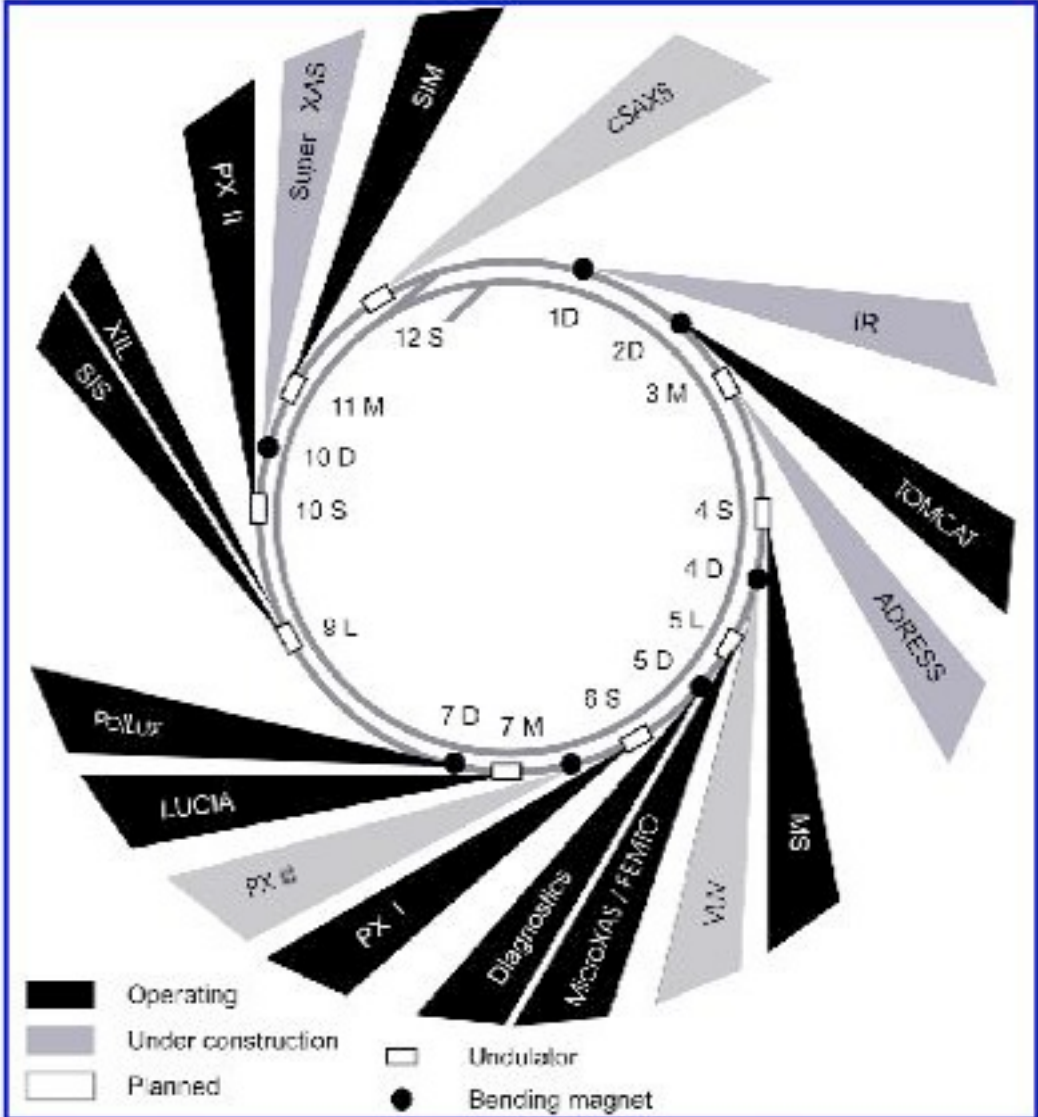
600 kV Voltage

55 kW Power Loss/Cavity

## líneas experimentales

inicio con 5 líneas:

- |     |                            |
|-----|----------------------------|
| 1D  | Infrared (commissioning)   |
| 2D  | Tomography                 |
| 3M  | Spectroscopy               |
| 4S  | Material Sciences          |
| 5L  | Environment/Materials      |
| 6S  | Protein Crystallography I  |
| 7M  | Environment/Materials      |
| 7D  | Microspectroscopy          |
| 9L  | Surfaces, Spectroscopy     |
| 10S | Protein Crystallography II |
| 11M | Surfaces, Spectroscopy     |



montos

|                                                                                                 |                       |       |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|-------|
| Acelerador Lineal                                                                               | 52,000,000            | pesos |
| Pre-acelerador                                                                                  | 16,000,000            |       |
| Módulos SRF                                                                                     | 61,000,000            |       |
| Magnetos del anillo de almacenamiento                                                           | 54,000,000            |       |
| Infraestructura para fabricación de magnetos                                                    | 54,000,000            |       |
| Alimentación de magnetos                                                                        | 3,000,000             |       |
| Cámara de vacío                                                                                 | 48,000,000            |       |
| Edificio del acelerador                                                                         | 217,000,000           | *     |
| Líneas de luz (5)                                                                               | 239,000,000           |       |
| Validación y entrega                                                                            | 109,000,000           |       |
| Entrenamiento y formación                                                                       | 43,000,000            | *     |
| Equipos accesorios                                                                              | 54,000,000            |       |
| <b>SUB-TOTAL</b>                                                                                | <b>\$ 950,000,000</b> |       |
| Optica en el anillo de almacenamiento, dispositivos de inserción, personal, línea de transporte |                       |       |

Fondos concurrentes

Por parte de la entidad federativa que adopte el proyecto

- donación de terreno
- edificios para oficina, laboratorios, biblioteca, comedor

Por parte de las instituciones participantes

En la etapa de investigación, diseño y desarrollo:

- nómina de investigadores, técnicos e ingenieros involucrados
- materiales y movilidad en la etapa de investigación y desarrollo

**¿ que tenemos ?**



***Pabellón Van de Graaf 1953 en Ciudad Universitaria***



***Fernando Alba***



***Carlos Graef Fernández***



***Manuel Cerrillo Valdivia***

***transformador gemelo tesla  
→ años 40 → ESIME IPN →  
1948 Manuel Ramírez Caraza  
obtiene 15 millones de voltios  
en laboratorio de Física***



***Manuel Ramírez Caraza***





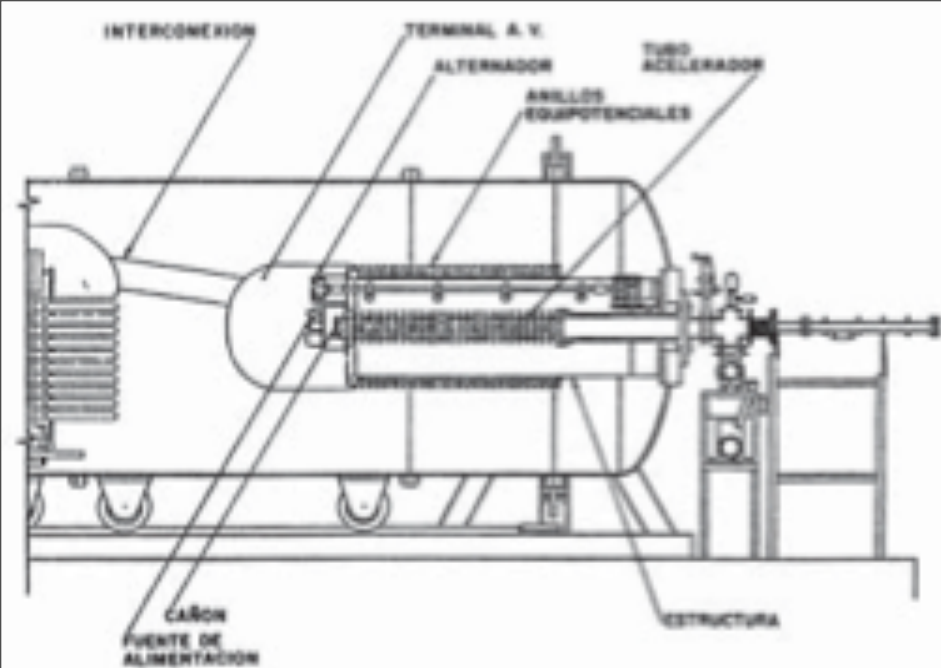
***Acelerador van de Graeff de 12 MeV instalado en el Centro Nuclear de Salazar***



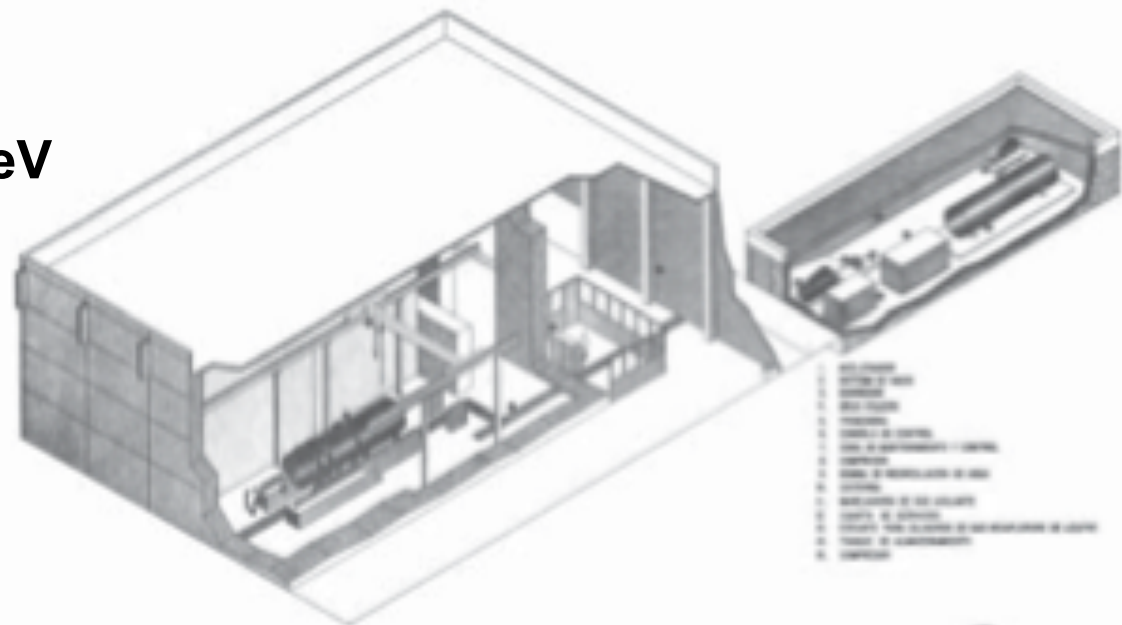
***Tandetrón***

**Acelerador electroestático de  
iones positivos 2MV  
1998-ININ**

# ININ Pelletron



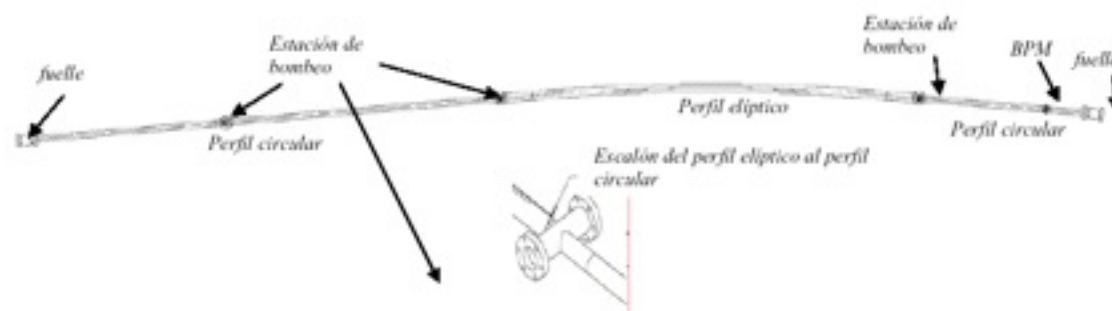
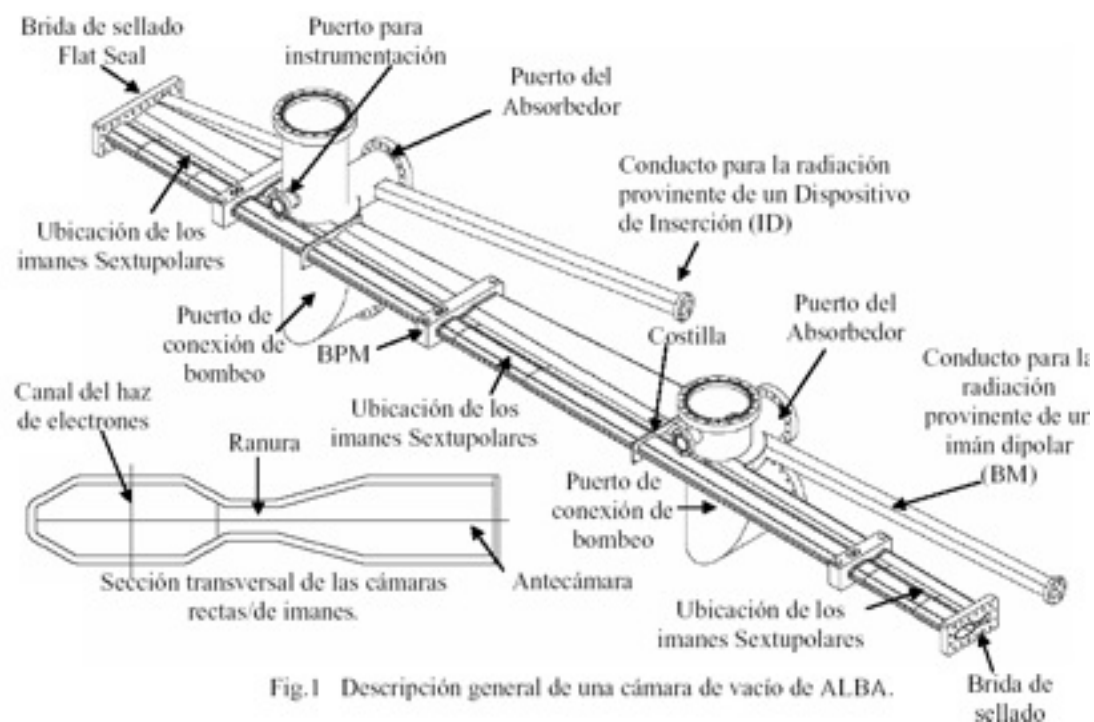
electrones 150 keV – 0.8 MeV



**ININ**  
CENTRO NUCLEAR

**ACELERADOR DE ELECTRONES**

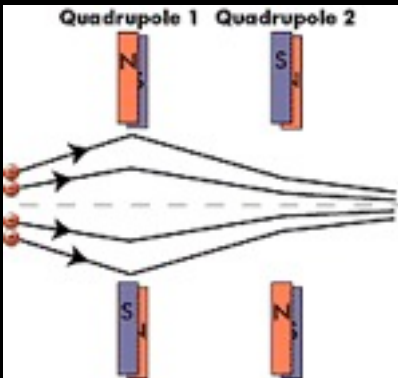
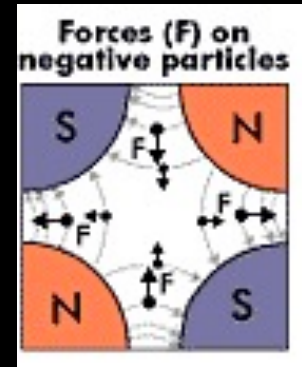
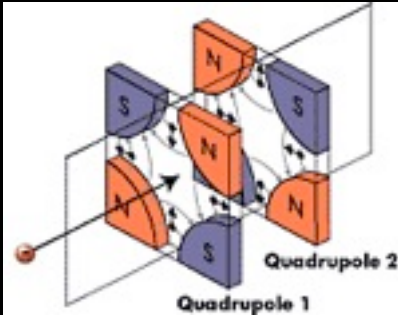
INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES NUCLEARES  
CONSEJO NACIONAL DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS  
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



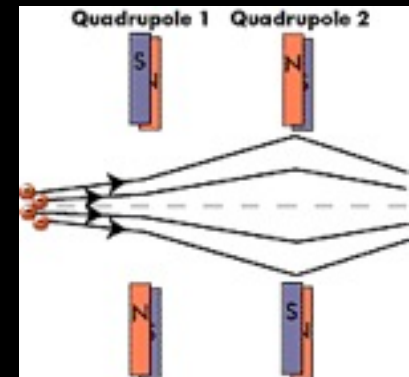
cámara de vacío



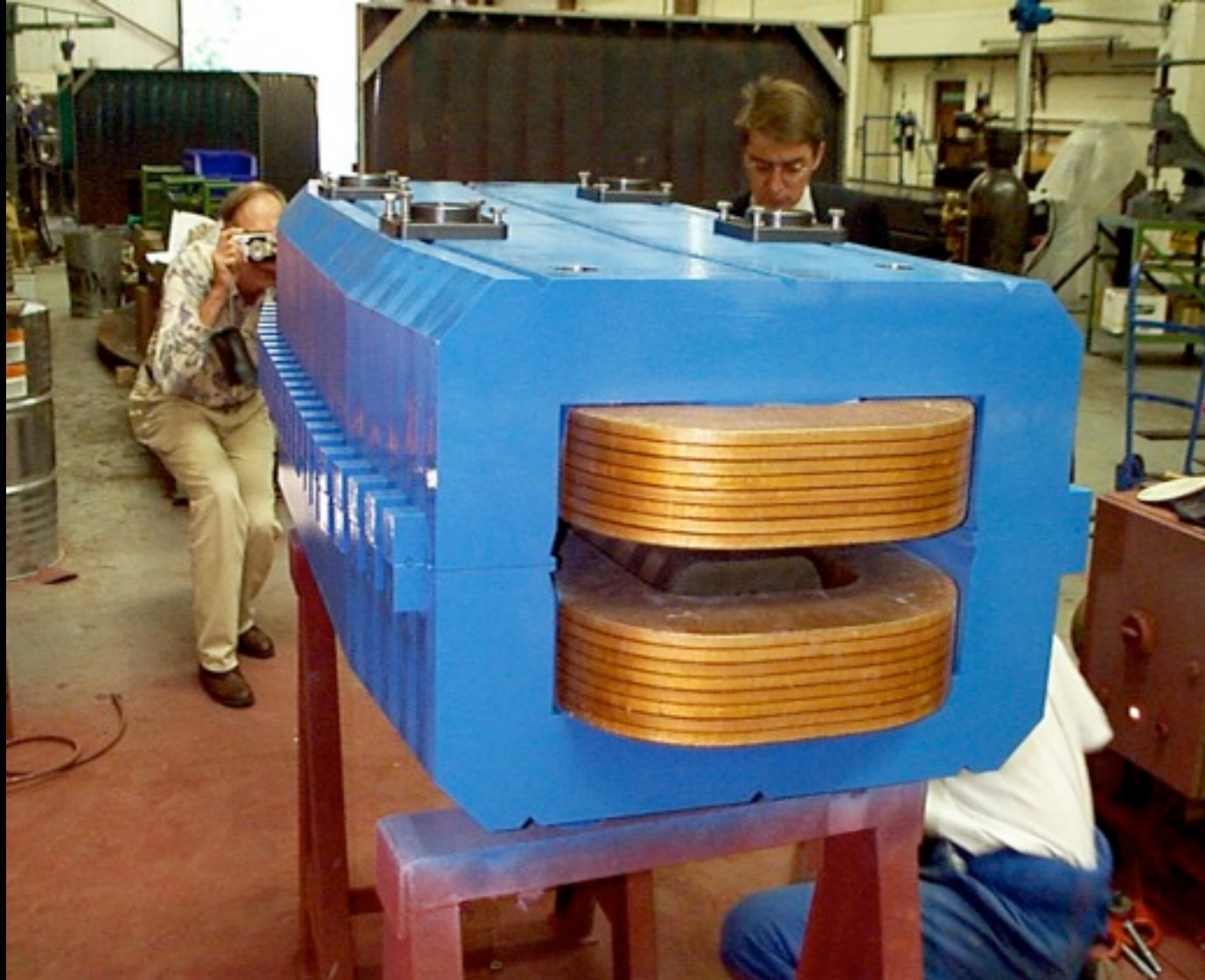
# Magnetos



side view (in plane)



Top view (perpendicular view)



## Dipole-Magnet

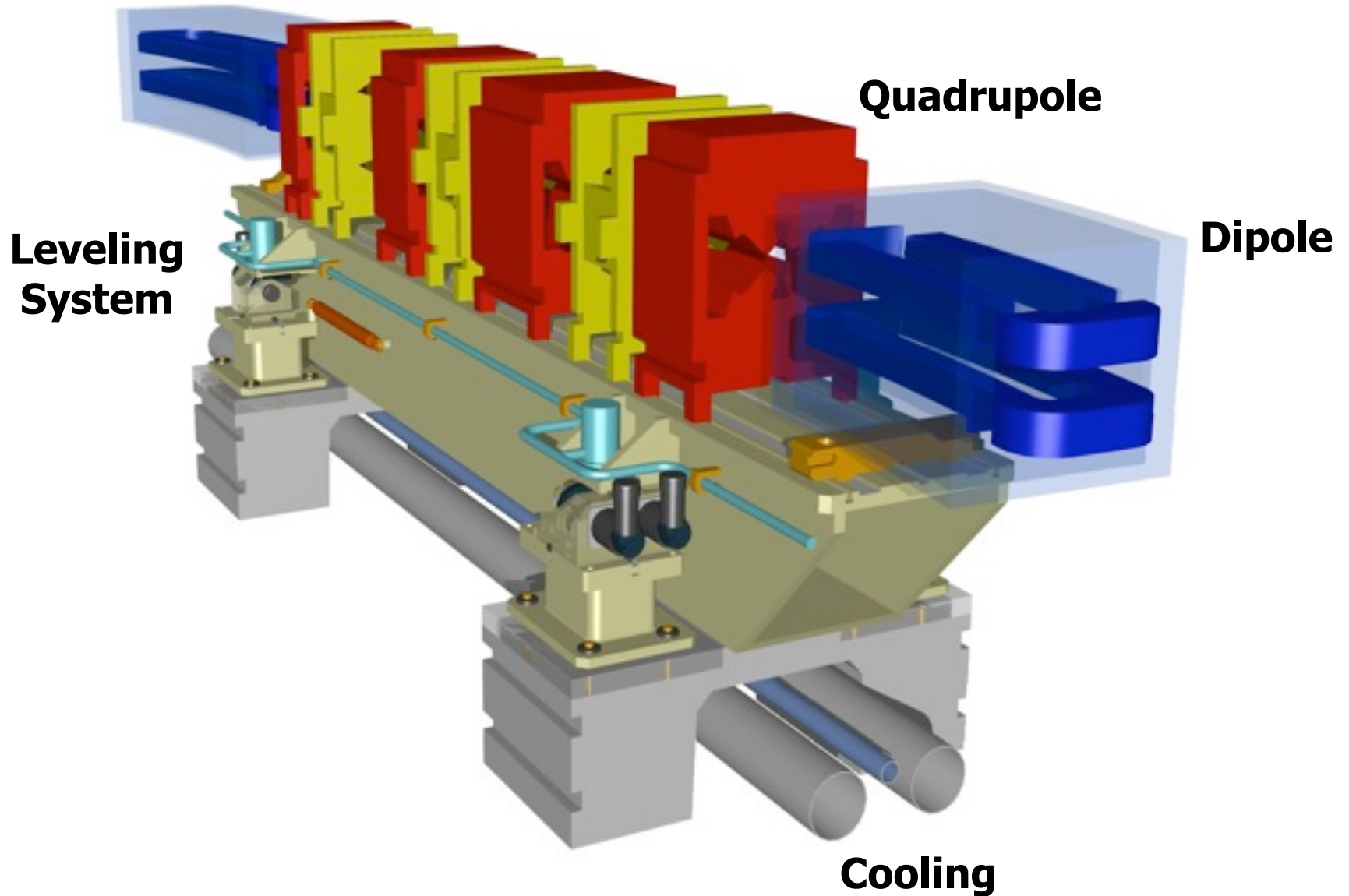
Deflection  $14^{\circ}$

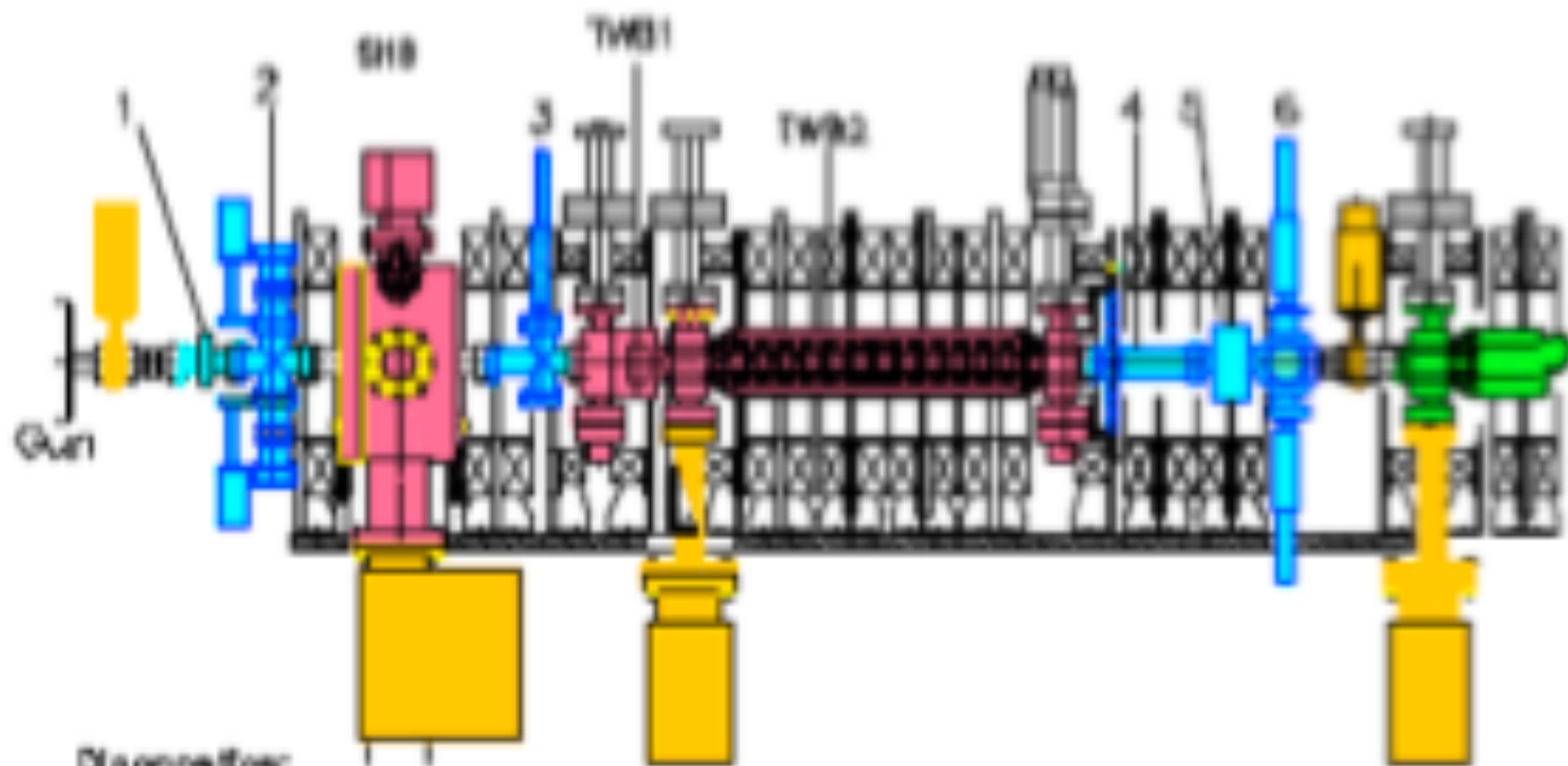
Field 1.4 T

Length 1.4m

Weight 3 Tonns

# soportes mecánicos





Diagnóstico:

- 1) Wall current monitor
- 2) Forebay cup, Fluorescent screen
- 3) Fluorescent screen

- 4) BPM
- 5) ICT (Bargat)
- 6) QTR, Fluorescent screen

diagnóstico del haz

***saxs at home***

# SAXS beamline



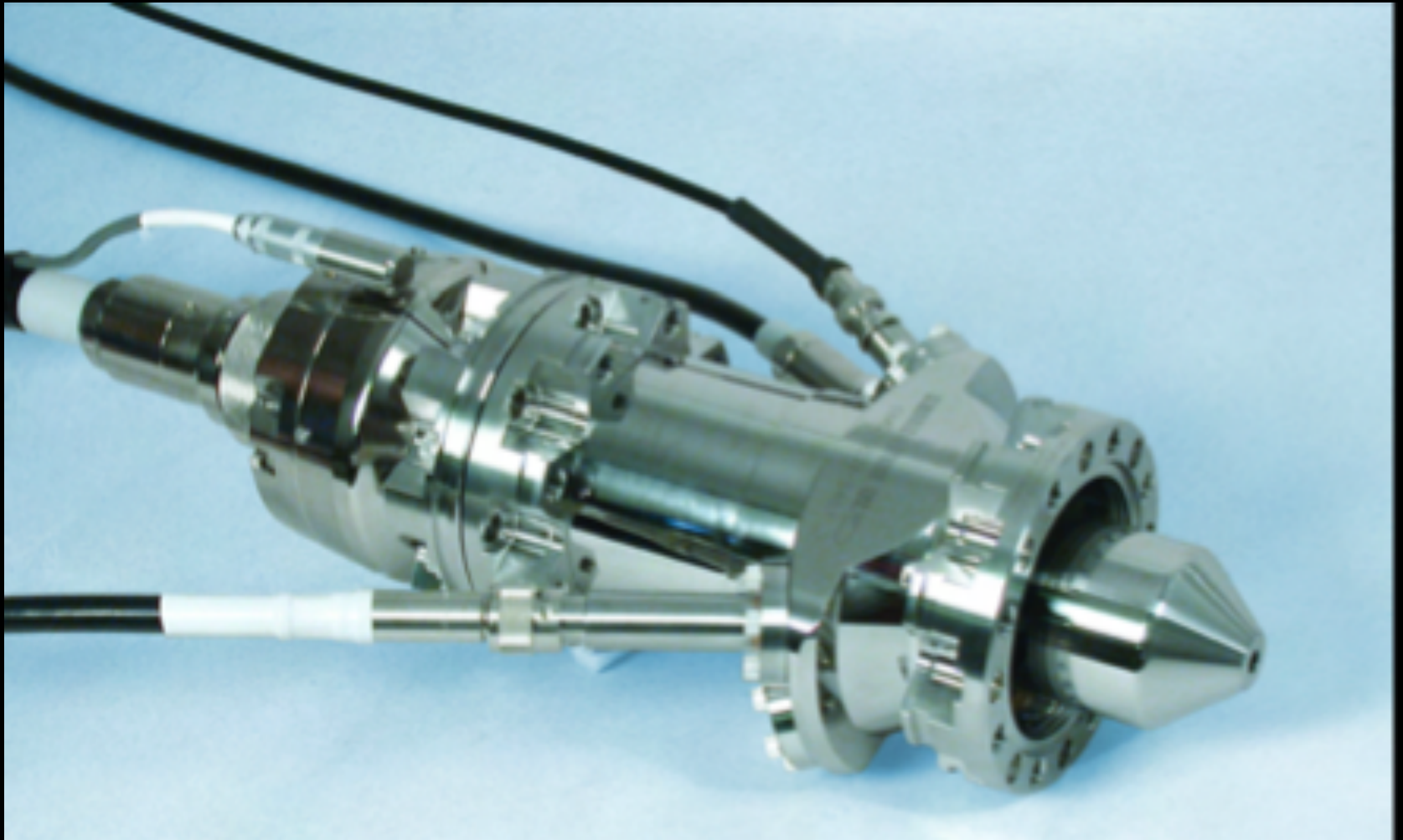
# SAXS en Cinvestav con rayos X convencionales



con apoyo de la red de Soft Physics CONACyT - transversalidad  
varias instituciones involucradas

***students training***

## EMG-4212 / EGPS-3212 ELECTRON GUN / POWER SUPPLY



con apoyo de la red de FAE - CONACyT - CINVESTAV

***medical imaging***

# Tubo de rayos X BEDE Anodo de Cu y ventana de Be



**Proyecto Milenio ICM CONACYT**

**meta**



**nuevas técnicas de radiografía**



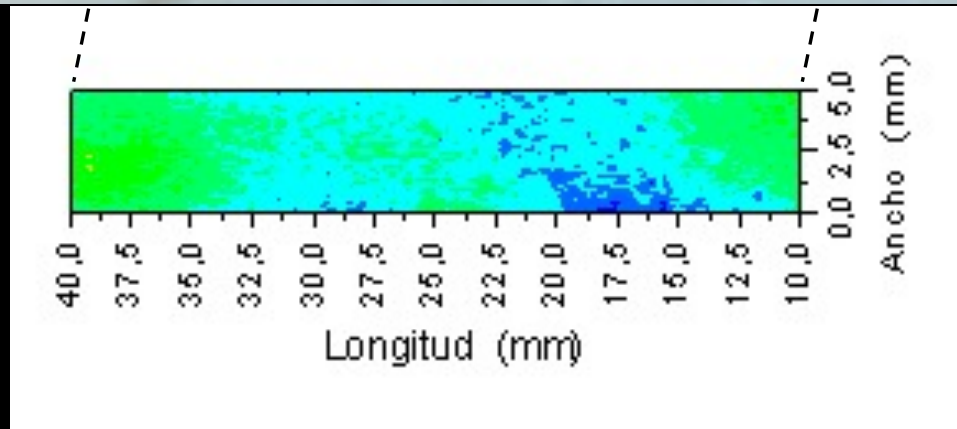
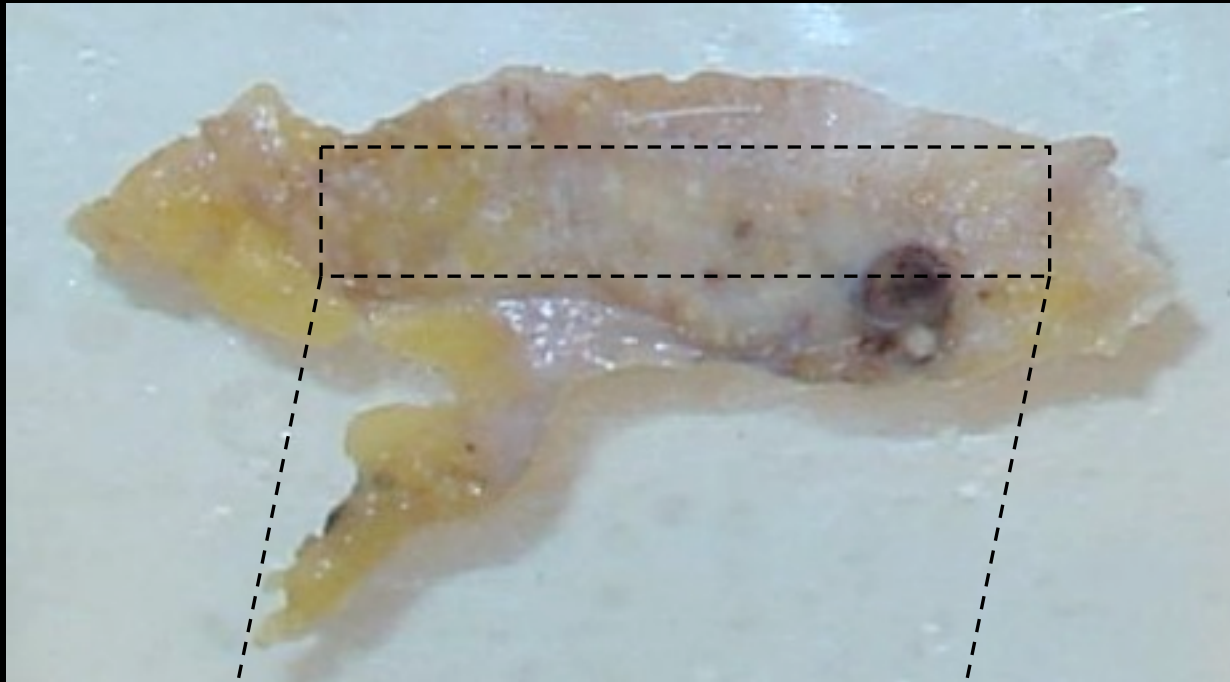
**contraste de fase**



**muestra de tejido mamario**



# imagen digital



# Steps already taken

- One grad student from Universidad de Guanajuato already enrolled at ODU's Ph.D. in Acc. Physics, will work at Jlab under Geoff Krafft's Center for Advanced Studies in Accelerators
- Two undergraduate students from Universidad de Guanajuato and one from Universidad de Puebla spent 8 weeks at Jlab participating in the Cyclotron Kids project    **1 U. Sinaloa**
- Established communication with USPAS director Bill Barletta and with Herman Winick (SLAC) whom point out that Brasil and Australia have developed successful accelerator programs and built light sources and can be used as role models

# The cyclotron kids project

Salvador Luis Jeff Phil  
Peter

Ernesto

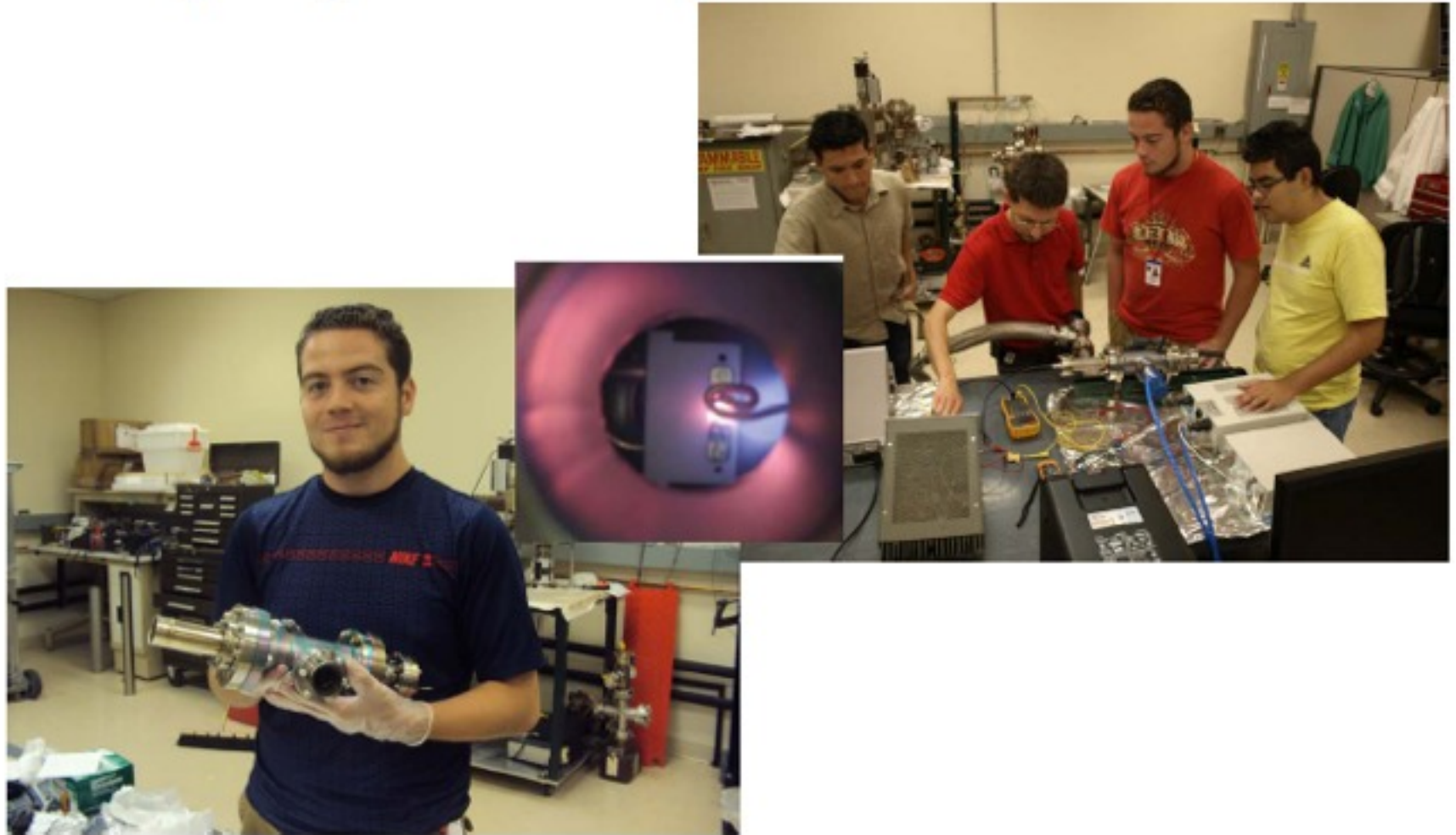
Three undergraduate Mexican students participated for 8 weeks building a small cyclotron sponsored by JLab.

Heather



The H-Magnet  
Fabricated in the  
JLab  
Machine Shop

**The students experienced unique hands-on training on vacuum techniques. They also designed, built and operated an ion source**



## And received basic concept training on accelerator physics



Luis, Salvador and Ernesto in the JLab FEL vault



**CINVESTAV**

**Bruce Yee Rendon**

**PHD - student**

**Frank Zimmerman - CERN**

**Humberto Maury**

**PHD - student**

**Frank Zimmerman - CERN**

**OPEN door**

**machine protection aspects for crab  
cavities in the LHC →  
upgrade (e.g. what happens to the  
beam when a crab cavity trips).**

**→  
study involve beam dynamics  
information  
construct a model of the cavity  
behavior after a trip.**

---

**design of a Linac-Ring electron-  
proton collider based on LHC,  
LHeC, e.g. optics development for  
the recirculating SC linac and the  
layout of the interaction region.**



**Expertise on accelerator  
technology**

**SAXS**

**Excelent workshop - vacuum -  
precision mechanics**



# 3<sup>rd</sup> & 4<sup>th</sup> Generation Sources Survey

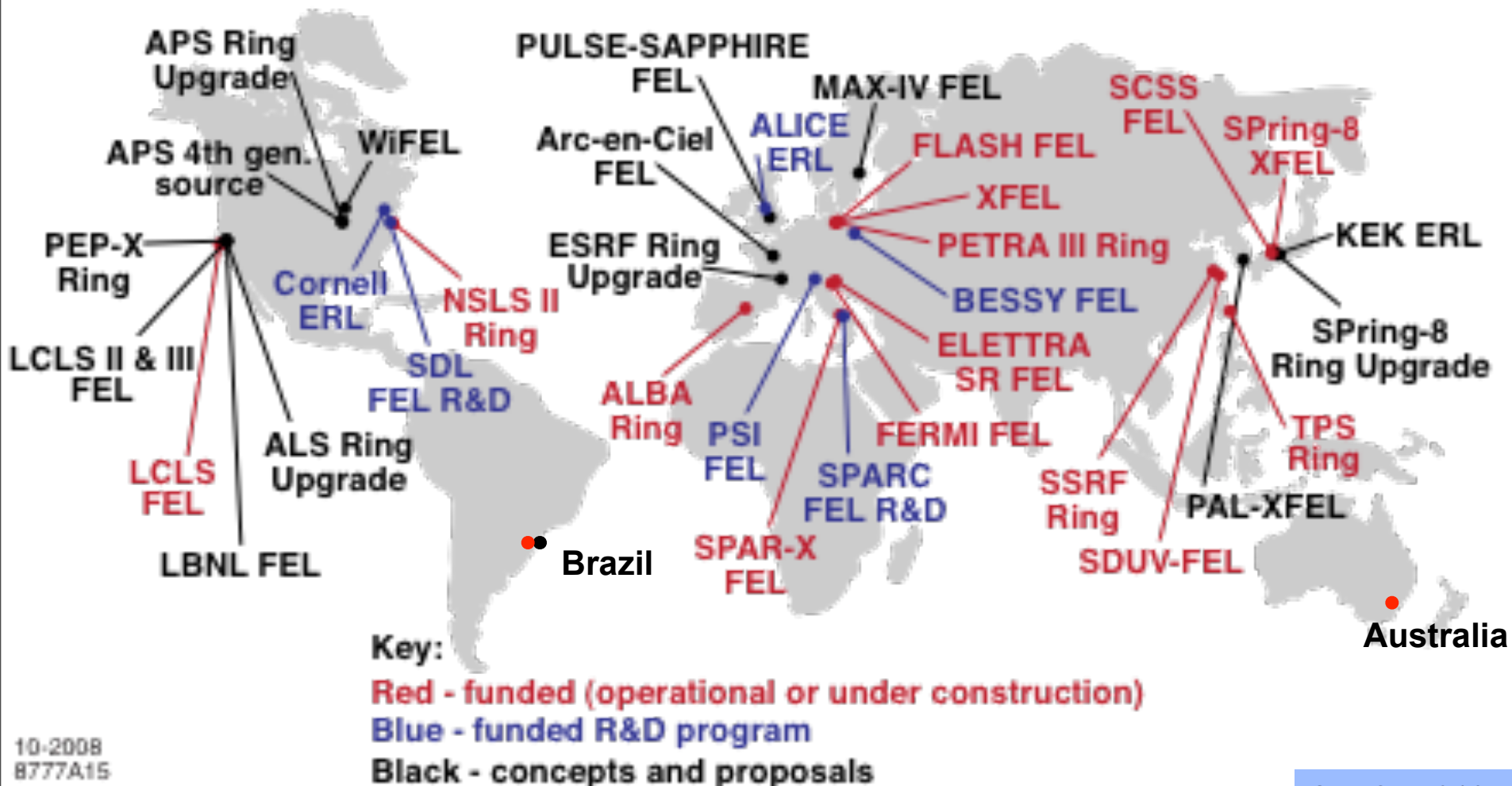


Figure 5.1. Proposed and funded x-ray light sources and R&D facilities around the world.

SLAC-R-910  
LBNL-1090E



| <b>País</b>     | <b>Nr. de Labs. de Luz Sincrotón</b> | <b>Laboratorios de Luz de Sincrotrón</b>                                                                                                                                                                               | <b>Lugar en la lista de economías 2005 (Inter. Monetary Fund - GDP - )</b> |
|-----------------|--------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|
| <b>EEUU</b>     | 10                                   | ALS Berkeley California<br>APS Argonne, Illinois<br>CAMD, Lousiana<br>NSLS, Brookhaven<br>SPEAR, California<br>SRC, Aladdin, Madison<br>CESR, CHESS, Cornell<br>FEL, Duke<br>SURF-II, SURF-III, NIST, Maryland         | 1<br>(12,455,000MUSD)                                                      |
| <b>Japón</b>    | 12                                   | TSRF, Tohoku<br>SuperSOR, Tokio<br>NIRS, Chiba-shi<br>NanoHana, Ichicahra<br>NSSR, Nagoya<br>AIST, Tsukuba<br>UVSOR, Okazaki<br>MIRRORCLE, Ritsumeikan<br>KSR, Kyoto<br>SAGA, Tosu<br>HISOR, Hiroshima<br>Spring8, Hvo | 2<br>(4,505,000MUSD)                                                       |
| <b>Alemania</b> | 5                                    | ANKA, Karlsruhe<br>BESSY, Berlin<br>DELTA, Dortmund<br>ELSA, Bonn<br>DESY, Hamburg                                                                                                                                     | 3<br>(2,790,000 MUSD)                                                      |

| <b>País</b>       | <b>Nr. de<br/>Labs.<br/>de Luz<br/>Sincrotrón</b> | <b>Laboratorios de Luz<br/>de Sincrotrón</b>         | <b>Lugar en la lista de<br/>economías 2005<br/>(Inter. Monetary Fund -<br/>GDP - )</b> |
|-------------------|---------------------------------------------------|------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>China</b>      | 3                                                 | BSRF, Beijing<br>NSRL, Hefei<br>SSRC, Shangai        | 4<br>(2,234,000 MUSD)                                                                  |
| <b>Inglaterra</b> | 2                                                 | Diamond, Oxfordshire<br>SRS, Daresbury               | 5<br>(2,229,000 MUSD)                                                                  |
| <b>Francia</b>    | 3                                                 | ESRF, Grenoble<br>LURE, Orsay<br>SOLEIL, Saint Aubin | 6<br>(2,126,000 MUSD)                                                                  |
| <b>Italia</b>     | 2                                                 | Elettra, Trieste<br>DAFNE, Frascati                  | 7<br>(1,765,000 MUSD)                                                                  |
| <b>Canada</b>     | 1                                                 | CLS, Saskatoon                                       | 8<br>(1,132,000 MUSD)                                                                  |
| <b>España</b>     | 1                                                 | ALBA, Valle                                          | 9<br>(1,126,000 MUSD)                                                                  |
| <b>Brasil</b>     | 1                                                 | LNLS, Campinas                                       | 10<br>(795,000 MUSD)                                                                   |
| <b>Corea</b>      | 1                                                 | Pohang, Pohang                                       | 11<br>(787,000 MUSD)                                                                   |
| <b>India</b>      | 1                                                 | INDUS-1,INDUS-2, Indore                              | 12<br>(772,000 MUSD)                                                                   |
| <b>Mexico</b>     | 0                                                 | Propuesta en curso                                   | 13<br>(768,000 MUSD)                                                                   |

| <b>País</b>      | <b>Nr. de<br/>Labs.<br/>de Luz<br/>Sincrotrón</b> | <b>Laboratorios de Luz<br/>de Sincrotrón</b>                           | <b>Lugar en la lista de<br/>economías 2005<br/>(Inter. Monetary Fund -<br/>GDP - )</b> |
|------------------|---------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Rusia</b>     | 4                                                 | TNK, Moscu<br>DELSY, Dubna<br>Siberia-1 Siberia-2<br>SSRC, Novosibirsk | 14<br>(763,000 MUSD)                                                                   |
| <b>Australia</b> | 1                                                 | Melbourne                                                              | 15<br>(708,000 MUSD)                                                                   |
| <b>Suiza</b>     | 1                                                 | SLS, Villigen                                                          | 18<br>(367,000 MUSD)                                                                   |
| <b>Suecia</b>    | 1                                                 | MAX, Lund                                                              | 20<br>(359,000 MUSD)                                                                   |
| <b>Taiwan</b>    | 1                                                 | NSRRC, Hsinchu                                                         | 21<br>(346,000 MUSD)                                                                   |
| <b>Dinamarca</b> | 1                                                 | ISA, ASTRID, Aahrus                                                    | 27<br>(260,000 MUSD)                                                                   |
| <b>Tailandia</b> | 1                                                 | NSRC, Nakhon                                                           | 36<br>( 173,000 MUSD)                                                                  |
| <b>Singapore</b> | 1                                                 | SSRL, Singapore                                                        | 43<br>(116,000 MUSD)                                                                   |
| <b>Jordania</b>  | 1                                                 | SESAME                                                                 | 95<br>(12,000 MUSD)                                                                    |
| <b>Armenia</b>   | 1                                                 | CANDLE                                                                 | 136<br>( 3,782 MUSD)                                                                   |

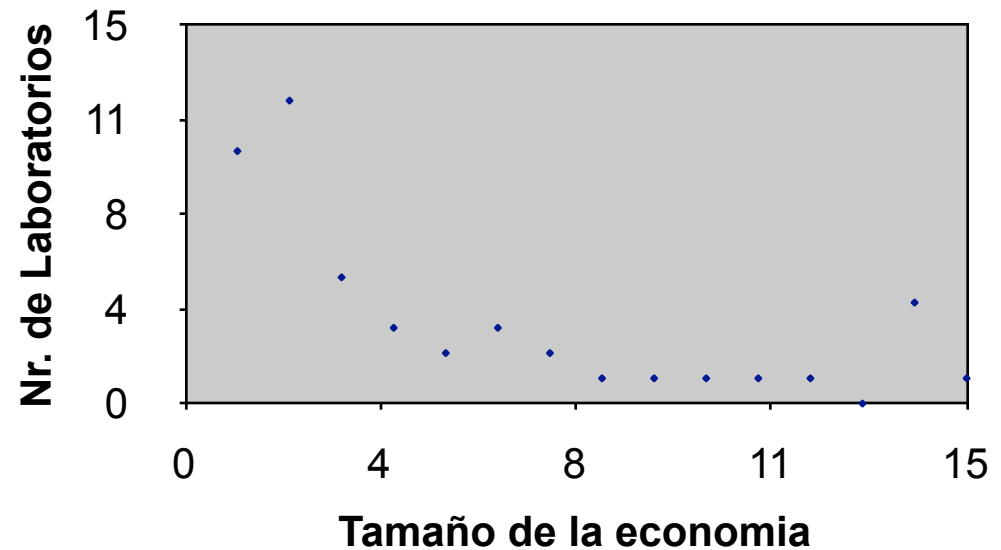
# The World's Largest Economies

## January 7, 2003

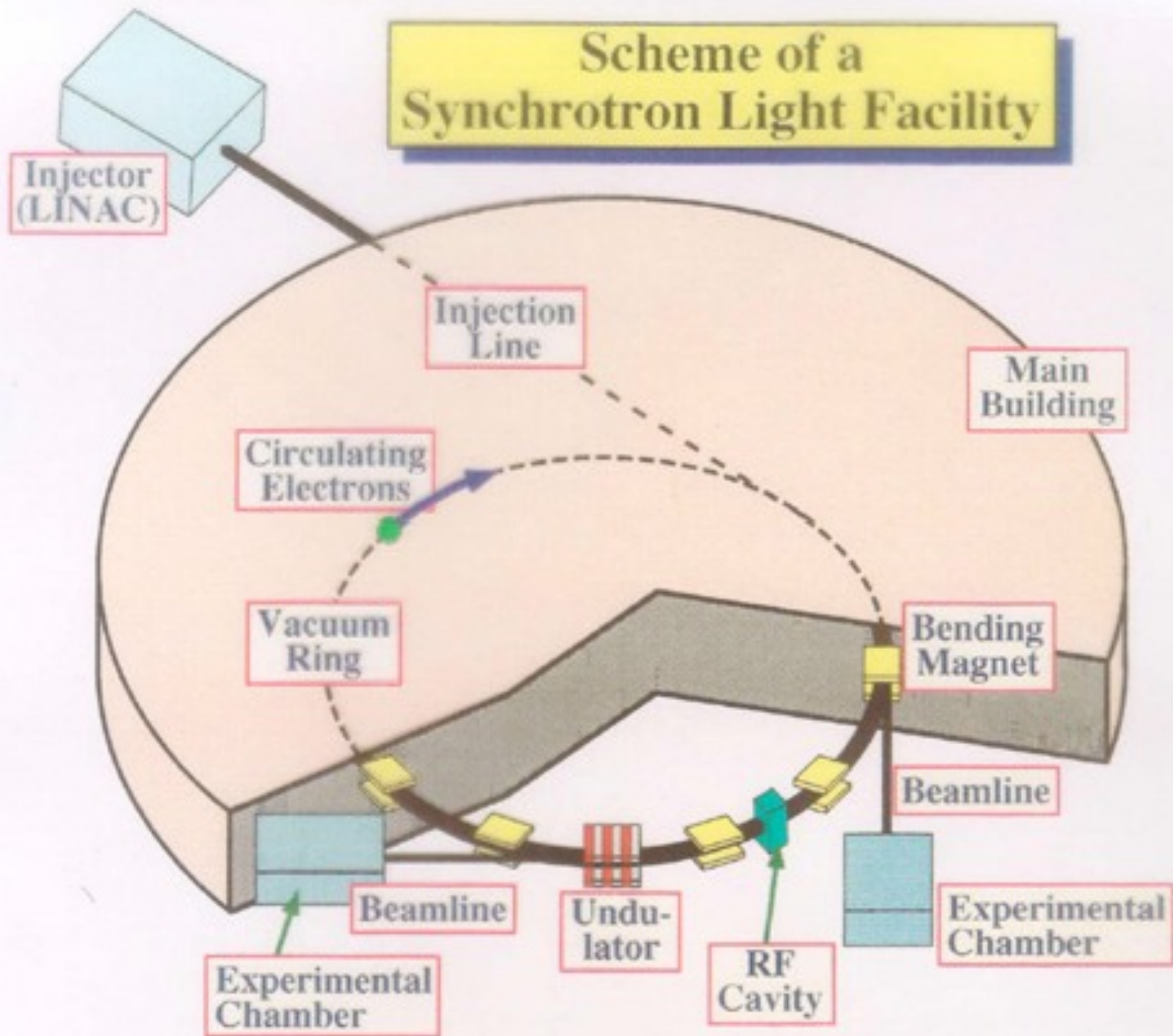
| Largest World Economies |                    |                   |
|-------------------------|--------------------|-------------------|
| No.                     | Country            | GDP \$US billions |
| 1                       | USA                | 10,208            |
| 2                       | Japan              | 4,149             |
| 3                       | Germany            | 1,847             |
| 4                       | United Kingdom     | 1,424             |
| 5                       | France             | 1,307             |
| 6                       | China (exc.HK)     | 1,159             |
| 7                       | Italy              | 1,089             |
| 8                       | Canada             | 700               |
| 9                       | Mexico             | 618               |
| 10                      | Spain              | 582               |
| 11                      | Brazil             | 504               |
| 12                      | India              | 481               |
| 13                      | Korea              | 422               |
| 14                      | Netherlands        | 380               |
| 15                      | Australia          | 357               |
| 16                      | Russian Federation | 310               |
| 17                      | Taiwan             | 282               |
| 18                      | Argentina          | 269               |
| 19                      | Switzerland        | 247               |
| 20                      | Belgium            | 227               |

La medida del rezago:

## Economía & Tecnología de Aceleradores



# Scheme of a Synchrotron Light Facility



| Pais       | Número de Hospitales y centros de investigación en hadroterapia | Hospitales y/o Centros de Investigación                                                                                                           | Lugar en la lista de economías 2005 (Inter. Monetary Fund - GDP - ) |
|------------|-----------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|
| EEUU       | 4                                                               | Loma Linda Proton Treatment Center<br>Eye Therapy at the Crocker Lab<br>The Northeast proton therapy center<br>Midwest proton radiation institute | 1<br>(12,455,000MUSD)                                               |
| Japón      | 2                                                               | Proton Medical Research Center, Tsukuba<br>National Institute of Radiological Sciences, Chiba                                                     | 2<br>(4,505,000MUSD)                                                |
| Alemania   | 2                                                               | Heavy Ion Center GSI<br>Rinecker Proton Therapy Center Munchen                                                                                    | 3<br>(2,790,000 MUSD)                                               |
| China      | 0                                                               |                                                                                                                                                   | 4<br>(2,234,000 MUSD)                                               |
| Inglaterra | 1                                                               | Clatterbridge Centre for Oncology                                                                                                                 | 5<br>(2,229,000 MUSD)                                               |
| Francia    | 2                                                               | Center of Proton Therapy Orsay<br>Center Atoine Lacassagne                                                                                        | 6<br>(2,126,000 MUSD)                                               |
| Italia     | 1                                                               | Tern                                                                                                                                              | 7<br>(1,765,000 MUSD)                                               |
| Canada     | 1                                                               | Cancer treatment with protons<br>Triumf                                                                                                           | 8<br>(1,132,000 MUSD)                                               |
| España     | 0                                                               |                                                                                                                                                   | 9<br>(1,126,000 MUSD)                                               |
| México     | ¿?                                                              |                                                                                                                                                   | 13<br>(768,000 MUSD)                                                |
| Rusia      | 1                                                               | Medical Physics Department ITEP                                                                                                                   | 14<br>(763,000 MUSD)                                                |