Tópicos de física contemporánea

ACELERACIÓN DE PARTÍCULAS CARGADAS BASADA EN PLASMA

Eduardo A Orozco, PhD Física Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ciencias – Escuela de Física – UIS Marzo 23, 2023



CONTENIDO





Escuela de Física UIS

Introducción

- Fuerza ponderomotriz
- Aceleración wakefield AWF
 - AWF impulsada por láser
 - AWF impulsada por partículas cargadas
 - Descripción teórica
- Estado del arte







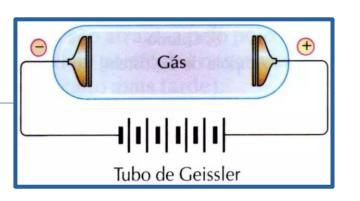


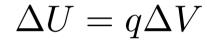


1896: Se descubre el electrón



1896: Se descubren los Rayos X







IMPLANTACIÓN IÓNICA

GENERACIÓN DE RAYOS X

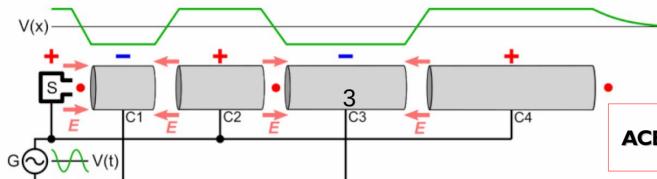
PRE-ACELERACIÓN DE PARTÍCULAS CARGADAS











ACELERADORES LINEALES (LINACs)

Emplean fuentes de radiofrecuencia para acelerar partículas cargadas



3.2 km: SLAC, Laboratorio Nacional de Aceleradores - California

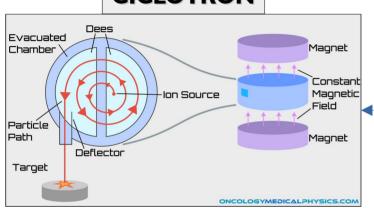






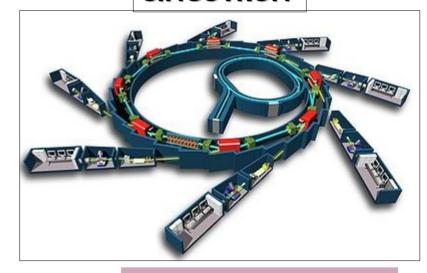
Escuela de Física UIS

CICLOTRÓN



Aceleradores circulares

SINCOTRÓN



Límite definido por la radiación sincrotrón



Campo magnéticos complejos (>desafíos)





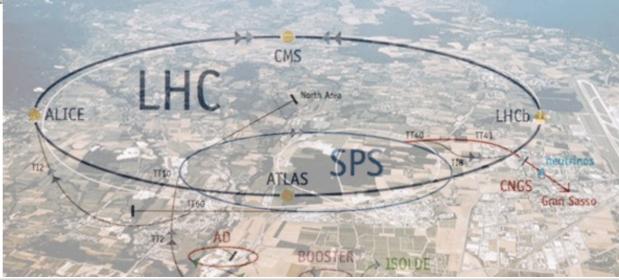






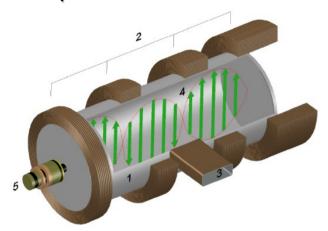
La ganancia de energía depende de la longitud del dispositivo







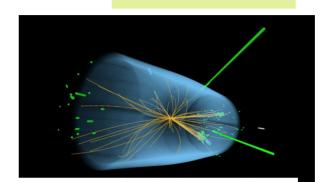
SARA: Spatial AutoResonant Acceleration

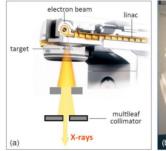


El campo magnetostático se ajusta a lo largo del eje de la cavidad resonante para mantener el régimen de aceleración a medida que los electrones se mueven en trayectorias helicoidales.



APLICACIONES







En 2010, se registró que cerca del 85% de los aceleradores en el mundo se usan para aplicaciones industriales y de este porcentaje, la mitad para terapias médicas

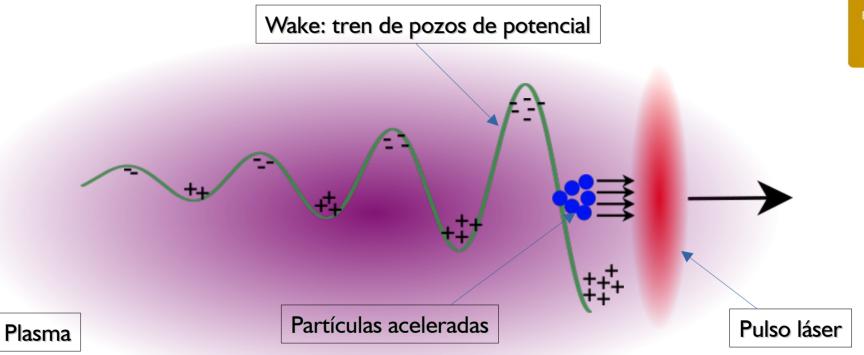








Escuela de Física UIS



LASER WAKEFIELD ACCELERATION

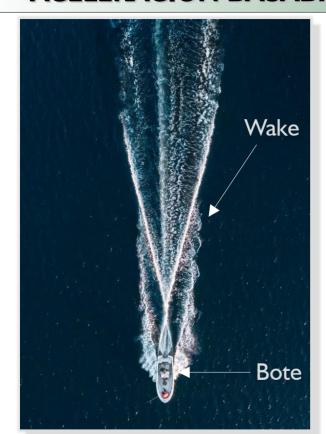


T. Tajima & J.M. Dawson (PRL:1979)





Escuela de Física UIS



- Cuando el bote navega en el agua, genera una onda detrás de él, conocida como "Wake".
- La velocidad de fase de la onda es la rapidez del bote.
- Por lo que podemos usar un pulso láser que viaja a cerca de c en un plasma para impulsar una fuerte ola detrás de él.
- La onda en este caso es una oscilación electrónica en el plasma:

$$\omega_p = \left(\frac{n_0 e^2}{m_e \epsilon_0}\right)^{\frac{1}{2}}$$

Il a formación del wake es similar a la estela de un bote en el agua!!





Escuela de

Wake

Importante:

Es la onda plásmica, wake, quien acelera las partículas cargadas, NO el pulso láser.

Sin el wake, No hay aceleración



Partículas aceleradas











¿Siempre hay aceleración?

Es necesario inyectar a las cargas electricas con una fase adecuada

$$0 < \zeta \kappa < \pi$$

$$\zeta = z - v_g t \quad \kappa = \frac{\omega_p}{v_g}$$

Calidad de los electrones acelerados

$$L = \lambda_p$$

Baja dispersión energética ~ Aceleración monoenergéticos



Régimen BlowOut: Se crean zonas completamente libres de electrones





El campo eléctrico que puede soportar un plasma depende fuertemente de la concentración electrónica

Escuela de Física UIS

$$E_{max} = \frac{m_e c}{e} \omega_p$$
$$\omega_p^2 = \frac{e^2 n_e}{\epsilon_o m_e}$$

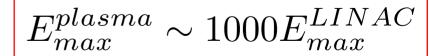
si
$$n_e = 10^{18}/cm^3$$

LINACs $E_{max} \sim 100 MV/m$

 $E_{max} \sim 96GV/m$

ATRACTIVO:

Reducir drásticamente la longitud de aceleración respecto a los aceleradores convencionales





intensidad de campo EM



FUERZA PONDEROMOTRIZ

Industrial de

De naturaleza NO lineal Surge de la interacción de un campo EM armónico con partículas cargadas eléctricamente

Pulso electromagnético Fuerza Fuerza ponderomotriz ponderomotriz Partículas ... Partículas cargadas $\mathbf{F}_{pond} = -\frac{q^2}{4\gamma m^2 \omega^2} \nabla \left[\mathbf{E}^2(\mathbf{r}) \right]$ Desplazamiento de carga eléctrica a zonas de menor

Física y Tecnología del Plasma y Corrosión

FUERZA PONDEROMOTRIZ





I) Considerando q**E** como fuerza primaria

2) Fuerza q**VxB** como perturbación

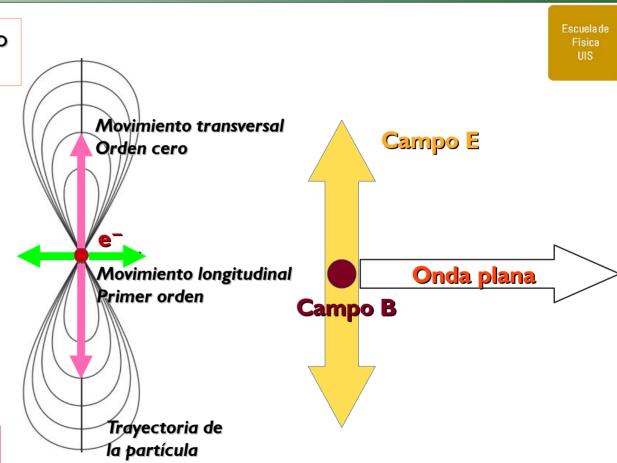
La fuerza neta promedio es NULA

Pulsos

Alta intensidad, aumenta la dinámica longitudinal

Corta duración: Altas variaciones, descompensación



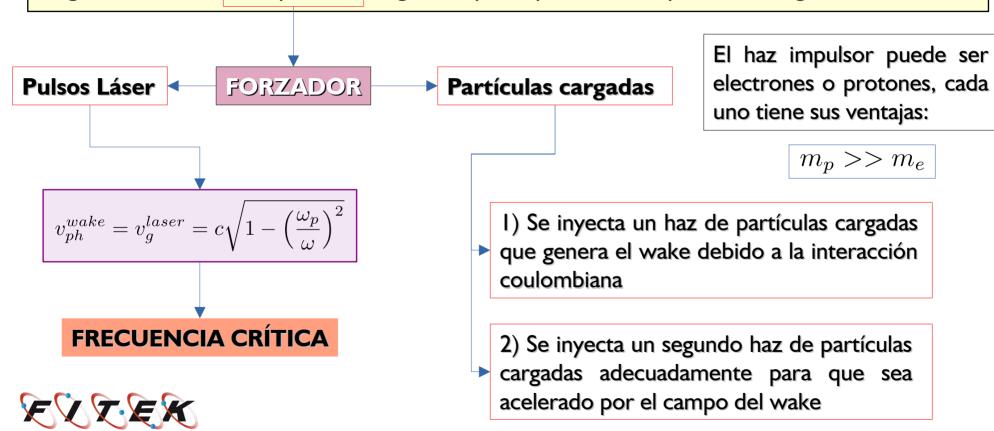






Escuelade Física UIS

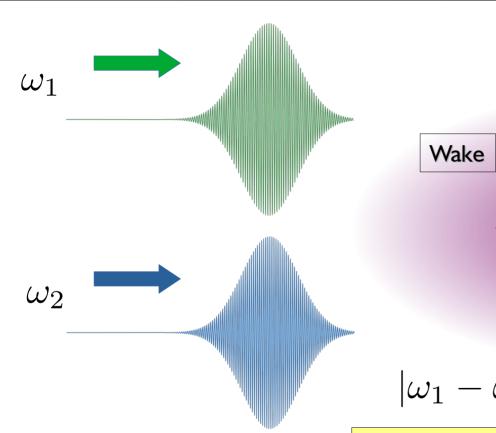
La aceleración basada en plasma es un mecanismo en el que se emplea el campo eléctrico longitudinal de una onda plásmica de gran amplitud para acelerar partículas cargadas.

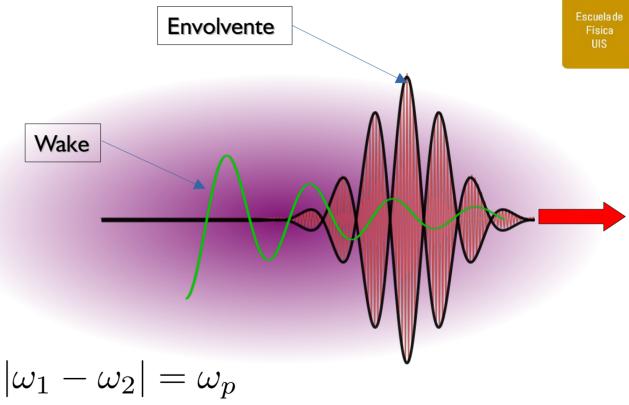


Laser Beat-Wave Acceleration: LBWA









Generación del wakefield bajo la excitación resonante del plasma



Self-Modulated Laser Wakefield Acceleration: SM-LWFA

Se emplean pulsos láser de mayor duración en plasmas de mayor concentración respecto a los anteriores esquemas (LWFA & LBWA)

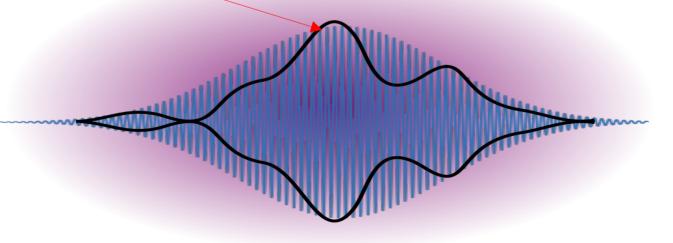
Wakefield es generado debido a la auto-modulación

El pulso láser es modulado a la frecuencia plásmica.

Examen de candidatura – Doctorado en Física

Automodulación del perfil envolvente

Mayor intensidad de campo para la aceleación







Escuela de Física UIS

Aceleración Wakefield impulsada por láser: (Resumen)

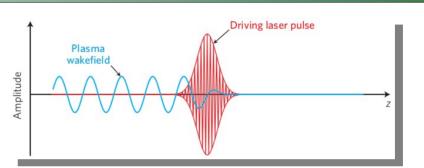
- * Aceleración cuasi-monoenergética
- * Pulsos muy cortos e intensos

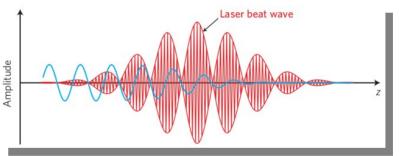
- * Pulsos láser de mayor duración
- * Interacción resonante con el plasma

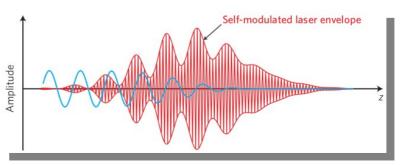


* Baja calidad de electrones acelerados













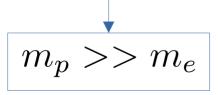
Escuela de Física UIS

I) Se inyecta un haz de partículas cargadas que genera el wake debido a la interacción coulombiana

Wakefield impulsado por partículas cargadas

2) Se inyecta un se cargadas adecuad

El haz impulsor puede ser electrones o protones, cada uno tiene sus ventajas:



2) Se inyecta un segundo haz de partículas cargadas adecuadamente para que sea acelerado por el campo del wake

Wake: tren de pozos de potencial

Plasma

Partículas aceleradas

Haz de partículas



Descripción teórica del fenómeno





Escuela de Física UIS

La formación del wake se debe a la interacción NO lineal del agente forzador con el plasma

- Propagación del forzador por el plasma genera la onda plásmica
- TRANSFERENCIA DE ENERGÍA Y MOMENTO

FORZADOR

Reducción en la amplitud y velocidad del forzador

Fenómeno autoconsistente

Afectación directa de la amplitud y velocidad de fase del wakefield



Descripción teórica del fenómeno





Escuela de Física UIS

Paralela: A lo largo de la dirección de propagación del forzador

Dinámica 3D

Transversal: Efectos de focalización del haz acelerado

Efectos NO lineales

Ruptura de la onda plásmica: Posibilidad de auto-inyección de electrones

Dinámica autoconsistente

Transferencia de energía y momento

MODELOS ANALÍTICOS

Efectos relativistas



MODELOS NUMÉRICOS / SIMULACIONES COMPUTACIONALES

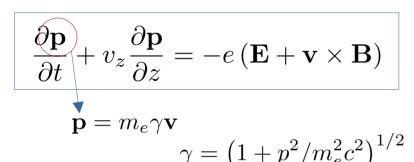
Universidad Industrial de Santander



Modelo analítico: Generación del wake por pulsos láser

Modelo ID, NO lineal y autoconsistente

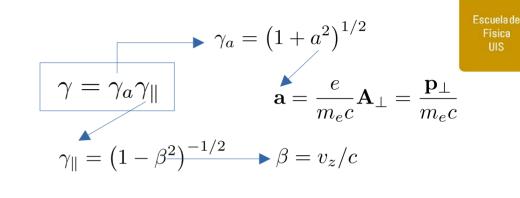
R. Bingham and et. Al, 1992



$$\mathbf{E} = -rac{\partial \mathbf{A}_{\perp}}{\partial t} - rac{\partial \phi}{\partial z}\mathbf{\hat{z}}$$
 $\mathbf{A}_{\perp} = A_{x}\mathbf{\hat{x}} + A_{y}\mathbf{\hat{y}}$



 ${f B}=
abla imes{f A}_{ot}$



El modelo incorpora las ecuaciones de continuidad, Poisson y de Onda para cerrar el sistema

$$\mathbf{a}(z,t) = \frac{1}{2}\mathbf{a_o}(\xi,\tau)e^{-i\theta} \qquad \begin{array}{c} \text{propagación} \\ \theta = \omega_o t - k_o z \end{array}$$

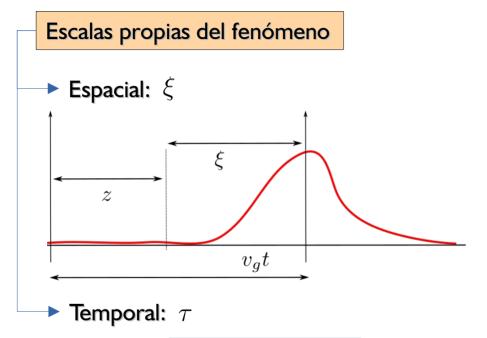
Envolvente(forma del pulso)

$$v_q = \partial \omega_o / \partial k_o$$

 $\xi = z - v_g t$

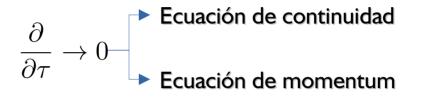


Modelo analítico: Generación del wake por pulsos láser



$$\omega_o^2 >> a_o^{-1} \frac{\partial^2 a}{\partial \tau^2}$$

Aproximación cuasiestática:



$$\gamma_a \left(\gamma_{\parallel} - \beta_o \sqrt{\gamma_{\parallel}^2 - 1} \right) - \varphi = 1$$

$$n\left(\beta_o \gamma_{\parallel} - \sqrt{\gamma_{\parallel}^2 - 1}\right) = n_o \beta_o \gamma_{\parallel}$$

Constantes aproximadas del modelo





Modelo analítico: Generación del wake por pulsos láser

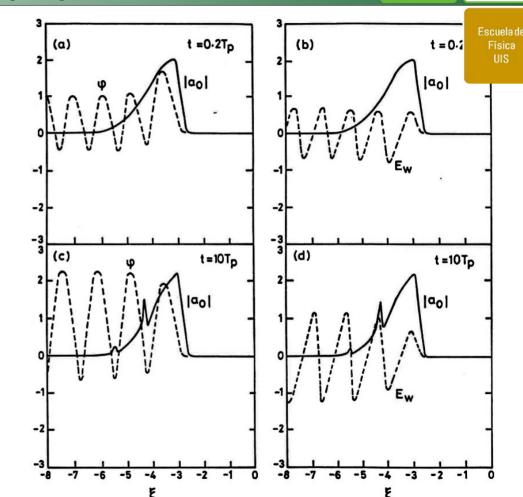
Finalmente el modelo queda completamente definido por la ecuación de Poisson y la ecuación de onda

$$\frac{\partial^2 \varphi}{\partial \xi^2} = \frac{\omega_{po}^2}{c^2} G$$

$$2i\omega_o \frac{\partial a_o}{\partial \tau} + 2c\beta_o \frac{\partial^2 a_o}{\partial \tau \partial \xi} + \frac{c^2 \omega_{po}^2}{\omega_o^2} \frac{\partial^2 a_o}{\partial \xi^2} = -\omega_{po}^2 H a_o$$

$$G = \frac{\sqrt{\gamma_{\parallel}^2 - 1}}{\beta_o \gamma_{\parallel} - \sqrt{\gamma_{\parallel}^2 - 1}}$$

$$H = 1 - \frac{\beta_o}{\gamma_a \left(\beta_o \gamma_{\parallel} - \sqrt{\gamma_{\parallel}^2 - 1}\right)}$$



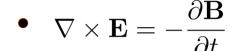


Modelo computacional: Simulación Particle In Cell

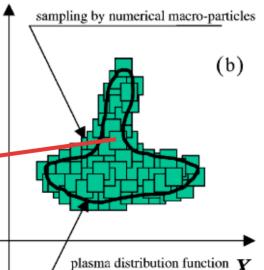
Las simulaciones PIC-EM (Particle In Cell ElectroMagnéticas) tridimensionales y relativistas resultan ser una de las mejores herramientas teóricas para estudiar la aceleración wakefield

donde,
$$\mathbf{J}(\mathbf{r},t) = \sum_{\alpha} q_{\alpha} \int \gamma \mathbf{v} f_{\alpha} d\mathbf{v}$$

$$f_{lpha}(\mathbf{r}, \mathbf{v}, t) = \sum_{p} f_{p}(\mathbf{r}, \mathbf{v}, t)$$



•
$$abla imes \mathbf{B} = \mu_0 \mathbf{J} - arepsilon_0 \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t}$$







Modelo computacional: Simulación Particle In Cell

Escuela de Física UIS

SuperPartícula:

$$f_p(\mathbf{r}, \mathbf{v}, t) = N_p S_{\mathbf{r}} (\mathbf{r} - \mathbf{r}_p(t)) \delta (\mathbf{v} - \mathbf{v}_p(t))$$

 $S_{\mathbf{r}}(\mathbf{r} - \mathbf{r}_p(t)) = \prod_{j=1}^{3} b_0 \left(\frac{x_j - x_{jp}(t)}{\Delta x_j} \right)$

La dinámica de cada SP está definida por la ecuación de Newton-Lorentz:

$$\frac{d\mathbf{r}_p}{dt} = \mathbf{v}_p, \quad \frac{d\left(\gamma m_s \mathbf{v}_p\right)}{dt} = q_s \left(\mathbf{E}_p + \mathbf{v}_p \times \mathbf{B}_p\right)$$

$$\mathbf{E}_{p} = \sum_{g} \mathbf{E}_{g} W (\mathbf{r}_{g} - \mathbf{r}_{p}) d\mathbf{r}$$

Física y Tecnología del Plasma y Corrosión

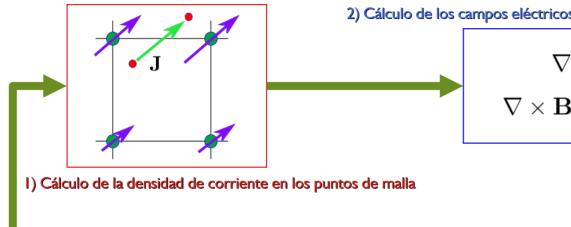
$$W(\mathbf{r}_g - \mathbf{r}_p) = \prod_{j=1}^{3} b_1 \left(\frac{x_{jg} - x_{jp}(t)}{\Delta x_j} \right)$$

Campos promediados que satisfacen los momentos de la ecuación de Vlasov



Modelo computacional: Simulación Particle In Cell

Industrial de



2) Cálculo de los campos eléctricos y magnéticos autoconsistentes en los puntos de malla

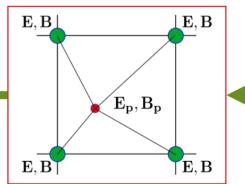
$$\nabla imes \mathbf{E^{sc}} = -rac{\partial \mathbf{B^{sc}}}{\partial t}$$

$$\nabla \times \mathbf{B^{sc}} = \mu_o \mathbf{J} - \mu_o \epsilon_o \frac{\partial \mathbf{E^{sc}}}{\partial t}$$

4) Movimiento de las superpartículas: Cálculo de nuevas posiciones y velocidades

$$\frac{d\mathbf{r_{p}}}{dt} = \mathbf{v_{p}}$$

$$\frac{d(\gamma m_{s} \mathbf{v_{p}})}{dt} = q_{s} \left(\mathbf{E_{p}} + \mathbf{v_{p}} \times \mathbf{B_{p}} \right)$$





3) Cálculo de los campos E y B netos en la posición de la superpatícula





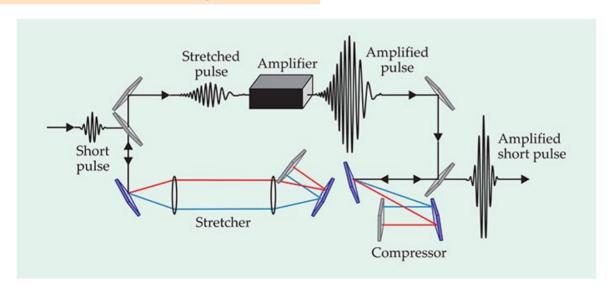
Escuela de Física UIS

1979: Tajima y Dawson propusieron la aceleración wakefield - LWFA

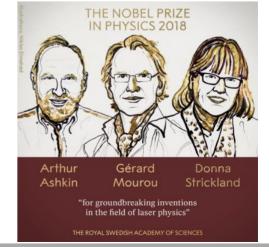
Inviable para la época

1985, Universidad de California:
Primera evidencia experimental

Se propone el esquema LBWA como alternativa



1985: Se desarrolla la técnica chirped pulse amplification-(CPA) por Strickland y Mourou







En el 2004 se presentó la primera evidencia experimental de la generación del wakefield por pulsos láser para la aceleración de electrones (LWFA)



High-quality electron beams from a laser wakefield accelerator using plasma-channel quiding

C. G. R. Geddes^{1,2}, Cs. Toth¹, J. van Tilborg^{1,3}, E. Esarey¹, C. B. Schroeder¹, D. Bruhwiler⁴. C. Nieter⁴. J. Carv^{4,5} & W. P. Leemans

A laser-plasma accelerator producing monoenergetic electron beams

J. Faure¹, Y. Glinec¹, A. Pukhov², S. Kiselev², S. Gordienko², E. Lefebvre³, J.-P. Rousseau¹, F. Burgy¹ & V. Malka¹

¹Laboratoire d'Optique Appliquée, Ecole Polytechnique, ENSTA, CNRS, UMR 7639, 91761 Palaiseau, France

²Institut fur Theoretische Physik, 1, Heinrich-Heine-Universitat Duesseldorf, 40225 Duesseldorf, Germany

³Département de Physique Théorique et Appliquée, CEA/DAM Ile-de-France, 91680 Bruvères-le-Châtel, France

Monoenergetic beams of relativistic electrons from intense laser-plasma interactions

S. P. D. Mangles¹, C. D. Murphy^{1,2}, Z. Najmudin¹, A. G. R. Thomas¹, J. L. Collier², A. E. Dangor¹, E. J. Divall², P. S. Foster², J. G. Gallacher³,

C. J. Hooker², D. A. Jaroszynski³, A. J. Langley², W. B. Mori⁴,

P. A. Norrevs², F. S. Tsung⁴, R. Viskup³, B. R. Walton¹ & K. Krushelnick¹

¹The Blackett Laboratory, Imperial College London, London SW7 2AZ, UK ²Central Laser Facility, Rutherford Appleton Laboratory, Chilton, Didcot, Oxon,

³Department of Physics, University of Strathclyde, Glasgow G4 0NG, UK 4 Department of Physics and Astronomy, UCLA, Los Angeles, California 90095, USA



¹Lawrence Berkeley National Laboratory, 1 Cyclotron Road, Berkeley, California 94720, USA

²University of California, Berkeley, California 94720, USA

Technische Universiteit Eindhoven, Postbus 513, 5600 MB Eindhoven, the Netherlands

⁴Tech-X Corporation, 5621 Arapahoe Ave. Suite A, Boulder, Colorado 80303, USA ⁵University of Colorado, Boulder, Colorado 80309, USA

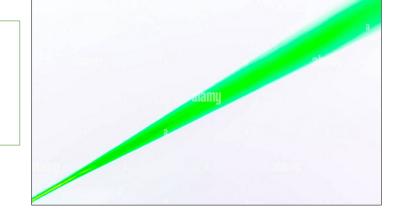


Actualmente el esquema LWFA es la técnica más empleada por dos grandes razones:



- Las técnicas LBWA y SM-LWFA excitan resonantemente el wake y al aumentar considerablemente la velocidad de las partículas estas pierden la condición de resonancia, imponiendo así un limitante en la amplitud del wakefield
- Un pulso láser de corta duración propensa a la aceleración monoenergética de los electrones, este fenómeno se conoce como régimen BlowOut

Limitante: divergencia del haz, de modo que el área de enfoque (spot) se incrementa a medida que el pulso se propaga en el plasma debido a la difracción, limitando así, la distancia efectiva de aceleración









Escuela de Física UIS

El récord energético actual de electrones acelerados por este mecanismo es de 7,8GeV obtenidos en el Laboratorio BELLA - Berkeley Lab Laser Accelerator en el 2019

Pulso láser con un pico de potencia de **0.85PW** y divergencia de **0.2mrad**

 $n \sim 10 \times 10^{17} cm^{-3}$

El éxito de este experimento se centra en la mejora de las técnicas de guiado de pulsos láser de clase PW, reduciendo su divergencia

En **DESY** - Deutsches Elektronen-Synchrotron se logró demostrar la gran estabilidad operacional del mecanismo

Aceleración de una nube electrónica cada segundo durante 30 horas aprox.



368MeV



32

Experimento	Año	Energía alcanzada [GeV]	Gradiente de aceleración [GeV/m]	Ángulo de divergencia [mrad]
a) Faure, J. et al. [88]	2004	0.17	57	10
b) Leemans, W. P. et al. [93]	2006	1	30	1.6
c) Karsch, et al. [94]	2007	1	66	2
d) Hafz, N. A. M. et al. [95]	2008	1.5	300	1.8
e) Froula, D. H. et al. [96]	2009	0.72	90	2.85
f) Clayton, C. E. et al. [97]	2010	1.45	111	4.4
g) Lu, H. et al. [98]	2011	1.8	45	4.5
h) Kim, H. T. et al. [99]	2013	3	300	4
i) BELLA, (2014) [92]	2014	4.2	46	0.3
j) Kim, H. T. et al. [100]	2017	2.3	230	1.4
k) BELLA, (2019) [91]	2019	7.8	86	0.2

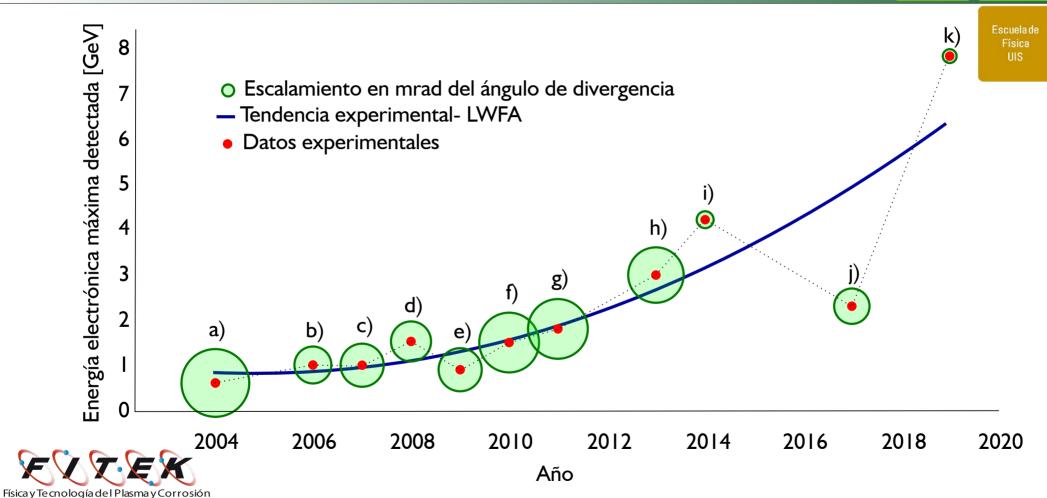
Jesús Eduardo López Durán, Universidad Industrial de Santander



Examen de candidatura – Doctorado en Física

Estado del arte





4 JULY 1988



Escuela de Física

Estado del arte

1988. Laboratorio nacional de Primera evidencia Agonne: experimental de la aceleración impulsada por partículas

PHYSICAL REVIEW LETTERS VOLUME 61, NUMBER 1

Experimental Observation of Plasma Wake-Field Acceleration

J. B. Rosenzweig, D. B. Cline, (a) B. Cole, (b) H. Figueroa, (c) W. Gai, R. Konecny, J. Norem, P. Schoessow, and J. Simpson

High Energy Physics Division, Argonne National Laboratory, Argonne, Illinois 60439 (Received 21 March 1988)

We report the first experimental test of the physics of plasma wake-field acceleration performed at the Argonne National Laboratory Advanced Accelerator Test Facility. Megavolt-per-meter plasma wake fields are excited by a intense 21-MeV, multipiscosecond bunch of electrons in a plasma of density $n_e \simeq 10^{13}$ cm⁻³, and probed by a low-intensity 15-MeV witness pulse with a variable delay time behind the intense bunch. Accelerating and deflecting wake-field measurements are presented, and the results compared to theoretical predictions.

PACS numbers: 52.75.Di, 52.40.Mi

El récord actual lo se le atribuye al experimento realizado en el SLAC en el 2007

> Electrones acelerados hasta 84GeV en un plasma con $n\sim 2.7\times 10^{17}$ cm⁻³ con una nube electrónica impulsora de 42GeV.

Published: 15 February 2007

Energy doubling of 42 GeV electrons in a metre-scale plasma wakefield accelerator

lan Blumenfeld, Christopher E. Clayton, Franz-Josef Decker, Mark J. Hogan, Chengkun Huang, Rasmus Ischebeck, Richard Iverson, Chandrashekhar Joshi 🖾 Thomas Katsouleas, Neil Kirby, Wei Lu, Kenneth A.

Marsh, Warren B. Mori, Patric Muggli, Erdem Oz, Robert H. Siemann, Dieter Walz & Miaomiao Zhou

Nature 445, 741-744 (2007) | Cite this article

5416 Accesses | 570 Citations | 49 Altmetric | Metrics



Física y Tecnología del Plasma y Corrosión



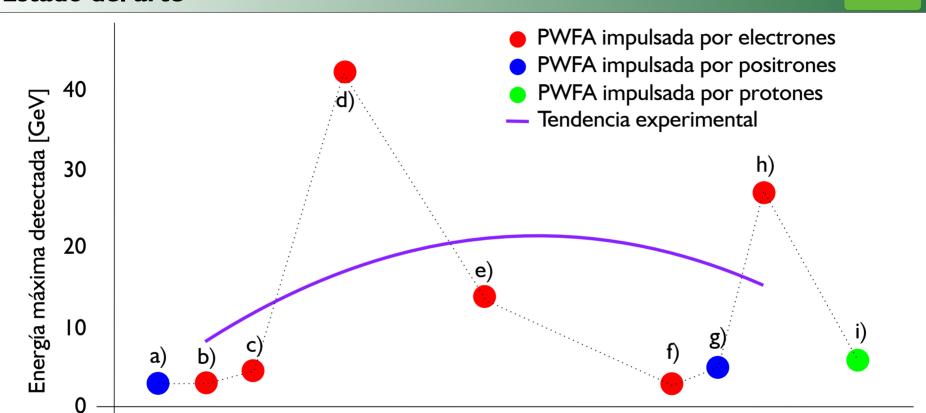
Industrial de

Experimento	Año	Energía ganada [GeV]	$rac{ ext{Gradiente de acel.}}{ ext{[GeV/m]}}$	Partícula impulsora	Energía haz impulsor [GeV]
a) Blue, B. E. et al [108]	2003	0.08	0.056	Positrón	28.5
b) Muggli, P. et al. [109]	2004	0.28	0.2	Electrón	28.5
c) Hogan, M. J. et al. [110]	2005	2.7	27	Electrón	28.5
d) Blumenfeld, I. et al. [107]	2007	42	52	Electrón	42
e) Muggli, P. et al. [111]	2010	14	36	Electrón	28.5
f) Litos, M. et al. [112]	2014	1.6	4.4	Electrón	28.5
g) Corde, S. et al. [113]	2015	5	1.3	Positrón	20.35
h) Corde, S. et al. [114]	2016	27	150	Electrón	20.35
i) Adli, E. et al. [115]	2018	2	0.2	Protón	400



Estado del arte





Años



Física y Tecnología del Plasma y Corrosión





Escuela de Física UIS

En los experimentos PWFA la energía final es mayor que en los experimentos LWFA

- I) La energía de las partículas impulsoras es del mismo orden que la energía de las partículas aceleradas ~GeV
- 2) los gradientes de aceleración son significativamente menores

La aceleración basada en pulsos láser muy intensos y de corta duración es más atractiva

La aceleración impulsada por protones se está implementando y se tiene grandes expectativas debido a que protones con gran energía pueden generar altos gradientes de aceleración

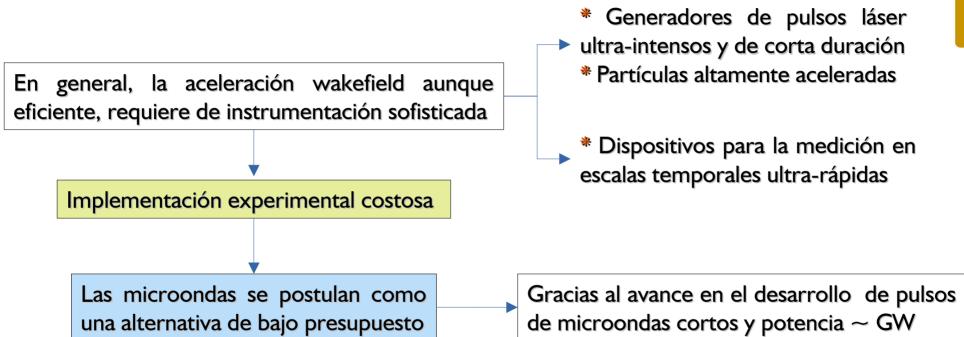


AWAKE (Advanced WAKEfield Experiment) - CERN

Universidad Industrial de Santander



Escuela de Física UIS





En guías de ondas, la energía EM se mantiene en una área fija. Mitiga el problema de difracción.

Wakefield en guías de ondas: Antecedentes

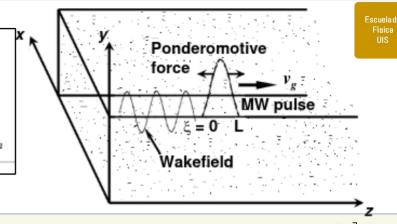




Numerical studies on wakefield excited by Gaussian-like microwave pulse in a plasma filled waveguide

Anil K. Aria, Hitendra K. Malik*

Plasma Waves and Particle Acceleration Laboratory, Department of Physics, Indian Institute of Technology Delhi, New Delhi 110016, India



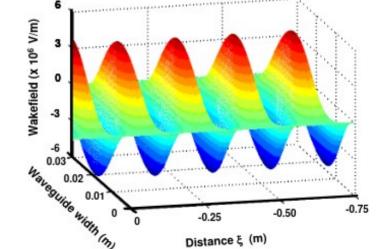
$$\phi'' + \frac{c}{2mv_g^2}\phi^2 + \frac{\omega_p^2}{v_g^2}\phi - \frac{1}{2}\left(\frac{E0^2c^2e}{mv_g^4}\right)\sin^2\left(\frac{\pi x}{b}\right) \times \left[\left(1 - \frac{v_g^2}{c^2}\right)\left[1 + \cos\{2\pi(\xi - L/2)/L\}\right]^2 - \frac{\pi^2}{b^2}\left(\xi + \frac{L}{2\pi}\sin\{2\pi(\xi - L/2)/L\}\right)^2\right] = 0$$

Open Acces

Wakefield Generation in a Plasma Filled Rectangular Waveguide

Anil Kumar Aria and Hitendra Kumar Malik

Plasma Waves and Particle Acceleration Laboratory, Department of Physics, Indian Institute of Technology Delhi, New Delhi-110 016, India





Wakefield en guías de ondas: Antecedentes



CrossMark



Escuelade Física

JOURNAL OF APPLIED PHYSICS 121, 033301 (2017)



High power microwave source for a plasma wakefield experiment

G. Shafir, A. Shlapakovski, M. Siman-Tov, Yu. Bliokh, J. G. Leopold, S. Gleizer, J. R. Gad. V. V. Rostov. and Ya. E. Krasik 1

¹Physics Department, Technion, Haifa 36000, Israel

²Institute of High Current Electronics, Russian Academy of Sciences, Tomsk, Russia

(Received 1 October 2016; accepted 24 December 2016; published online 17 January 2017)

The results of the generation of a high-power microwave (~550 MW, 0.5 ns, ~9.6 GHz) beam and feasibility of wakefield-excitation with this beam in under-dense plasma are presented. The microwave beam is generated by a backward wave oscillator (BWO) operating in the superradiance regime. The BWO is driven by a high-current electron beam (~250 keV, ~1.5 kA, ~5 ns) propagating through a slow-wave structure in a guiding magnetic field of 2.5 T. The microwave beam is focused at the desired location by a dielectric lens. Experimentally obtained parameters of the microwave beam at its waist are used for numerical simulations, the results of which demonstrate the formation of a bubble in the plasma that has almost 100% electron density modulation and longitudinal and transverse electric fields of several kV/cm. Published by AIP Publishing. [http://dx.doi.org/10.1063/1.4973734]

PHYSICS OF PLASMAS 25, 103101 (2018)



Self-channeling of a powerful microwave beam in a preliminarily formed plasma

Y. Cao, J. G. Leopold, Y. P. Bliokh, and Ya. E. Krasik Physics Department, Technion, Haifa 32000, Israel

(Received 7 August 2018; accepted 4 September 2018; published online 2 October 2018)

The self-channeling of a high power (<500 MW) sub-nanosecond microwave beam in the plasma formed by a neutral gas (>103 Pa) ionization was demonstrated by Shafir et al. [Phys. Rev. Lett. 120, 135003 (2018)]. In the present research, this effect is observed and studied in detail in a plasma, preliminarily formed by an rf discharge, in a low (<150 Pa) pressure gas. The results of analytical modeling and numerical particle-in-cell simulations show that ionization-induced channeling can be realized at a significantly lower power of the microwave beam and gas pressure if the preliminarily formed plasma is radially non-uniform with minimal on axis density. Published by AIP Publishing. https://doi.org/10.1063/1.5051226



PHYSICS OF PLASMAS 24, 063112 (2017)

Wakefield in a waveguide

Y. P. Bliokh, J. G. Leopold, G. Shafir, A. Shlapakovski, and Ya. E. Krasik Physics Department, Technion, Haifa 32000, Israel

(Received 20 January 2017; accepted 15 May 2017; published online 26 June 2017)

The feasibility of an experiment which is being set up in our plasma laboratory to study the effect of a wakefield formed by an ultra-short ($<10^{-9}$ s) high-power (\sim 1 GW) microwave (10 GHz) pulse propagating in a cylindrical waveguide filled with an under-dense $[(2-5) \times 10^{10} \,\mathrm{cm}^{-3}]$ plasma is modeled theoretically and simulated by a particle in cell code. It is shown that the radial ponderomotive force plays a circular key role in the wakefield formation by the TM mode waveguide. The model and the simulations show that powerful microwave pulses produce a wakefield at lower plasma density and electric field gradients but larger space and time scales compared to the laser produced wakefield in plasmas, thus providing a more accessible platform for the experimental study, Published by AIP Publishing, [http://dx.doi.org/10.1063/1.4989731]

The Interaction of a High-Power Sub-Nanosecond Microwave Pulse With Plasma

Yang Cao[®], J. G. Leopold, Yury P. Bliokh, Ankun Li, G. Shafir, A. Fisher, G. Leibovitch, V. V. Rostov[®], and Yakov E. Krasik[®]

Abstract-We present the results of experiments, analytical modeling, and numerical particle-in-cell (PIC) simulations for the propagation of a high-power, sub-nanosecond microwave pulse through a plasma-filled cylindrical waveguide in a parameter regime not studied before. Depending on the experimental conditions, the non-linear interaction of the high-power microwave (HPM) pulse with the plasma results in selfchanneling through it or causes the formation of a wakefield. To study this phenomenon, two backward wave oscillators (BWOs), operating in the super-radiant mode at frequencies of 9.6 and 28.6 GHz, were designed and tested. These BWOs were driven by an electron beam (~280 keV, ~1.5 kA, ~5 ns) generated in a magnetically insulated foil-less diode, from which it propagates through a slow wave structure guided by an external axial magnetic field. Microwave pulses of ~0.4-ns width, up to ~500-MW peak power at 9.6 GHz, and up to ~1.2 GW at 28.6 GHz were obtained. These powerful subnanosecond timescale microwave beam pulses were injected into the neutral gas, plasma, or their mixture in various configurations.

Index Terms-Backward oscillator, electron beam, high-power microwaves (HPMs), plasma, wakefield.

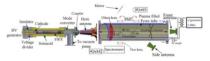


Fig. 1. Experimental setup of the 9.6-GHz SR-BWO, and the interaction chamber with the experimental diagnostic tools is pointed out [20]

In this article, we review the results of our experiments, analytical modeling, and numerical simulations of a ~10-GHz, ~300-MW, ~0.6-ns HPM beam self-channeling in a preliminarily prepared plasma and microwave-driven wakefield excitation in a plasma-filled cylindrical waveguide. We also present a super-radiant backward wave oscillator (SR-BWO) operating at 28.6 GHz, ~1.2 GW, and ~0.4 ns, which will be used for demonstrating the wakefield formation, as predicted by analytical modeling and numerical simulations.

Wakefield en guías de ondas: Antecedentes







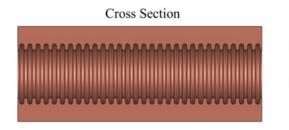
A CONCEPTUAL DESIGN OF A COMPACT WAKEFIELD ACCELERATOR FOR A HIGH REPETITION RATE MULTI USER X-RAY FREE-ELECTRON LASER FACILITY*

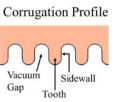
A. Zholents[†], S. Doran, W. Jansma, M. Kasa, R. Kustom, A. Nassiri, J. Power, S. Sorsher, N. Strelnikov, K. Suthar, E. Trakhtenberg, I. Vasserman, G. Waldschmidt, J. Xu, Argonne National Laboratory, Lemont, IL, USA
 S.S. Baturin, the University of Chicago, PSD Enrico Fermi Institute, Chicago, IL, USA
 H. Perez, Illinois Institute of Technology, Chicago, IL, USA

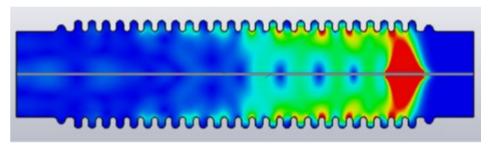
Design of a cylindrical corrugated waveguide for a collinear wakefield accelerator

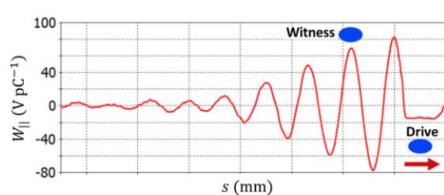
A. Siyo, 1,2,* N. Behdad, J. Booske, G. Waldschmidt, and A. Zholents 1, University of Wisconsin, Madison, Wisconsin 53715, USA 2, Advanced Photon Source, Argonne National Laboratory, Argonne, Illinois 60439, USA













Investigaciones actuales en el grupo:







¿Pueden acelerarse electrones mediante wakefields generados por pulsos de microondas intensos y de corta duración en un plasma de baja densidad en una guía de ondas, de modo que permitan proyectar este esquema de aceleración como la base de funcionamiento de generadores de rayos X compactos; e incluso, promover a la investigación experimental de este fenómeno con tecnologías menos sofisticadas?

Objetivo general

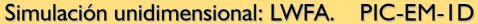
Simular computacionalmente la aceleración de electrones por wakefields generados por pulsos de microondas en una guía de onda rectangular llena de plasma

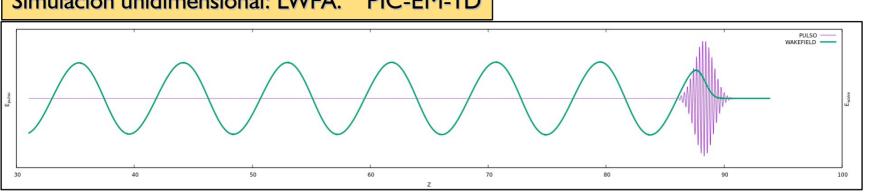


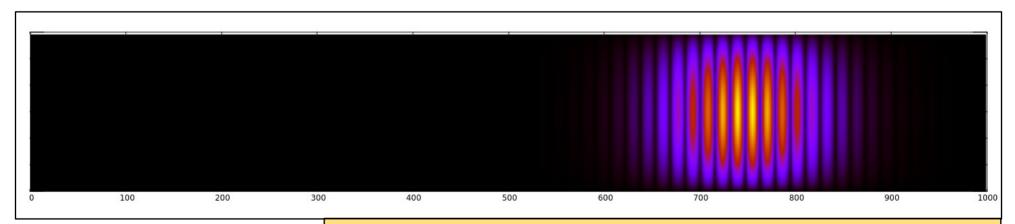
AVANCES













Simulación 3D: Pulso de microondas en guía rectangular. Modo TE₁₀

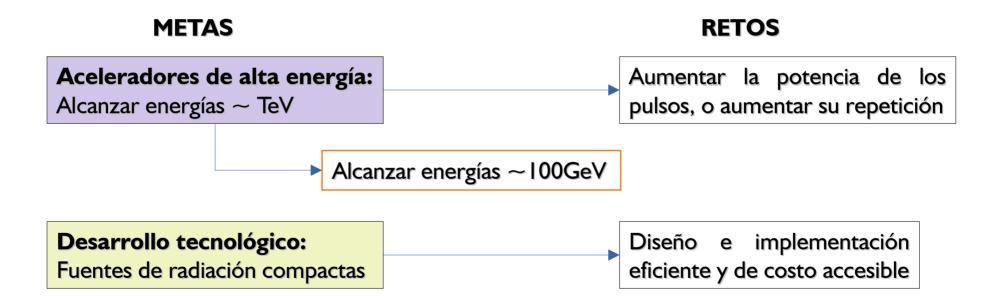
Retos y metas futuras de la aceleración wakefield





Escuela de

Aceleración wakefield: Base del desarrollo de la nueva generación de aceleradores







Escuela de Física UIS

GRACIAS!

