



**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA  
(ICAI)**

INGENIERÍA EN ORGANIZACIÓN INDUSTRIAL

**ESTUDIO DE VIABILIDAD PARA LA  
CONSTRUCCIÓN Y EXPLOTACIÓN DE UN  
ACELERADOR DE PARTÍCULAS EN ESPAÑA.**

**Autor: Rodrigo Santamaría Abad**  
Director Económico: Javier Porrero Soriano  
Director Técnico: Ángel García Franco

Madrid  
Junio de 2014

Proyecto realizado por el alumno:

Rodrigo Santamaría Abad

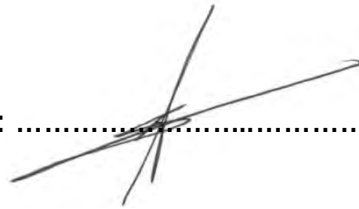
Fdo.: ..... Fecha: 06/06/2014

Autorizada la entrega del proyecto cuya información no es de carácter  
confidencial

LOS DIRECTORES DEL PROYECTO

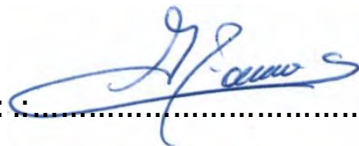
Ángel García Franco

Fdo.: ..... Fecha: 06/06/2014



Javier Porrero Soriano

Fdo.: ..... Fecha: 06/06/2014



Vº Bº del Coordinador de Proyectos

Susana Ortiz Marcos

Fdo.: ..... Fecha: ...../...../.....

# RESUMEN DEL PROYECTO

## Introducción

Los aceleradores de partículas, originalmente concebidos para la investigación de las leyes fundamentales de la naturaleza, los aceleradores, aceleran partículas cargadas a velocidades próximas a la de la velocidad de la luz antes de hacerlas colisionar. A día de hoy, los aceleradores son mucho más que una herramienta para la investigación básica: su destacado papel en la industria y la sociedad constata el importante impacto, aunque a menudo desapercibido, que tienen en nuestra vida cotidiana [TIARA].

Asimismo, si el haz de partículas tiene la energía correcta y la intensidad adecuada puede reducir y eliminar un tumor, detectar un objeto sospechoso en una carga, producir energía limpia, fabricar mejores neumático, trazar proteínas, limpiar el agua sucia para poder beberla, estudiar una explosión nuclear, fabricar un cable automotriz resistente al calor, diseñar un nuevo medicamento, diagnosticar una enfermedad, detectar la falsificación de arte, implantar iones en semiconductores, reducir la basura nuclear, datar objetos arqueológicos de edades iguales a la de la tierra o descubrir los secretos del universo, además de otras muchas aplicaciones que se descubren cada día.

En consecuencia, más de 400 billones de euros de productos terminados son tratados, esterilizados o examinados usando aceleradores industriales en todo el mundo anualmente [TIARA].

Más de 24.000 aceleradores de partículas han sido construidos en todo el mundo en los últimos 60 años para la producción de haces de partículas cargadas para su utilización en diferentes procesos industriales. Este número no incluye los más de 11.000 aceleradores de partículas que se han construido con fines medios para el uso de terapias con electrones, iones, neutrones o rayos-X [TIARA].

Más de 24.000 pacientes han sido tratados de cáncer con terapias de hadrones en Europa y 75.000 en todo el mundo [TIARA].

Cerca de 200 aceleradores son usados para investigación en todo el mundo, con un coste anual estimado de 1 billón de euros [TIARA].

Por todo ello, se presenta una gran oportunidad de negocio con un alto valor tecnológico y social: la construcción de un acelerador de partículas en España, que situaría a nuestro país en vanguardia de los países más desarrollados de nuestro entorno.

## Idea de Negocio

La construcción del acelerador de partículas tipo Tandem, será financiada con capital privado y fondos europeos y/o nacionales, la idea es que las empresas que puedan necesitar el acelerador compren una participación del mismo que le dé derecho al uso de un número de horas proporcional al capital invertido. Y las horas sobrantes serán alquiladas a otras empresas.

De esta manera, el acelerador Tandem de 6 MeV brindan la posibilidad de entablar un



“diálogo directo” con los átomos que constituyen un material dado, ya que producen un cierto tipo de “proyectiles” con carga positiva (iones) que se utilizan como tales para hacerlos colisionar contra los átomos “blanco” del material en estudio, a velocidades tan altas que es posible inducir una “respuesta característica” (radiación resultante) de los átomos blanco, debido a la energía que “absorben” durante la colisión.

Para tener un orden de magnitud, un ion usado como “proyectil” con una energía de 3 MeV tardaría 1,5 segundos en dar una vuelta completa alrededor de la tierra. El acelerador objeto de estudio puede llegar hasta los 10 MeV [ANDR13].

Concretamente, la respuesta de los átomos del material de estudio, radica en la emisión de rayos-X, rayos-gamma o de partículas originadas en el núcleo del átomo, con intensidades y energías únicas asociadas al átomo que las emite. En este sentido, pueden considerarse como sus “huellas dactilares”.

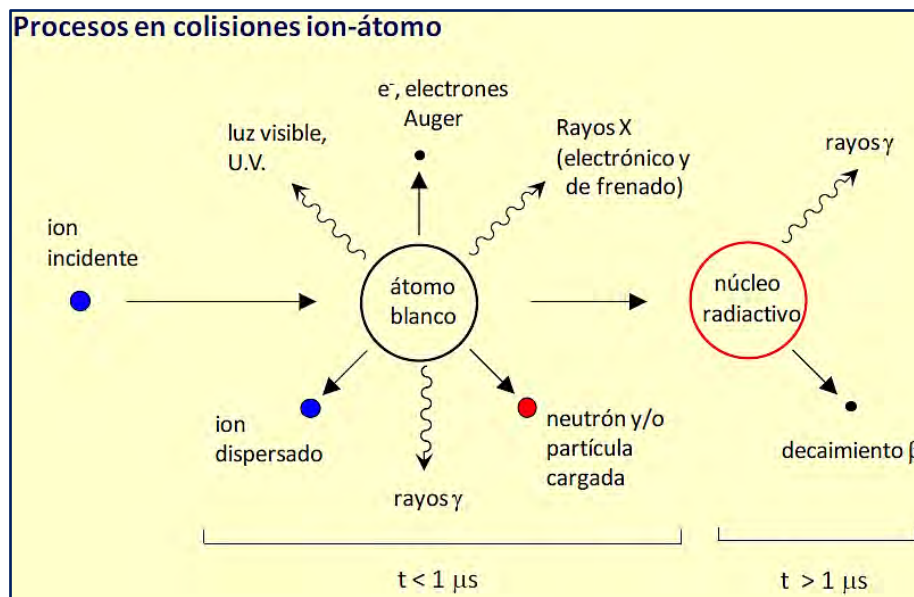


Ilustración 1. Proceso en colisión de iones.

Fuente: Aceleradores De Partículas: Irradiación Con Iones Y Electrones. Dr. Luis Rodríguez Fernández, Instituto de Física, UNAM.

Asimismo, la medición de la energía de radiación resultante y su valoración, permiten realizar el análisis cualitativo y cuantitativo de todos los elementos presentes en el material de estudio. La fiabilidad de este tipo de análisis es muy alta y la precisión habitualmente es del orden de partes por millón [ppm ( $10^{-6}$ )] [ANDR13], llegándose a alcanzar y superar las partes por trillón [ppt ( $10^{-12}$ )]. En términos de resolución, esto equivaldría a poder distinguir un objeto de 1 metro en 1.000 kilómetros (ppm) [ANDR13].

El equipo requerido para el análisis con haces de iones de alta energía, con independencia de la técnica empleada, consta de tres componentes básicos:

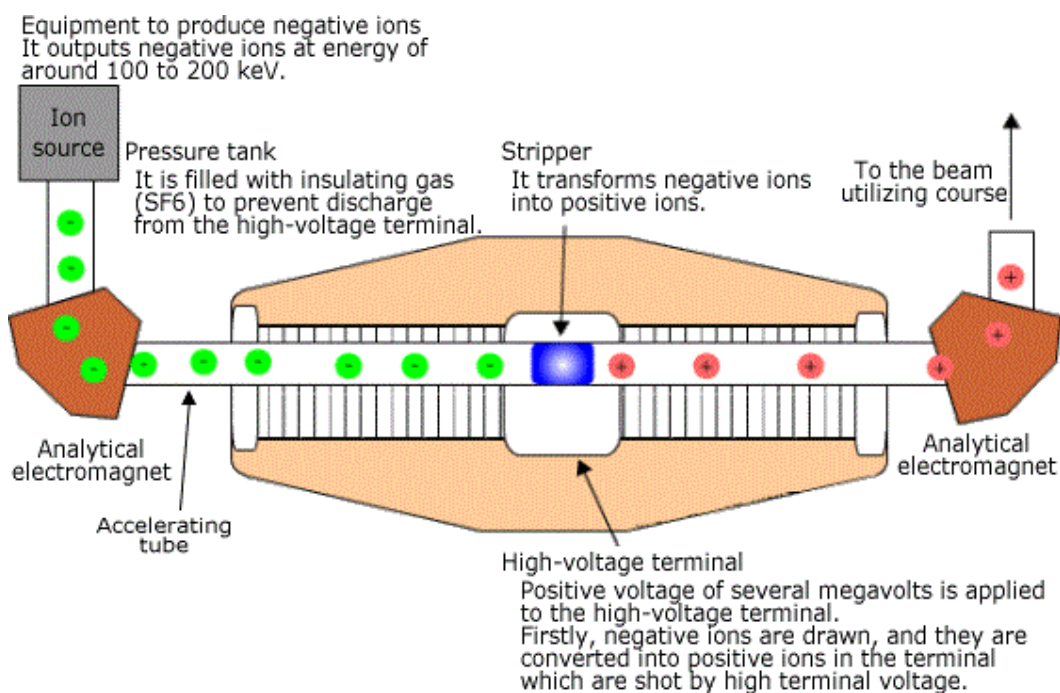


1. La fuente de iones
2. El acelerador de partículas
3. La estación experimental, compuesta, en general, por una cámara de análisis con los correspondientes detectores para el tipo de reacción a analizar

Las fuentes de iones consideradas, permiten generar cualquier elemento desde el hidrógeno (protones) hasta el uranio [UACM]: una fuente Duoplasmatrón y una fuente de iones por pulverización catódica.

El acelerador partículas es lineal electrostático tipo Cockcroft-Walton de dos etapas (Tandem), el cual es capaz de alcanzar, una mayor energía que la que se alcanzaría en un acelerador de una sola etapa con un mismo voltaje de terminal. Pudiendo alcanzar un potencial en el terminal de hasta 6 MV.

En éste tipo de acelerador, los iones provenientes de las fuentes de iones, con carga  $-e$  se aceleran en una primera etapa, después pasan por un gas enrarecido ("stripper gas"), que arranca electrones de los iones, haciendo que queden cargados positivamente, de modo que son repelidos por el terminal positivo (que antes les aceleraba) hacia un terminal a tierra [BACH11]. En la siguiente ilustración se muestra un ejemplo de su funcionamiento.



**Ilustración 2. Sistema de aceleración de iones en dos etapas de un acelerador Tandem.**

Fuente: The Wakasa Wan Energy Research Center, Nagatani, Tsuruga, Fukui, Japan

Este sistema garantiza un funcionamiento más fiable, una alta estabilidad en una tensión en terminal y un rizado mínimo, lo que permite una mejor determinación de la energía de los iones y, por tanto, una mayor calidad en los resultados experimentales [UACM].

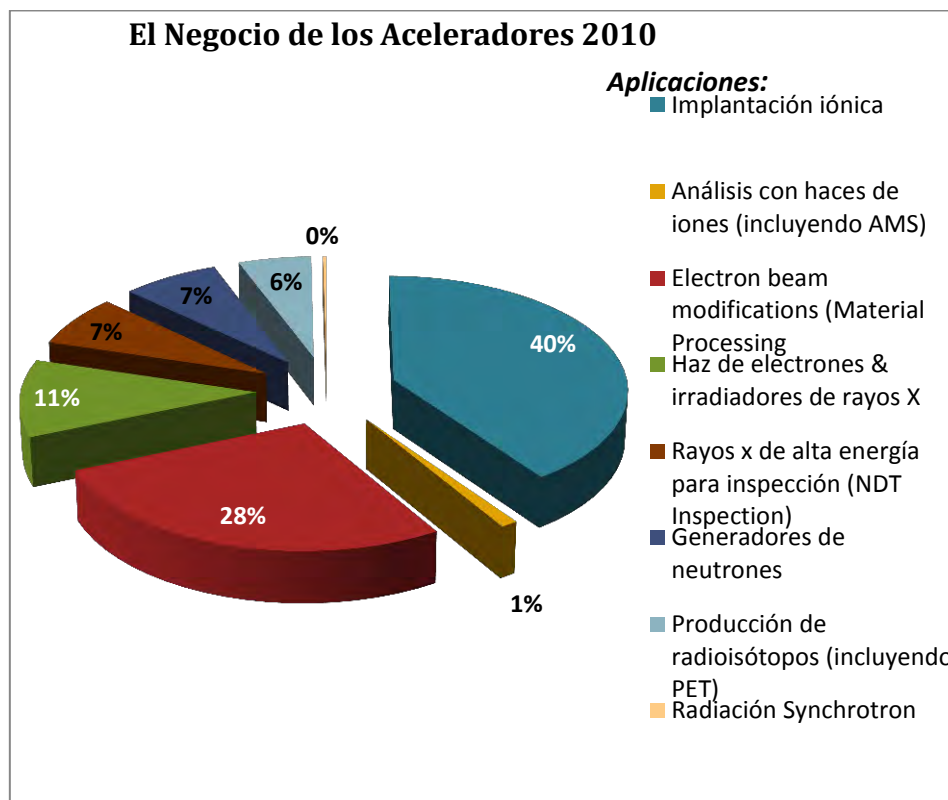


## Oportunidad de Negocio

Una de las bondades de esta oportunidad de negocio radica en el número, escaso, de instalaciones semejantes a la que aquí se presenta. Es cierto que existen varias decenas de laboratorios con aceleradores de partículas prácticamente en todo el mundo, de los cuales, en operación se encuentra dentro de la industria 30.000. De todos ellos, 160 son del tipo Tandem con energías entre 1 y 5 MV y tan solo 54 de 6 MV o superiores, distribuidos por todo el mundo. Más concretamente en España en la actualidad operan dos, el del CMAM de 5 MV que entró en operación hace 12 años y el del CNA de 1 MV que lleva más de 17 años en activo. Ninguno de ellos posee la energía ni todo lo que ello representa como el acelerador Tandem de 6 MV.

Todos los productos que se procesan, tratan o son inspeccionados por haces de partículas tienen un valor anual superior a 500(B\$) Billones de Dólares Americanos (2010), y el mercado anual de la industria de aceleradores se estimó en 2010 que excedía 1,5 B\$/año con un crecimiento de más del 10% anual [HAMM13].

Además de todo ello, las aplicaciones con mayor importancia dentro del sector industrial son las que se muestran en el siguiente gráfico, donde se puede observar el porcentaje que cada una de ellas representa dentro de dicho sector.



**Gráfico 1. Importancia de las distintas aplicaciones dentro de la industria.**

Fuente: Industrial Accelerators, Robert W. Hamm, R&M Technical Enterprises, Inc.



# UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)

INGENIERO EN ORGANIZACIÓN INDUSTRIAL

---

A la vista del gráfico anterior las aplicaciones que más peso tienen dentro de la industria son las relacionadas con haces de iones y dentro de ellas, la implantación iónica y el análisis con haces de iones. Estas aplicaciones quedan totalmente cubiertas con el acelerador Tandem de 6 MeV que aquí se presenta, pero este acelerador tiene mucho más potencial como se demuestra a continuación.

Los haces de iones producidos por el acelerador Tandem con la energía correcta y la intensidad adecuada pueden ser utilizados para desarrollar multitud de experimentos con diferentes aplicaciones. Las líneas experimentales que aquí se han consideradas de mayor interés, tanto en el corto como en el largo plazo son: Ciencia de Materiales, Patrimonio Cultural y Arqueometría, Fotónica, Física de Superficies, Física del Estado Sólido, Biomedicina, Materiales para Producción de Energía, Física Nuclear, Medioambiente.

Estas líneas de investigación permiten al acelerador Tandem ser una pieza fundamental en la investigación y desarrollo de 9 de los 15 sectores que más invierten en I+D del mundo. Estos 9 sectores son: Productos Farmacéuticos y Biotecnología, Tecnología Hardware y Equipos, Automóviles & Partes, Equipos Electrónicos y Eléctricos, Ingeniería Industrial, Aeroespacial y Defensa, Industria General, Equipos para el Cuidado de la Salud, Productores de Petróleo y Gas [ECOMI13].

Tan solo 3 de los 9 sectores citados anteriormente acumulan más del 50% de la inversión en I+D mundial y además, cabe destacar que los 6 primeros sectores representan más del 70% de inversión en I+D a nivel mundial [ECOMI13].

Por lo tanto, se puede concluir que el potencial del mercado global asciende a 360 billones de euros con un crecimiento anual del 6,65 %, superior a la media mundial. El potencial que le corresponde al mercado europeo es de 130 billones de euros con un crecimiento anual del 6,3% en 3 años [ECOMI13].

## Desarrollo de Negocio

Para llevar a cabo el desarrollo de negocio, se comenzó por realizar el estudio técnico de la instalación del acelerador, tras haber seleccionado con anterioridad el acelerador a construir. Una vez realizado este estudio, se analizó el mercado potencial del acelerador, tanto a nivel mundial, europeo como nacional, así como los competidores del mismo. Después de todo ello se realizó una exhaustiva evaluación económica de la instalación, analizando tanto los costes como los ingresos siempre desde un escenario pesimista.

De esta manera se cuantifica la inversión inicial en 4.355.000 euros, para la cual se ha considerado un modelo de financiación muy novedoso e interesante desde el punto de vista del negocio. El cual consiste en que las empresas que puedan necesitar el acelerador compren una participación del mismo que le dé derecho al uso de un número de horas proporcional al capital invertido. Y las horas sobrantes serán alquiladas a otras empresas. De esta manera no



# UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)

INGENIERO EN ORGANIZACIÓN INDUSTRIAL

---

solo se consigue que los socios aporten el capital necesario para cubrir el 40% de la inversión, si no, que además, son clientes cautivos de la instalación.

Por lo tanto el modelo de financiación resultaría de la siguiente manera. La aportación de fondos propios representa un 60% del capital necesario para cubrir la inversión inicial. De este 60%, un 20% es aportado por los socios y el 40% restante, por las empresas interesadas a través de la compra de participaciones, de la forma que se ha comentado anteriormente. Por último, los fondos europeos y nacionales mediante subvenciones aportan un 40% del capital inicial, completándose de esta manera todo el modelo de financiación necesaria.

Las expectativas de ingresos son muy favorables, a pesar de haber enfocado el estudio desde la perspectiva más pesimista posible, aun así, el respaldo que aportan los socios es de vital importancia ya que esto permite cumplir con las expectativas de ingresos iniciales, al tratarse, como ya se ha comentado, de clientes cautivos a largo plazo y suponer un 40% de los ingresos por tiempo de haz y un 80% por análisis de datos. Asimismo, los clientes representarán el 60% de los ingresos por tiempo de haz y el 20% por análisis de datos, ya que lo habitual es que los clientes analicen los resultados obtenidos ellos mismos. De todo ellos se desprende que, la previsión del crecimiento de los ingresos se estima, en torno a un 6% anual.

Por último, se ha realizado un análisis económico utilizando métodos contables, con proyecciones de la cuenta de resultados, el balance de situación y de los flujos de caja. También se ha realizado un análisis económico del proyecto de inversión para obtener el VAN (valora actualizado neto de los flujos de caja del proyecto) y el TIR (Tasa interna de rentabilidad de la inversión).

La conclusión que se desprende del análisis económico del proyecto es que la rentabilidad que podemos obtener es muy superior a la media de estos proyectos, que suele ser del 8%. Para la inversión inicial prevista de 4.355.000 euros con la rentabilidad (WACC) del 8% obtendríamos un VAN de 18.000.000 euros. Por ello, la rentabilidad del nuestro proyecto (TIR) ascendería al 24%. Estos datos garantizan las inversiones y adhesiones necesarias al proyecto para su ejecución.

## Referencias

- [ANDR13] Aceleradores en la investigación y la industria, 2003, *Juan Andrés Aspiazu Fabiá, ININ.*
- [UACM] Centro de Micro Análisis de Materiales de Madrid, Universidad Autónoma de Madrid. Líneas de investigación. (<https://www.cmam.uam.es/es/investigacion/>)





## UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)

INGENIERO EN ORGANIZACIÓN INDUSTRIAL

---

- [BACH11] Diana Bachiller Perea, CMAM. Montaje y caracterización de un sistema para la aplicación de la técnica PIGE (2011).
- [HAMM13] Industrial Accelerators, Robert W. Hamm, R&M Technical Enterprises, Inc., Pleasanton, California, USA, May 15, 2013, IPAC-13, Shanghai, People's Republic of China.
- [ECOMI13] European Commission. The 2013 EU Industrial R&D Investment Scoreboard
- [TWWE] The Wakasa Wan Energy Research Center, Nagatani, Tsuruga, Fukui, Japan. (<http://www.fisica.unam.mx/>)
- [UNAMAP] Aceleradores De Partículas: Irradiación Con Iones Y Electrones. 6ª Escuela Mexicana de Física Nuclear, 22 de junio al 3 de julio del 2009. Dr. Luis Rodríguez Fernández, Instituto de Física, UNAM.
- [TIARA] Accelerators for Society, Test Infrastructure and Accelerator Research Area (TIARA)



**UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS**  
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)  
INGENIERO EN ORGANIZACIÓN INDUSTRIAL

---



## **ABSTRACT**

### **Introduction**

Particle accelerators, originally conceived for the investigation of the fundamental laws of nature, the accelerators accelerated charged particles at speeds close to the speed of light before colliding. To date, the accelerators have been much more than a tool for basic research: they have had a prominent role, and significant impact on, the industry and society, although it often goes unnoticed in our everyday life [TIARA].

Moreover, if the beam of particles has the right energy and the right intensity, it can reduce and eliminate a tumor, detect a suspicious object in a load, produce clean energy, manufacture high quality tire, trace proteins, clean dirty water, study a nuclear explosion, build a heat resistant automotive cable, help design new medication, diagnose a disease, detect falsification of works of art, ions in semiconductors, reduce nuclear waste, date archaeological objects of equal to the Earth ages or discover the secrets of the universe, as well as many other applications which are being discovered every day.

As a result, more than 400 billion finished products are treated, sterilized or examined using industrial accelerators around the world annually [TIARA].

More than 24,000 particle accelerators have been built around the world in the last 60 years for the production of beams of charged particles for use in various industrial processes. This number does not include the more than 11,000 particle accelerators that have been built media for the use of electrons, ions, neutrons or X-ray therapy purposes [TIARA].

More than 24,000 patients have been treated for cancer using hadron therapy in Europe and 75,000 worldwide [TIARA].

About 200 accelerators are used for research around the world, with an estimated annual cost of € 1 trillion [TIARA].

Therefore, it presents a great opportunity for business with a high technological and social value: the construction of a particle accelerator in Spain, which would place in our country at the forefront of science with the more developed countries surrounding us.

### **Business idea**

Particle type Tandem Accelerator building, will be financed with private capital and European or national funding, the idea is that companies that may need the accelerator buy a participation that give right to the use of a proportional number of hours to the capital invested. And the excess hours will be rented to other companies.



In this way, the throttle 6 MeV Tandem provide the possibility to engage in a "direct dialogue" with the atoms that make up a given material, since they produce a certain type of "projectiles" positively charged (ions) that are used as such to make them collide against the atoms "white" of the material in study, at speeds so high that it is possible to induce a 'characteristic response' (resulting radiation) of the white atoms due to the power to "absorb" during the collision.

To have an order of magnitude, an ion that is used as a "projectile" with an energy of 3 MeV would take 1.5 seconds to turn full around the Earth. The accelerator object of study can reach up to 10 MeV [ANDR13].

Specifically, the response of the atoms of the material of study, lies in the emission of X-ray, retrovirus or particles originate in the nucleus of the atom, with intensities and unique energies associated with the atom that emitted them. In this sense, they can be considered "fingerprints".

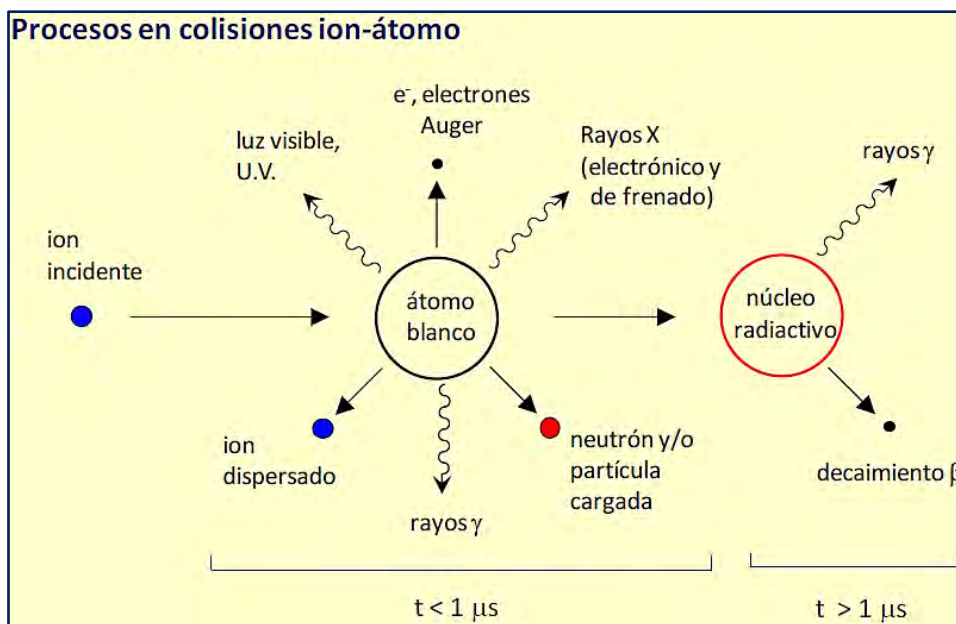


Illustration 1. Process in collision of ions.

Source : Particle accelerators: irradiation with ions and electrons. Dr. Luis Rodríguez Fernández, Institute of physics, UNAM.

Also the resulting radiation energy measurement and their assessment, allow the qualitative and quantitative analysis of all the elements present in the study material. The reliability of this type of analysis is very high and the precision is usually on the order of parts per million [ppm ( $10^{-6}$ )] [ANDR13], to reach and exceed the parts per trillion [ppt ( $10^{-12}$ )]. In terms of resolution, this would be tantamount to distinguish an object of 1 meter in 1,000 kilometers (ppm) [ANDR13].



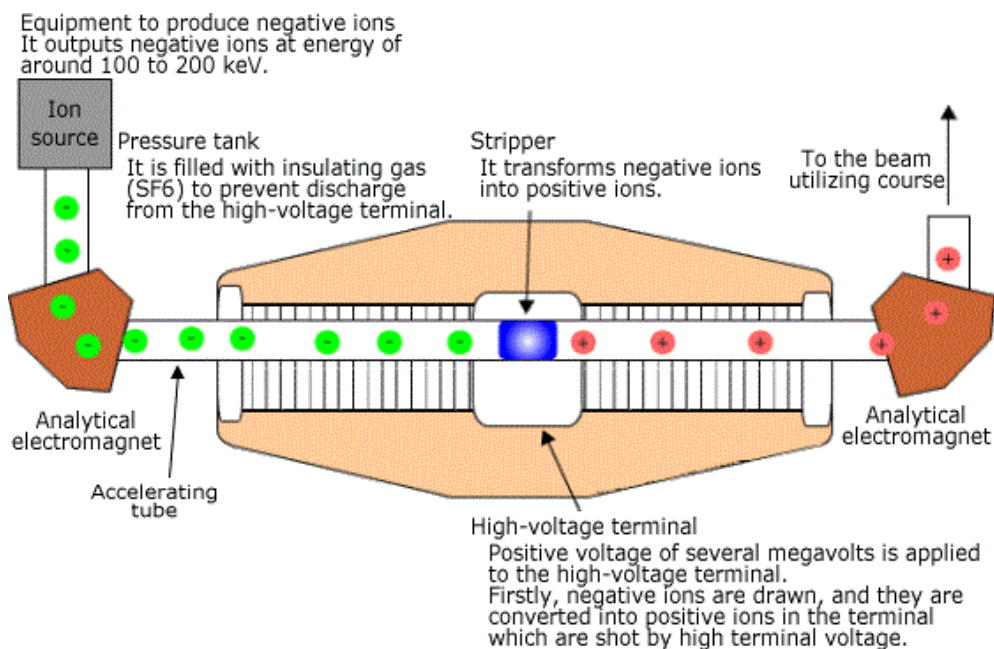
The equipment required for the analysis with beams of ions of high energy, regardless of the technique used, consists of three basic components:

1. Ion source
2. Particle accelerator
3. Experimental station, composed of, in general, a camera of analysis with corresponding detectors for the type of reaction to analyze

Considered ion sources, enable generate any element from hydrogen (protons) to uranium [UACMBY]: a Duoplasmatron source and a source of ions by cathodic sputtering.

Particle accelerator is linear electrostatic Cockcroft-Walton type of two-stage (Tandem), which is capable of reaching a higher energy than that would be achieved in an accelerator of a single stage with a same terminal voltage. Reaching a potential at up to 6 MV terminal.

In this type of accelerator, from ions of the sources of charged ions,  $e^-$  are accelerated in a first stage, then pass through a rarefied gas ("stripper gas"), which tears electrons from ions, causing them to be positively charged so that they are repelled by the positive terminal (which soon sped them) to a terminal to Earth [BACH11]. The following illustration shows an example of operation.



**Illustration 2. System of acceleration of ions in two stages of a Tandem accelerator.**

Source : The Wakasa Wan Energy Research Center, Nagatani, Tsuruga, Fukui, Japan

This system ensures more reliable operation, high stability in a terminal and a curly minimum voltage, thus allowing a better determination of the energy of ions and, therefore, greater quality in the experimental results [UACM].

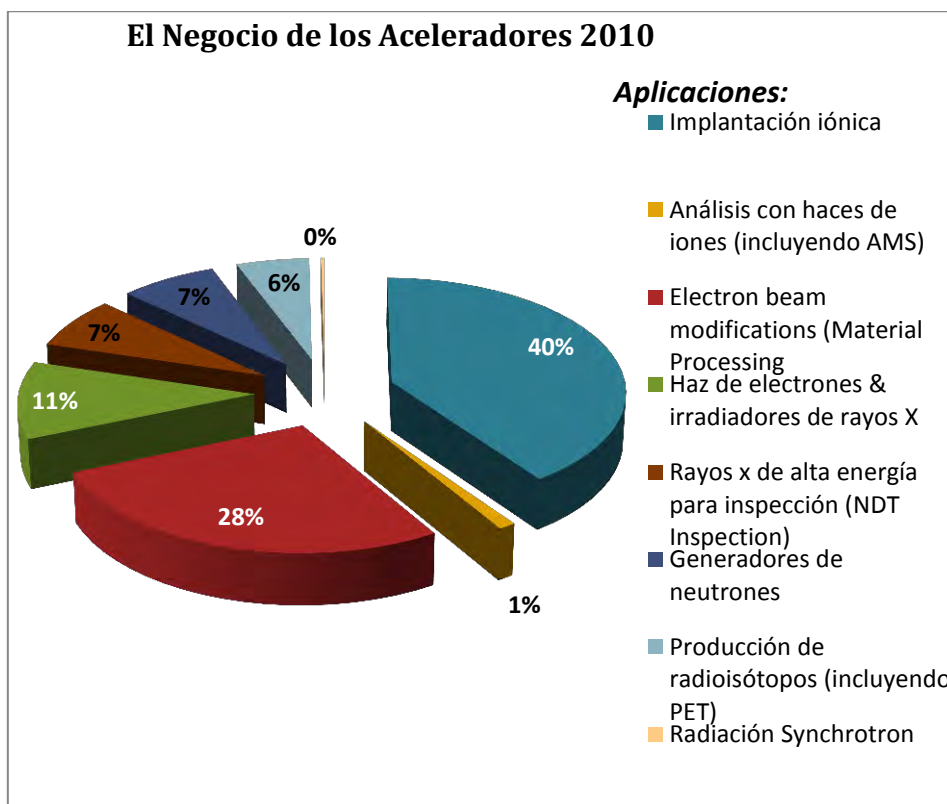


### Business opportunity

One of the benefits of this business opportunity lies in the number, insufficient facilities similar to the one presented here. It is true that there are dozens of laboratories with particle accelerators practically worldwide, of which operation is located within the 30,000 industry. Of them all, 160 are the Tandem type with energies between 1 and 5 MV and only 54 of 6 MV or higher, distributed all over the world. More specifically in Spain currently operate two, CMAM of 5 MV which entered into operation 12 years ago and that of the CNA of 1 MV, which has more than 17 years active. None of them has power and everything it represents as the 6 MV Tandem accelerator.

All products that are processed, treated, or are inspected by beams of particles have an annual value greater than 500 (B\$) trillions of dollars (2010), and accelerators industry annual market was estimated in 2010 that it exceeded 1.5 B\$ / year with a growth of more than 10% a year [HAMM13].

In addition to all this, applications with greater importance within the industry are shown in the chart below, where you can see the percentage representing each of them within this sector.



Graphic1. Importance of the different applications within the industry.  
Source : Industrial Accelerators, Robert W. Hamm, R & M Technical Enterprises, Inc.



# UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)

INGENIERO EN ORGANIZACIÓN INDUSTRIAL

---

In view of the previous graphic applications that have more weight within the industry are those related with beams of ions and within them, the ion implantation and analysis with ion beam. These applications are completely covered with the Tandem accelerator of 6 MeV presented here, but this accelerator has much more potential as shown below.

The beams of ions produced by the Tandem accelerator with the right energy and the right intensity can be used to develop a multitude of experiments with different applications. The experimental lines that here have been considered of interest, both in the short and in the long term are: materials science, Cultural Heritage and Archaeometry, Photonics and surface physics, physics of the solid state, biomedicine, materials for energy production, Nuclear Physics, environment.

These lines of research allow the Tandem accelerator to be a fundamental piece in the research and development of 9 of the 15 sectors that invest more in r & d in the world. Are these 9 sectors: pharmaceuticals and biotechnology, technology Hardware and equipment, automobiles & parts, electrical and electronic equipment, mechanical engineering, aerospace and defense, General industry, equipment for the health care, oil and Gas producer [ECOMI13].

Only 3 of the 9 sectors mentioned above accumulate more than 50% of the global r & d investment and in addition, it should be noted that the first 6 sectors account for more than 70% of investment in r & d around the world [ECOMI13].

Therefore, one can conclude that the potential of the global market amounts to 360 billion with an annual growth of 6.65%, higher than the world average. The potential that corresponds to the European market is of 130 billion with an annual growth of 6.3% in 3 years [ECOMI13].

## **Business development**

To carry out the development of business, started by the technical study of the installation of the accelerator, after having previously selected accelerator to build. After completing this study, analyzed the potential market of the accelerator, both global, European and national levels, as well as the competitors of the same. After all this was carried out a comprehensive economic assessment of installation, analyzing both costs and revenues are always from a pessimistic scenario.

In this way it quantifies initial investment in 4.355.000 euros, for which it has been considered a model of funding very innovative and interesting from the point of view of the business. The one which consists of companies that may need the accelerator to buy a participation that give right to the use of a proportional number of hours to the capital invested. And the excess hours will be rented to other companies. In this way not only get partners to provide the necessary capital to cover 40% of the investment, if not, moreover, are captive customers of the installation.





# UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)

INGENIERO EN ORGANIZACIÓN INDUSTRIAL

---

Therefore funding model would result in the following way. The contribution of own funds represents 60% of the capital needed to cover the initial investment. Of this 60%, 20% is contributed by members and the remaining 40% by the interested companies through the purchase of shares, in the way that has been commented above. Finally, the European and national funds through grants provide 40% of the initial capital, completing all necessary financing model in this way.

Income expectations are very favorable, despite having focused the study from the more pessimistic perspective possible, even so, the support that partners contribute is vital since this allows to meet the expectations of initial income, treated, as already mentioned, of captive customers in the long term and assume 80% and 40% of revenues for beam time for data analysis. Also, customers will represent 60% of revenues for beam time and 20% for data analysis, since it is usual to customers to analyze the results themselves. All shows, the earnings growth forecast is estimated, around 6% per year.

Finally, there has been an economic analysis using accounting methods, with projections of the income statement, the balance sheet situation and cash flows. There has also been an economic analysis of the investment project for the VAN (values updated net of the cash flows of the project) and the TIR (internal rate of return on investment).

The conclusion that emerges from the economic analysis of the project is the return that we get is much higher than the average of these projects, which tends to be 8%. For the planned initial investment of 4.355.000 euros with 8% profitability (WACC) would get a VAN of 18,000,000 euros. Therefore, the profitability of our project (TIR) would amount to 24%. These data ensure investments and necessary accessions to the project for its implementation.

## References

- [ANDR13] Aceleradores en la investigación y la industria, 2003, *Juan Andrés Aspiazu Fabiá, ININ.*
- [UACM] Centro de Micro Análisis de Materiales de Madrid. (<https://www.cmam.uam.es/es>).
- [BACH11] Diana Bachiller Perea, CMAM. Montaje y caracterización de un sistema para la aplicación de la técnica PIGE (2011).
- [HAMM13] Industrial Accelerators, Robert W. Hamm, R&M Technical Enterprises, Inc., Pleasanton, California, USA, May 15, 2013, IPAC-13, Shanghai, People's Republic of China.





# UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)

INGENIERO EN ORGANIZACIÓN INDUSTRIAL

---

- [ECOMI13] European Commission. The 2013 EU Industrial R&D Investment Scoreboard
- [TWWE] The Wakasa Wan Energy Research Center, Nagatani, Tsuruga, Fukui, Japan
- [UNAMAP] Aceleradores De Partículas: Irradiación Con Iones Y Electrones. 6<sup>a</sup> Escuela Mexicana de Física Nuclear, 22 de junio al 3 de julio del 2009. Dr. Luis Rodríguez Fernández, Instituto de Física, UNAM.
- [TIARA] Accelerators for Society, Test Infrastructure and Accelerator Research Area (TIARA)





## *Índice de la Memoria*

<b>Parte I</b>	<b>MEMORIA.....</b>	<b>11</b>
<i>Capítulo 1</i>	<i>INTRODUCCIÓN.....</i>	<i>13</i>
<b>1.1</b>	<b>Motivación y objetivos.....</b>	<b>15</b>
<b>1.2</b>	<b>Situación actual de la tecnología.....</b>	<b>16</b>
1.2.1	Aceleradores de partículas.....	16
1.2.2	Tipos de aceleradores.....	18
1.2.3	Infraestructura de aceleradores en España.....	20
<b>1.3</b>	<b>El negocio de los aceleradores.....</b>	<b>22</b>
<b>1.4</b>	<b>Futuro de la tecnología y las aplicaciones.....</b>	<b>25</b>
1.4.1	Nueva tecnología de aceleración de partículas.....	25
1.4.2	Desafíos para los nuevos aceleradores.....	26
1.4.3	Necesidades de I+D en diferentes áreas de aplicación de los aceleradores..	27
1.4.4	Desarrollo a largo plazo.....	27
<b>1.5</b>	<b>La oportunidad.....</b>	<b>29</b>
<i>Capítulo 2</i>	<i>EL ACELERADOR.....</i>	<i>31</i>
<b>2.1</b>	<b>Aspectos a considerar en la elección del acelerador.....</b>	<b>31</b>
2.1.1	Fuentes de iones.....	33
2.1.2	Haces de partículas.....	33
2.1.3	Blancos.....	34
2.1.4	Cámaras de reacción.....	35
<b>2.2</b>	<b>Elección del tipo de acelerador.....</b>	<b>37</b>
2.2.1	Tipo de acelerador.....	37
2.2.2	Energía de los iones.....	38
2.2.3	Fuentes de iones.....	41
2.2.4	Corrientes.....	41
2.2.5	Emitancia.....	41
2.2.6	Homogeneidad del haz.....	42
<i>Capítulo 3</i>	<i>Infraestructura e Instalaciones.....</i>	<i>43</i>



# UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)

INGENIERO EN ORGANIZACIÓN INDUSTRIAL

---

<b>3.1</b>	<b>Aceleradores Electrostáticos De Iones .....</b>	<b>43</b>
<b>3.2</b>	<b>Acelerador Tandem de 6 MV .....</b>	<b>47</b>
3.2.1	Fuentes de iones.....	49
3.2.2	Imanes de baja energía.....	50
3.2.3	Tubo acelerador.....	50
3.2.4	Líneas de haz .....	52
3.2.5	Técnicas IBA.....	63
<b>3.3</b>	<b>Suministros.....</b>	<b>68</b>
<b>3.4</b>	<b>Seguridad Radiológica .....</b>	<b>69</b>
3.4.1	Tipos de Radiación .....	69
3.4.2	Daños de las Radiaciones.....	70
3.4.3	Riesgos de las Radiaciones.....	71
3.4.4	Blindaje frente a la radiación ionizante.....	71
3.4.5	Fuentes de radiación .....	72
3.4.6	Planificación de Seguridad para el Acelerador.....	72
<b>Capítulo 4 Aplicaciones del acelerador Tándem de 6 MV .....</b>		<b>77</b>
<b>4.1</b>	<b>Ciencia de Materiales .....</b>	<b>77</b>
4.1.1	Ciencia de semiconductores.....	77
<b>4.2</b>	<b>Patrimonio cultural: Arte y Arqueometría.....</b>	<b>78</b>
<b>4.3</b>	<b>Fotónica .....</b>	<b>79</b>
<b>4.4</b>	<b>Física de Superficies .....</b>	<b>79</b>
<b>4.5</b>	<b>Física del Estado Sólido .....</b>	<b>80</b>
<b>4.6</b>	<b>Biomedicina.....</b>	<b>81</b>
<b>4.7</b>	<b>Materiales para producción de energía .....</b>	<b>83</b>
<b>4.8</b>	<b>Física Nuclear.....</b>	<b>84</b>
<b>4.9</b>	<b>Medio ambiente .....</b>	<b>84</b>
<b>Capítulo 5 Estudio de Mercado.....</b>		<b>85</b>
<b>5.1</b>	<b>Introducción.....</b>	<b>85</b>

---



# UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)

INGENIERO EN ORGANIZACIÓN INDUSTRIAL

---

<b>5.2</b>	<b>Análisis de la demanda</b> .....	<b>85</b>
5.2.1	Estudio De La Inversión En I+D a Nivel Mundial.....	86
5.2.2	Situación De La I+D En España .....	91
5.2.3	El Mercado De Los Semiconductores.....	100
5.2.4	El Mercado De La Biomedicina.....	108
5.2.5	El Mercado Del Patrimonio cultural: Arte y Arqueometría .....	113
5.2.6	Magnitud Del Mercado Potencial .....	115
<b>5.3</b>	<b>Análisis De La Oferta</b> .....	<b>119</b>
5.3.1	Aceleradores Tandem en Todo el Mundo.....	119
5.3.2	Aceleradores Tandem en España .....	121
5.3.3	Análisis de la Competencia .....	125
 <i>Capítulo 6 Estudio Económico</i> .....		 <b>127</b>
<b>6.1</b>	<b>Introducción</b> .....	<b>127</b>
<b>6.2</b>	<b>La Demanda</b> .....	<b>127</b>
<b>6.3</b>	<b>Determinación de Costes</b> .....	<b>128</b>
6.3.1	Costes Directos.....	128
6.3.2	Costes Indirectos.....	133
<b>6.4</b>	<b>Determinación De La Inversión Total Inicial</b> .....	<b>135</b>
<b>6.5</b>	<b>Amortizaciones</b> .....	<b>138</b>
<b>6.6</b>	<b>Financiación</b> .....	<b>142</b>
<b>6.7</b>	<b>Ingresos</b> .....	<b>144</b>
<b>6.8</b>	<b>Cuenta de Resultados</b> .....	<b>149</b>
<b>6.9</b>	<b>Cash Flow</b> .....	<b>152</b>
<b>6.10</b>	<b>Balance</b> .....	<b>155</b>
<b>6.11</b>	<b>Punto de Equilibrio</b> .....	<b>158</b>
<b>6.12</b>	<b>Análisis del Balance</b> .....	<b>160</b>
<b>6.13</b>	<b>Rentabilidad Económica</b> .....	<b>163</b>
 <i>Capítulo 7 Conclusiones</i> .....		 <b>165</b>

---



# UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)

INGENIERO EN ORGANIZACIÓN INDUSTRIAL

---

<b><i>Bibliografía</i></b> .....	<b>169</b>
<b><i>Publicaciones Consultadas</i></b> .....	<b>171</b>
<b><i>Anexo I Sistema de Calidad</i></b> .....	<b>173</b>
<b>Política de Calidad</b> .....	<b>174</b>
<b>Política Medioambiental</b> .....	<b>175</b>



## *Índice de Ilustraciones*

<b>Ilustración 1.</b> Regímenes de operación de aceleradores de partículas.....	19
<b>Ilustración 2.</b> Aceleradores lineales para medicina en España .....	20
<b>Ilustración 3.</b> Infraestructura de aceleradores en España .....	21
<b>Ilustración 4.</b> Esquema de instalación con un acelerador de partículas.....	32
<b>Ilustración 5.</b> Acelerador de Crookroft Y Walton.....	36
<b>Ilustración 6.</b> Esquema de funcionamiento de un acelerador de una sola etapa.....	44
<b>Ilustración 7.</b> Esquema de un sistema Cockcroft-Walton tándem. ....	44
<b>Ilustración 8.</b> Esquema un generador de potencial Van de Graaf.....	45
<b>Ilustración 9.</b> Esquema del circuito en el sistema Cockcroft-Walton.....	46
<b>Ilustración 10.</b> Imagen del acelerador del centro de Micro-Análisis De Materiales .....	47
<b>Ilustración 11.</b> Esquema del acelerador del Centro de Micro-Análisis De Materiales.....	48
<b>Ilustración 12.</b> Tubo Acelerador Del CMAM.....	51
<b>Ilustración 13.</b> Líneas de haz en el CMAM.....	52
<b>Ilustración 14.</b> Vista completa de la línea standard del CMAM .....	53
<b>Ilustración 15.</b> Vista completa de la línea de microhaz CMAM.....	54
<b>Ilustración 16.</b> Espectro típico de ERDA-TOF del CMAM.....	55
<b>Ilustración 17.</b> Vista completa de la línea de ERDA-TOF del CMA .....	56
<b>Ilustración 18.</b> Vista del haz de iones en un experimento del CMA.....	57
<b>Ilustración 19.</b> Vistas de la línea de física nuclear del CMAM .....	57
<b>Ilustración 20.</b> Vista interna del sistema de barrido del haz.....	59
<b>Ilustración 21.</b> Vista de la línea de implantación .....	59
<b>Ilustración 22.</b> Vista completa de la línea de nanohaz.....	60
<b>Ilustración 23.</b> Esquema de la electrónica rbs/channeling y leis/tof.....	62



# UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)

INGENIERO EN ORGANIZACIÓN INDUSTRIAL

---

<b>Ilustración 24.</b>	Difracción producida por la dispersión de electrones de baja energía.....	62
<b>Ilustración 25.</b>	Vista de la línea UHV para física de superficies .....	63
<b>Ilustración 26.</b>	Procesos posibles al bombardear un material con un haz de partículas ..	63
<b>Ilustración 27.</b>	Partícula $\alpha$ desviada al aproximarse a un núcleo.....	64
<b>Ilustración 28.</b>	Proceso ocurrido en la colisión de un protón con un átomo del blanco.....	65
<b>Ilustración 29.</b>	Al golpear un núcleo con un protón, reacción nuclear.....	66
<b>Ilustración 30.</b>	Técnicas IBA y las partículas detectadas en cada una de ellas .....	66
<b>Ilustración 31.</b>	Imagen de STIM correspondiente a las extremidades de un ratón. ....	67
<b>Ilustración 32.</b>	Penetración de protones y electrones a energías de trabajo normales .....	68
<b>Ilustración 33.</b>	Espectro electromagnético de los dos tipos de radiaciones .....	69
<b>Ilustración 34.</b>	Penetración de la radiación ionizante.....	71
<b>Ilustración 35.</b>	I + D ranking de los sectores industriales .....	90
<b>Ilustración 36.</b>	Acciones en I+D de los sectores de las principales regiones del mundo....	90
<b>Ilustración 37.</b>	Cadena de valor mundial de los semiconductores.....	102
<b>Ilustración 38.</b>	Engranaje entre conservación, investigación y crecimiento económico. ....	114
<b>Ilustración 39.</b>	Distribución geográfica de los 35 aceleradores Tandem en el mundo ....	119
<b>Ilustración 40.</b>	Infraestructura de aceleradores en España.....	121
<b>Ilustración 41.</b>	Punto de equilibrio .....	158





## *Índice de Tablas*

<b>Tabla 1.</b> Resumen del tipo de aceleradores .....	18
<b>Tabla 2.</b> Resumen del tipo de aceleradores más utilizados en la industria.....	18
<b>Tabla 3.</b> Volumen de ventas de aceleradores por su aplicación industrial. ....	22
<b>Tabla 4.</b> Áreas de I+D identificadas por el Department of Energy,EE.UU. ....	27
<b>Tabla 5.</b> Tipos de aceleradores de clasificados por su energía cinética.....	39
<b>Tabla 6.</b> Comparación entre las energías de los aceleradores Tandem.....	40
<b>Tabla 7.</b> Corrientes para cada tipo de ión en los aceleradores Tandem TechnoFusión.....	41
<b>Tabla 8.</b> Ranking de los 15 sectores industriales por crecimiento anual de I+D .....	91
<b>Tabla 9.</b> Financiación Pública Para I+D. 2000-2011 .....	95
<b>Tabla 10.</b> Gastos Totales En Actividades De I+D Por Sector De Ejecución. 2000-2011 .....	96
<b>Tabla 11.</b> Gastos Internos Corrientes En I+D Por Tipo De Investigación. 2000-2011 .....	98
<b>Tabla 12.</b> Empresas Con Actividades De Innovación Tecnológica. 2011 .....	99
<b>Tabla 13.</b> Gastos Totales En Innovación Por Tipo De Actividad Innovadora 2005-2011	100
<b>Tabla 14.</b> Principales empresas “fables” del mercado mundial. Año 2013.....	104
<b>Tabla 15.</b> Clasificación 2013 de las compañías de semiconductores por gasto de I + D ..	107
<b>Tabla 16.</b> Financiación para ejecución del Plan Nacional de Investigación en Patrimonio	114
<b>Tabla 17.</b> Lista de Aceleradores tipo Tandem en todo el Mundo .....	121
<b>Tabla 18.</b> Tarifas aplicables desde el 1 de Junio de 2012 .....	123
<b>Tabla 19.</b> Tarifas de uso del Acelerador Tandem del CNA.....	124
<b>Tabla 20.</b> Análisis de la competencia directa para tiempo de haz. ....	125
<b>Tabla 21.</b> Análisis de la competencia para el procesamiento de los datos.....	126
<b>Tabla 22.</b> Coste de los Suministros .....	130
<b>Tabla 23.</b> Costes de la Mano de Obra.....	132



# UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)

INGENIERO EN ORGANIZACIÓN INDUSTRIAL

---

<b>Tabla 24.</b> Cálculo de los costes indirectos referentes al periodo de estudio .....	134
<b>Tabla 25.</b> Inversión inicial y planificación de inversiones futuras .....	137
<b>Tabla 26.</b> Total activo fijo.....	139
<b>Tabla 27.</b> Dotación de amortizaciones .....	140
<b>Tabla 28.</b> Amortización acumulada .....	141
<b>Tabla 29.</b> Porcentajes de participación en financiación de la inversión inicial.....	142
<b>Tabla 30.</b> Financiación de la inversión inicial y el plan de inversiones futuras .....	143
<b>Tabla 31.</b> Tarifas generales para usuarios del acelerador.....	144
<b>Tabla 32.</b> Tarifas en exclusividad para socios de acelerador.....	144
<b>Tabla 33.</b> Ingresos anuales en euros .....	148
<b>Tabla 34.</b> Tabla resumen de los tipos de gravámenes actuales (I.S) .....	150
<b>Tabla 35.</b> Cuenta de Resultados .....	151
<b>Tabla 36.</b> Tesorería al final de cada año .....	153
<b>Tabla 37.</b> Balance previsional (Activo) .....	156
<b>Tabla 38.</b> Balance previsional (Pasivo) .....	157
<b>Tabla 39.</b> Calculo del punto de equilibrio.....	159
<b>Tabla 40.</b> Análisis del Balance.....	162
<b>Tabla 41.</b> Calculo del VAN y el TIR .....	164



## *Índice de Gráficos*

<b>Gráfico 1.</b> Importancia de las distintas aplicaciones dentro de la industria.....	23
<b>Gráfico 2.</b> Principales proveedores de aceleradores a nivel mundial.....	24
<b>Gráfico 3.</b> Importancia de las distintas aplicaciones dentro de la industria.....	37
<b>Gráfico 4.</b> Recursos Destinados A I+D En Los Países De La OCDE. 2000 Y 2011.....	92
<b>Gráfico 5.</b> Gasto En I+D En Los Países De La Ue Por Sector De Ejecución. 2011.....	93
<b>Gráfico 6.</b> Presupuestos Generales Del Estado Para I+D+I (Política De Gasto 46).....	94
<b>Gráfico 7.</b> Presupuestos Generales Del Estado Para I+D+I (Política De Gasto 46).....	95
<b>Gráfico 8.</b> Gastos Internos Totales En Actividades De I+D Por Sector De Ejecución.....	97
<b>Gráfico 9.</b> Contenido de semiconductores en sistemas electrónicos (en valor).....	102
<b>Gráfico 10.</b> . Ventas mundiales de semiconductores .....	103
<b>Gráfico 11.</b> Horas de haz disponibles al año .....	122
<b>Gráfico 12.</b> Porcentaje de disponibilidad del acelerador Tandem del CNA .....	124
<b>Gráfico 13.</b> Demanda de horas de haz y de análisis de datos al año. ....	128
<b>Gráfico 14.</b> Reparto de horas de tiempo de haz demandadas anualmente.....	145
<b>Gráfico 15.</b> Reparto de horas de análisis de datos demandadas anualmente.....	145
<b>Gráfico 16.</b> Demanda total de horas de haz y de análisis de datos al año.....	146
<b>Gráfico 17.</b> Tiempo de haz y análisis de datos demandadas anualmente(clientes) .....	146
<b>Gráfico 18.</b> Tiempo de haz y análisis de datos demandadas anualmente(socios) .....	147
<b>Gráfico 19.</b> Evolución del Cash Flow a lo largo del periodo de estudio.....	154
<b>Gráfico 20.</b> Evolución del VAN según la rentabilidad exigida (WACC) .....	164



**UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS**  
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)  
INGENIERO EN ORGANIZACIÓN INDUSTRIAL

---



**UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS**  
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)  
INGENIERO EN ORGANIZACIÓN INDUSTRIAL

---

# Parte I      MEMORIA

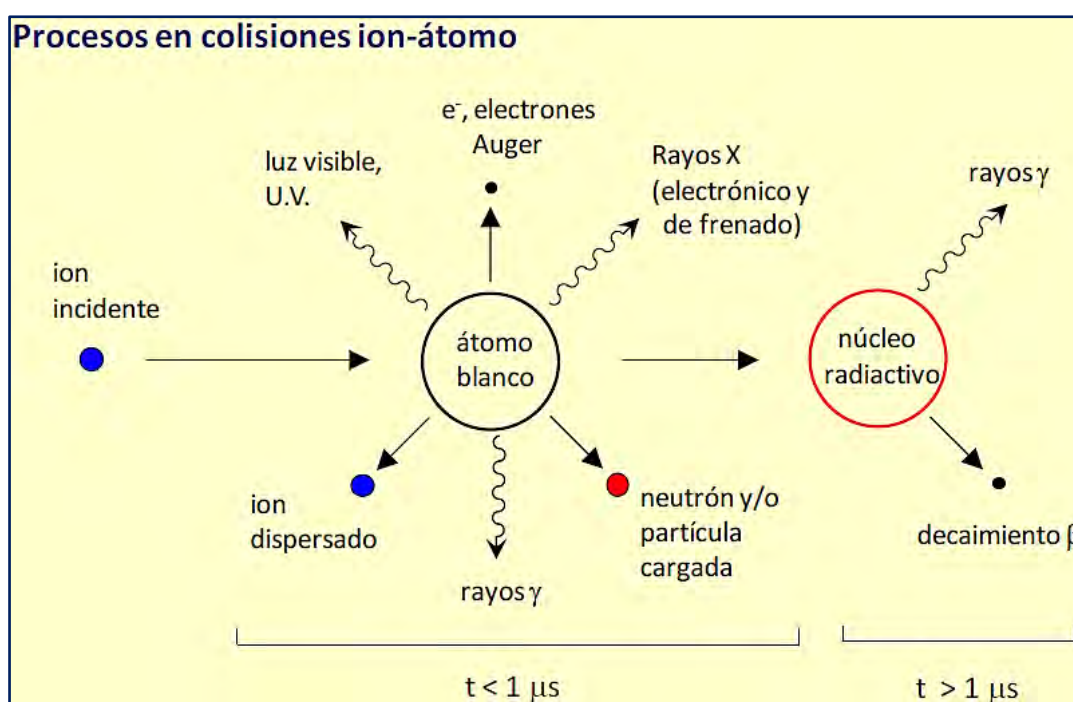


**UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS**  
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)  
INGENIERO EN ORGANIZACIÓN INDUSTRIAL

---

## Capítulo 1 INTRODUCCIÓN

Los aceleradores nos brindan la posibilidad de entablar un “diálogo directo” con los átomos que constituyen un material dado, ya que producen un cierto tipo de “proyectiles” con carga positiva (iones) que se utilizan como tales para hacerlos colisionar contra los átomos “blanco” del material en estudio, a velocidades tan altas que es posible inducir una “respuesta característica” (radiación resultante) de los átomos blanco, debido a la energía que “absorben” durante la colisión (ver la ilustración que sigue a continuación).



**Proceso en colisión de iones.**

Fuente: Aceleradores De Partículas: Irradiación Con Iones Y Electrones. Dr. Luis Rodríguez Fernández, Instituto de Física, UNAM.

Un ion usado como “proyectil” con una energía de 3 MeV tardaría 1,5 segundos en dar una vuelta completa alrededor de la tierra [JAAF03].

Concretamente, la respuesta de los átomos del material de estudio, radica en la emisión de rayos-X, rayos-gamma o de partículas originadas en el núcleo del átomo, con intensidades y energías únicas asociadas al átomo que las emite. En este sentido, pueden considerarse como sus “huellas dactilares” [JAAF03].

Asimismo, la medición de la energía de radiación resultante y su valoración, permiten realizar el análisis cualitativo y cuantitativo de todos los elementos presentes en el material de estudio. La fiabilidad de este tipo de análisis es muy alta y la precisión habitualmente es del orden de partes por millón [ppm ( $10^{-6}$ )] [JAAF03], llegándose a alcanzar y superar las partes por



# UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)

INGENIERO EN ORGANIZACIÓN INDUSTRIAL

---

trillón [ppt ( $10^{-12}$ )]. En términos de resolución, esto equivaldría a poder distinguir un objeto de 1 metro en 1.000 kilómetros (ppm).

Estas ventajas son de vital importancia, porque si el haz de partículas tiene la energía correcta y la intensidad adecuada puede reducir y eliminar un tumor, detectar un objeto sospechoso en una carga, producir energía limpia, fabricar mejores neumáticos, trazar proteínas, estudiar una explosión nuclear, limpiar el agua sucia para poder beberla, diseñar un nuevo medicamento, diagnosticar una enfermedad, reducir la basura nuclear, fabricar un cable automotriz resistente al calor, detectar la falsificación de arte, datar objetos arqueológicos de edades iguales a la de la tierra, implantar iones en semiconductores o descubrir los secretos del universo, además de otras muchas aplicaciones que se descubren cada día.

Por ello existen varias decenas de laboratorios con aceleradores de partículas prácticamente en todo el mundo, de los cuales en operación se encuentra dentro de la industria 30.000. De todos ellos, alrededor de 160 son del tipo Tandem con energías entre 1 y 5 MV y tan solo 54 de 6 MV o superiores. Más concretamente en España en la actualidad operan dos, el del CMAM de 5 MV que entró en operación hace 12 años y el del CNA de 1 MV que lleva más de 17 años en activo.

Además de todo lo anteriormente expuesto, cabe destacar que los haces producidos hoy día en aceleradores de partículas se orientan al estudio de los problemas de nuestra sociedad: energía, medio ambiente, empleos dignos y seguridad económica, salud, etc. Conjuntamente, la nueva generación de aceleradores tiene un potencial aún mayor y tendrá la capacidad de contribuir aún más a la salud, riqueza y seguridad de las naciones que los diseñan, promueven y utilizan.

Por todo ello y teniendo en cuenta del amplio espectro de aplicaciones que los aceleradores poseen dentro y fuera de la industria y el potencial económica que esto supone, se presenta una magnífica oportunidad de negocio, razón por la cual se va a realizar el presente estudio de viabilidad para la construcción y explotación de un acelerador de partículas en España.

Se llevarán a cabo para ello el estudio de los mercados tanto internacionales como nacionales que sean de vital importancia para la instalación objeto de este estudio, así como el estudio económico y técnico de la instalación.





# UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)

INGENIERO EN ORGANIZACIÓN INDUSTRIAL

---

## **1.1 MOTIVACIÓN Y OBJETIVOS**

---

Este estudio nace para contribuir a la divulgación de la física de partículas y hacer reflexionar sobre la importancia que tiene la investigación básica para el desarrollo de un país. Dado que, hoy en día, los aceleradores son mucho más que una herramienta para la investigación básica: su destacado papel en la industria y la sociedad confirma el trascendental impacto, aunque a menudo desapercibido, que tienen en nuestra vida cotidiana, y es que, la ciencia de aceleradores trata de dar soluciones a los problemas de nuestra sociedad: energía, medio ambiente, salud, etc.

Por ello, el objetivo principal, es la construcción de un acelerador de partículas en España, financiado con capital privado y fondos europeos y/o nacionales así como su viabilidad.

La idea es que las empresas que puedan necesitarlo compren una participación del mismo que les dé derecho al uso de un número de horas proporcional al capital invertido y las horas sobrantes serán alquiladas a otras empresas.

De esta manera se pretende acercar aún más a la industria la tecnología de aceleradores y que ésta sea de más fácil acceso para promover la utilización e investigación con este tipo de técnica.



## **1.2 SITUACIÓN ACTUAL DE LA TECNOLOGÍA**

---

### **1.2.1 ACELERADORES DE PARTÍCULAS**

---

Un haz de partículas es una herramienta muy útil. Si el haz de partículas tiene la energía correcta y la intensidad adecuada puede reducir un tumor, producir energía limpia, detectar un objeto sospechoso en carga, fabricar un neumático radial mejor, limpiar el agua sucia para beberla, trazar proteínas, estudiar una explosión nuclear, diseñar un nuevo medicamento, diagnosticar una enfermedad, reducir la basura nuclear, detectar la falsificación de arte, implantar iones en semiconductores, datar objetos arqueológicos o descubrir los secretos del universo, entre otras muchas aplicaciones que se descubren día a día.

Los haces producidos hoy día en aceleradores de partículas se orientan al estudio de los problemas de nuestra sociedad: energía, medio ambiente, empleos dignos y seguridad económica, salud, etc. La nueva generación de aceleradores tendrá un potencial aún mayor y contribuirá aún más a la salud, riqueza y seguridad de las naciones que los diseñan, producen y usan [CNFTHCLF12].

Por ejemplo, incorporar la tecnología de aceleradores en las fuentes de energía nuclear del futuro tiene el enorme potencial de hacer la energía atómica más segura, más limpia con mucho menos residuos nucleares [CNFTHCLF12].

Los avances en la terapia con haces prometen mejorar el tratamiento de cáncer maximizando la energía depositada hasta ahora en el tumor a la vez que se minimiza el daño al tejido sano. Los aceleradores pueden servir como fuente alternativa fiable de isótopos médicos [CNFTHCLF12].

En la industria, los aceleradores son una alternativa más barata y más verde en cientos de procesos de fabricación.

El desarrollo continuado de la tecnología de aceleradores dará a los científicos las herramientas necesarias para realizar descubrimientos desde todo el espectro de las ciencias de la física de partículas hasta la biología humana [CNFTHCLF12].

Por todo esto es importante que cualquier país, en este caso España, contribuya al desarrollo de aceleradores.

Aunque el referente mundial en energía le pertenece al Gran Colisionador de Hadrones del Centro Europeo de Investigaciones Nucleares CERN, en realidad existen decenas de miles de aceleradores trabajando ordinariamente para producir haces de partículas en los hospitales y clínicas, en fábricas y laboratorios industriales etc.



# UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)

INGENIERO EN ORGANIZACIÓN INDUSTRIAL

---

Muchos países reconocen el potencial a futuro de las aplicaciones de los aceleradores.

Los países de Europa y Asia están aplicando las nuevas tecnologías para aceleradores de la siguiente generación. En marzo de 2010, el gobierno de Bélgica aprobó 1.3 mil millones de dólares para el proyecto MYRRHA que espera demostrar un sistema con acelerador para producir energía nuclear y transmutar los desechos a una forma que decae más rápidamente a materia estable no radiactiva. El gobierno de Bélgica estima que el proyecto generará 2.000 empleos. En China y en Polonia los aceleradores están convirtiendo gases de chimeneas industriales en fertilizante. En Corea opera una planta de tratamiento de agua de escala industrial usando haces de electrones [CNFTHCLF12].

Los pacientes de cáncer en Japón y Alemania pueden ya recibir tratamiento con haces de iones ligeros.

Históricamente, los avances en la tecnología de aceleradores han llegado del área de la investigación científica básica. La curiosidad humana por descubrir las leyes de la naturaleza, desde las más fundamentales interacciones de la materia al comportamiento de los sistemas biológicos complejos ha conducido a la búsqueda de herramientas cada vez más poderosas.

Desde los días del tubo de rayos catódicos en 1980, los aceleradores de partículas han sufrido una extraordinaria transformación como herramientas de ciencia básica. Entre el ciclotrón de 10 centímetros de diámetro de Ernest Lawrence construido en Berkeley en 1930 y los aceleradores más poderosos de hoy como el Gran Colisionador de Hadrones hemos tenido docenas de máquinas cada vez más poderosas y precisas que han venido incorporando innovaciones para el avance científico. Cada generación de aceleradores de partículas se construye sobre los logros del anterior, aumentando el nivel de tecnología más aún [CNFTHCLF12].



### 1.2.2 TIPOS DE ACELERADORES

En la tabla 1 que aparece a continuación podemos observar un pequeño resumen de todos los aceleradores existentes actualmente según su energía cinética y el tipo de partículas.

Energía Cinética W		
	Electrones	Protones/iones
Electrostática Van de Graaf & Tandems		20-35 MeV
Betrón	10-300 MeV	
Microtrón	25-150 MeV	
Ciclotrón		10-100 MeV
Sincrotrón	1-10 GeV	1-1000 GeV
Storage ring	1-7 GeV	
Collider ring	10-100 GeV	1-7 TeV
Linacs	20 MeV-50 GeV	50-800 MeV
Linear collider	50-1000 GeV	

Tabla 1. Resumen del tipo de aceleradores

**Total energy = Rest energy + Kinetic energy**

$$\text{Total energy} = E_0 + W$$

$$\text{Rest energy} = E_0 = m_0c^2$$

A continuación se presenta la tabla 2, donde se puede observar una clasificación de los aceleradores de partículas más utilizados en la industria. Entre los aceleradores que operan en la industria y los emplazados en los hospitales suponen un 90% del total de la infraestructura mundial de aceleradores. Los aceleradores para el descubrimiento de la ciencia o investigación científica representan tan solo un 1% del total de aceleradores que se encuentran en operación que suman entorno a los 30.000 aceleradores en todo el mundo.



# UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)

INGENIERO EN ORGANIZACIÓN INDUSTRIAL

Aceleradores para Aplicaciones Industriales				
	Accelerator Type	Energía (MeV)	Current (A)	Power (W)
Voltage directo: Voltaje de CC para acelerar electrones o iones	Dynamitron & Cockcroft Walton generator	To 5 MeV	Hasta 100 mA	
	Van de Graaff	1 a 15 MeV	De unos pocos nA a algunos mA	
	Inductive Core Transformer (ICT).	To 3 MeV	To 50 mA	
RF Linacs: Amplia gama de frecuencias de operación RF para partículas cargadas	Electron linacs	1 a 16 MeV		50 kw
	Ion linacs	1 a 70 MeV	to >1 mA	
Aceleradores Circulares	Betatrons	15 Mev		Unos pocos kw
	Cyclotrons	10 a 70 MeV	Bastantes mA	
	Rhodotrons	5 a 10 MeV		Hasta 700kw
	Synchrotrons & FEL	To 3 GeV		to 300 MeV/amu

Tabla 2. Resumen del tipo de aceleradores más utilizados en la industria.  
Fuente: Industrial Accelerators, Robert W. Hamm, R&M Technical Enterprises, Inc.

En la ilustración 1 se presentan los regímenes de operación en los que operan los actuales aceleradores de partículas.

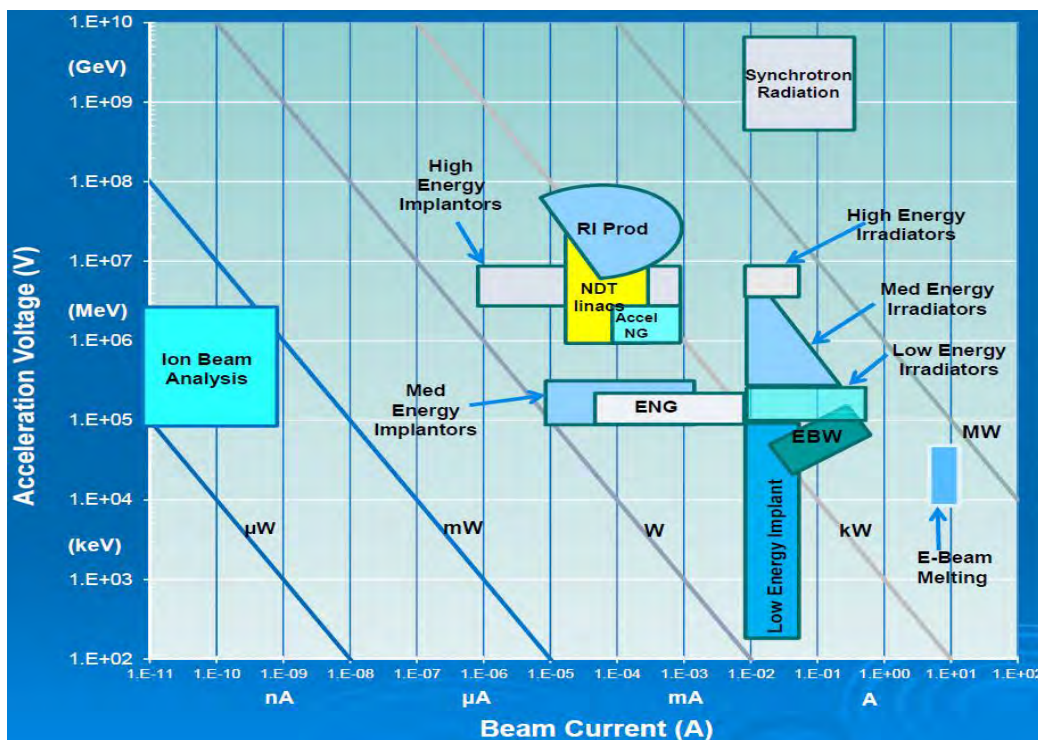


Ilustración 3. Regímenes de operación de los aceleradores de partículas.  
Fuente: Industrial Accelerators, Robert W. Hamm, R&M Technical Enterprises, Inc.



#### 1.2.3 INFRAESTRUCTURA DE ACCELERADORES EN ESPAÑA

Sumando, son más de 30 mil aceleradores los que operan en el mundo. En España más de 260 de los cuales 240 se encuentran en los hospitales y 21 en la industria, investigación y para la obtención de F18, todo esto lo podemos ver en la ilustración 2.

El compromiso español en este campo y en su desarrollo ha sido intenso y prolongado en la última década. Se ha culminado con la construcción del ALBA (tercera generación de Luz de Sincrotrón, 3GeV), CMAM (Tandem 5MV, Crockcroftwalton), CNA (Tandem 3MV Peletron y 1MV Crockcoft-Walton). Mucho esfuerzo ha sido centrado en varios proyectos, para desarrollar y construir dos Linacs superconductores en Bilbao y Huelva, un ciclotrón superconductor en el CIEMAT, y un electrón microtrón (6, 8, 10, 12 MeV) en la UPC [FAOB]. Todas estas infraestructuras las podemos ver reflejadas en la ilustración 3.

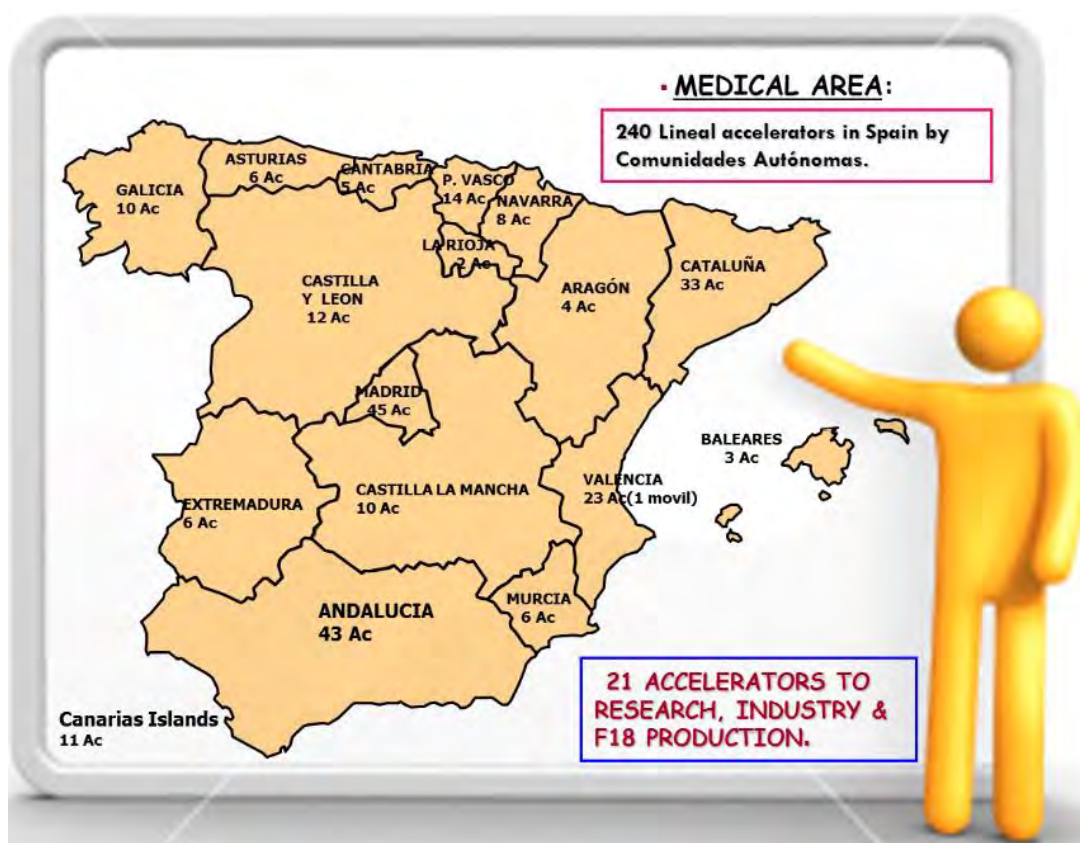


Ilustración 4. Aceleradores lineales destinados a la medicina en España por comunidades autónomas.

Fuente: España Education And Training In Accelerator Science In Spain. CIEMAT





# UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)

INGENIERO EN ORGANIZACIÓN INDUSTRIAL



Ilustración 5. Infraestructura de aceleradores en España.

Fuente: España Education And Training In Accelerator Science In Spain. CIEMAT



# UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)

INGENIERO EN ORGANIZACIÓN INDUSTRIAL

## 1.3 EL NEGOCIO DE LOS ACELERADORES

A continuación se realizara una breve reflexión del estado del negocio de los aceleradores y su evolución. Este análisis se centrará sobre todo en los aceleradores de aplicaciones industriales ya que representan el 90% de toda la infraestructura de aceleradores a nivel mundial.

En la tabla 3, se puede observar el volumen de ventas que han tenido los diferentes tipos de aclaradores a lo largo del tiempo en función de su aplicación, así como su precio.

<b><i>Aplicaciones</i></b>	<b>Sistemas hasta 2008</b>	<b>Sistemas hasta 2010</b>	<b>Sistemas Vendidos/año</b>	<b>Ventas/Año (M\$)</b>	<b>Precio Sistemas (M\$)</b>
<b>Implantación iónica</b>	10.000	11.000	500	1.500	1,5-5,0
<b>Modificación con haz de electrones (Material Processing)</b>	7.000	7.500	100	150	0,5-2,5
<b>Haz de electrones &amp; irradiadores de rayos X</b>	2.000	3.000	75	130	0,2-8,0
<b>Análisis con haces de iones (incluyendo AMS)</b>	200	300	25	30	0,4-1,5
<b>Producción de radioisótopos (incluyendo PET)</b>	600	1.500	50	70	1,0-30
<b>Rayos x de alta energía para inspección (NDT Inspection)</b>	750	2.000	100	70	0,3-0,2
<b>Generadores de neutrones (incluidos los tubos sellados)</b>	2.000	2.000	50	30	0,1-3,0
<b>Radiación Sincrotrón</b>		70			
<b>TOTAL</b>	<b>22.550</b>	<b>25.370</b>	<b>900</b>	<b>1.880</b>	

Tabla 3. Volumen de ventas de aceleradores por su aplicación industrial.

Fuente: Industrial Accelerators, Robert W. Hamm, R&M Technical Enterprises, Inc.





# UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)

INGENIERO EN ORGANIZACIÓN INDUSTRIAL

En relación con la tabla anterior, el Incremento de las ventas totales de sistemas es de al menos un 10% anual, además las cifras totales actualizadas indican que más de 27.000 sistemas han sido vendidos en todo el mundo y las estimaciones sostienen que más de 20.000 todavía siguen en funcionamiento hoy en día.

Todos los productos que se procesan, tratan o son inspeccionados por haces de partículas tienen un valor anual superior a 500(B\$) Billones de Dólares Americanos (2010) [TIARAAS].

A continuación se presenta el porcentaje que representa cada aplicación industrial. Como se puede observar la implantación iónica es la aplicación más extendida dentro de la industria.



**Gráfico 2. Importancia de las distintas aplicaciones dentro de la industria.**

Fuente: Industrial Accelerators, Robert W. Hamm, R&M Technical Enterprises, Inc.



# UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS

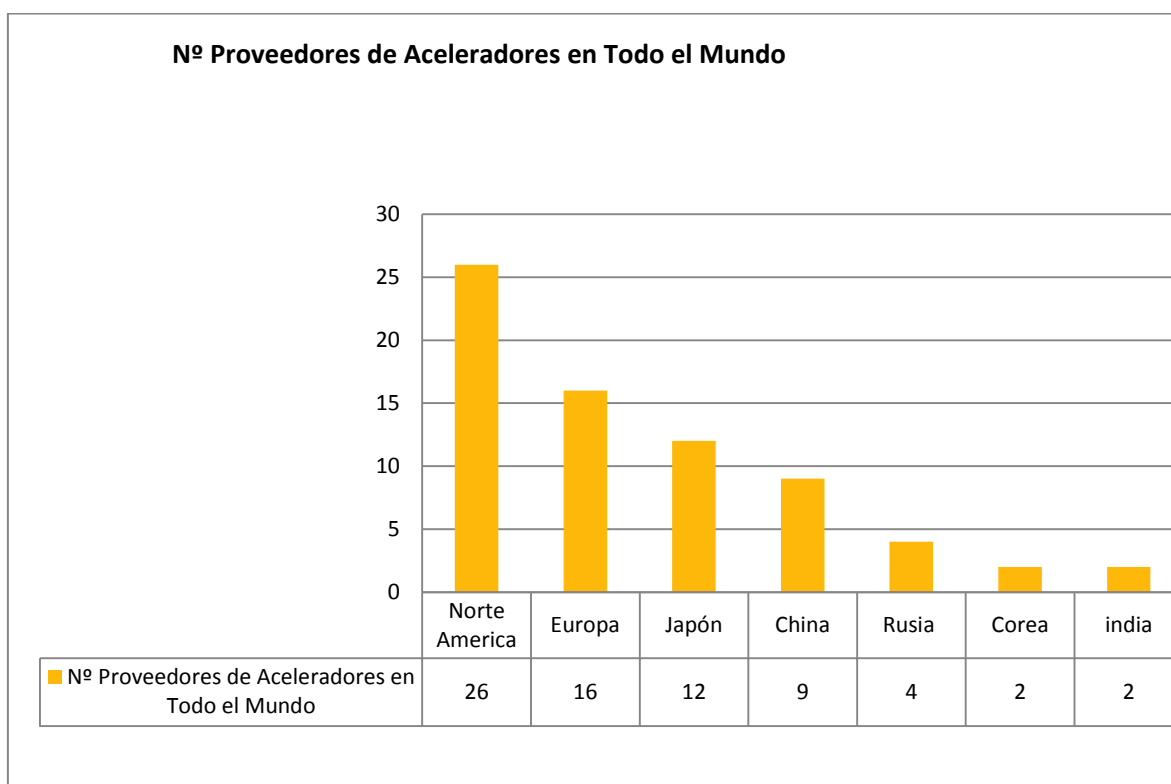
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)

INGENIERO EN ORGANIZACIÓN INDUSTRIAL

El mercado anual de la industria de aceleradores se estimó en 2010 que excedía 1,5 B\$/año con un crecimiento de más del 10% anual [HAMM13].

Existe el potencial para aumentar el impacto en nuevas áreas, especialmente en los campos de la nanotecnología, medio ambiente y energía.

En el grafico 2 que se muestra a continuación se presentan los principales proveedores de sistemas de aceleradores a nivel mundial.



**Gráfico 3. Principales proveedores de aceleradores a nivel mundial.**

Fuente: Industrial Accelerators, Robert W. Hamm, R&M Technical Enterprises, Inc.



## **1.4 FUTURO DE LA TECNOLOGÍA Y LAS APLICACIONES**

---

### **1.4.1 NUEVA TECNOLOGÍA DE ACELERACIÓN DE PARTÍCULAS**

---

Todos los informes y expertos en el tema indican que el futuro de la tecnología de aceleradores y sus aplicaciones estará dirigido al desarrollo de las tecnologías que a continuación se presentan:

- 1. Láser de Electrones Libres (FEL) - Nueva generación de luz de sincrotrón**
  - Utiliza los electrones provenientes del LINAC PM wiggler para crear fuente de luz ajustables para muchas aplicaciones ya realizadas en las instalaciones de sincrotrones de electrones.
  
- 2. Linacs y Ciclotrones Superconductores - Ya en aplicaciones médicas**
  - Mejoras en la tecnología criogénica de uso generalizado en investigación y aceleradores médicos.
  - Aumento de la eficiencia y la reducción de tamaño de los sistemas para la terapia del cáncer, y radioisótopos y de neutrones de producción.
  
- 3. Campo fijo de gradiente alterno (FFAG) Ciclotrón - Varios grupos explorando su uso en áreas médicas.**
  - En desarrollo en investigación física de altas energías en los laboratorios nacionales.
  - También se están desarrollando como una fuente de neutrones para BNCT y, de comprobarse, se adaptarán rápidamente a otras aplicaciones de haces de neutrones.

Por lo tanto las aplicaciones de mayor desarrollo en el futuro serán la energía, nanotecnología y las aplicaciones ambientales, otras están en proceso de I + D, pero se mantiene en secreto por razones de competencia y son muy difíciles de localizar [HAMM13].



# UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)

INGENIERO EN ORGANIZACIÓN INDUSTRIAL

---

## 1.4.2 DESAFÍOS PARA LOS NUEVOS ACELERADORES

---

Después de realizar un gran y amplio estudio sobre el mundo de los aceleradores, todos los científicos y expertos en el tema destacan que los cuatro grandes retos para los nuevos aceleradores son:

1. Aumento de la intensidad de haz de los aceleradores, particularmente las requeridas para la producción de energía y aplicaciones ambientales.
2. Mejorar el rendimiento de las estructuras de aceleración para que sean más compactos y eficientes energéticamente.
3. Realización de los sistemas más robusto y fiable.
4. Uso de las nuevas tecnologías para disminuir los costes.

Por lo tanto, los principales requisitos que deben de cumplir todos ellos y que se deben tener muy en cuenta a la hora de desarrollar nuevos sistemas para que tengan una buena incursión y aceptación dentro de las aplicaciones industriales son:

1. La herramienta más importante para la aplicación industrial no es el acelerador, sino el haz. Un sistema debe cumplir con las especificaciones de haz para una aplicación dada antes de que sea una herramienta útil.
2. El coste inicial de capital, costes de operación y la fiabilidad de todo el sistema juegan un papel importante en estas aplicaciones "con fines lucrativos".
3. Los usuarios buscan continuamente un menor coste total, por lo que las nuevas tecnologías aumentarán el retorno de la inversión (ROI) que es lo que siempre se están buscando.
4. Los nuevos sistemas deben ser probados en un entorno industrial antes de que tengan una amplia aceptación. La penetración significativa en el mercado puede tardar muchos años después de la introducción de una nueva tecnología de aceleración.
5. Hay que tener muy en cuenta que el mercado anual para todos los aceleradores médicos e industriales se estima que ahora superara los 3,0 Billones de Dólares al año y crece a más de un 10% anual (90% de las ventas se concentra en estos dos sectores).



### 1.4.3 NECESIDADES DE I+D EN DIFERENTES ÁREAS DE APLICACIÓN DE LOS ACELERADORES

Según el departamento de Energía de los EE.UU, las necesidades de I+D en cuanto a las diferentes áreas de aplicación que tiene los aceleradores son las que a continuación se recogen en el siguiente tabla obtenida de “*The Accelerators for America’s Future workshop in 2010*” [DOE10].

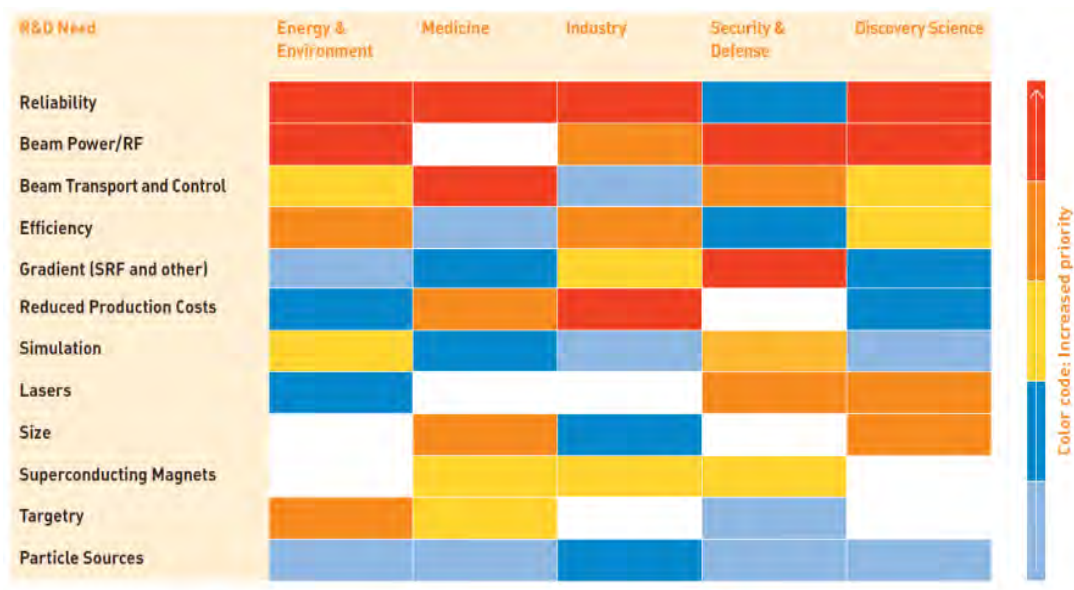


Tabla 4. Áreas de I+D identificadas por el *Department of Energy, EE.UU.*

Fuente: *The Accelerators for America’s Future workshop in 2010, Department of Energy, EE.UU*

### 1.4.4 DESARROLLO A LARGO PLAZO

A continuación se presenta un resumen en siete puntos del desarrollo a largo plazo del campo de la ciencia de aceleradores que desde el Departamento de Energía de los Estados Unidos consideran más relevantes:

1. **Alta energía:** Ampliar el alcance de la energía de la tecnología de colisionador para probar los fenómenos fundamentales en la multi – TeV escala.
2. **Energía del Haz:** Extender la potencia del haz y la intensidad de alcance de la tecnología del acelerador de hadrones para que el próxima generación de capacidades en ciencias fundamentales de la física y de las aplicaciones de la energía.



# UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)

INGENIERO EN ORGANIZACIÓN INDUSTRIAL

---

3. **Alto Gradiente:** Ampliar la capacidad y la comprensión de los límites de rendimiento de la radio - estructuras de aceleración de frecuencia y tecnología.
4. **Nuevos métodos de aceleración:** Romper "La barrera de la Radio-frecuencia" mediante el desarrollo de la próxima generación de métodos de aceleración de en el rango de 10 GeV / metro.
5. **Emitancia de Haz:** Desarrollar herramientas y tecnologías para la manipulación de la fase-espacio de haz de partículas espaciales y la exploración de las limitaciones a la emitancia del haz.
6. **Brillo y Coherencia:** desarrollar conceptos y tecnologías para extender el brillo, el brillo y la coherencia de las fuentes de fotones para cumplir con el siglo 21 challenges of - materiales la ciencia.
7. **Los aceleradores compactos:** Desarrollar sistemas de acelerador para servir como fuentes compactas de fotones, neutrones, protones e iones.



## 1.5 LA OPORTUNIDAD

---

Una de las bondades de esta oportunidad de negocio radica en el número, escaso, de instalaciones semejantes a la que aquí se presenta. Es cierto que existen varias decenas de laboratorios con aceleradores de partículas prácticamente en todo el mundo, de los cuales, en operación se encuentra dentro de la industria 30.000. De todos ellos, 160 son del tipo Tandem con energías entre 1 y 5 MV y tan solo 54 de 6 MV o superiores, distribuidos por todo el mundo. Más concretamente en España en la actualidad operan dos, el del CMAM de 5 MV que entró en operación hace 12 años y el del CNA de 1 MV que lleva más de 17 años en activo. Ninguno de ellos posee la energía ni todo lo que ello representa como el acelerador Tandem de 6 MV.

Todos los productos que se procesan, tratan o son inspeccionados por haces de partículas tienen un valor anual superior a 500(B\$) Billones de Dólares Americanos (2010), y el mercado anual de la industria de aceleradores se estimó en 2010 que excedía 1,5 B\$/año con un crecimiento de más del 10% anual [HAMM13].

Además de todo ello, las aplicaciones con mayor importancia dentro del sector industrial son la implantación iónica y el análisis con haces de iones, como se ha podido observar en el gráfico 1. Estas aplicaciones quedan totalmente cubiertas con el acelerador Tandem de 6 MeV que aquí se presenta, pero este acelerador tiene mucho más potencial como se demuestra a continuación.

Los haces de iones producidos por el acelerador Tandem con la energía correcta y la intensidad adecuada pueden ser utilizados para desarrollar multitud de experimentos con diferentes aplicaciones. Las líneas experimentales que aquí se consideran de mayor interés, tanto en el corto como en el largo plazo son: Ciencia de Materiales, Patrimonio Cultural y Arqueometría, Fotónica, Física de Superficies, Física del Estado Sólido, Biomedicina, Materiales para Producción de Energía, Física Nuclear, Medioambiente.

Estas líneas de investigación permiten al acelerador Tandem ser una pieza fundamental en la investigación y desarrollo de 9 de los 15 sectores que más invierten en I+D del mundo. Estos 9 sectores son: Productos Farmacéuticos y Biotecnología, Tecnología Hardware y Equipos, Automóviles & Partes, Equipos Electrónicos y Eléctricos, Ingeniería Industrial, Aeroespacial y Defensa, Industria General, Equipos para el Cuidado de la Salud, Productores de Petróleo y Gas [ECOMI13].

Tan solo 3 de los 9 sectores citados anteriormente acumulan más del 50% de la inversión en I+D mundial y además, cabe destacar que los 6 primeros sectores representan más del 70% de inversión en I+D a nivel mundial [ECOMI13].



# UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)

INGENIERO EN ORGANIZACIÓN INDUSTRIAL

---

Por lo tanto, se puede concluir que el potencial del mercado global asciende a 360 billones de euros con un crecimiento anual del 6,65 %, superior a la media mundial. El potencial que le corresponde al mercado europeo es de 130 billones de euros con un crecimiento anual del 6,3% en 3 años [ECOMI13].

Por todo lo anterior, el proyecto que se plantea supone una oportunidad clara de negocio con una contribución social inigualable.





## Capítulo 2 EL ACELERADOR

### 2.1 ASPECTOS A CONSIDERAR EN LA ELECCIÓN DEL ACELERADOR

---

En todo este apartado y debido a la dificultad técnica del tema, para describir esquemáticamente una instalación con acelerador a nivel de usuario, se ha basado el estudio en el trabajo “La Física Nuclear Experimental en el mundo: instalaciones, aceleradores y temas de investigación” del Catedrático José Díaz Medina del Departament de Física Atòmica, Molecular i Nuclear Facultat de Física (Universitat de València) que proporcionó a sus alumnos en el curso 2008-2009. Quien considera que los aspectos más importantes son los siguientes: la fuente de iones o de partículas, que determina la intensidad del haz, el tipo de acelerador, que determina la energía final alcanzada y la estructura temporal del haz, y el sistema de transporte que lleva el haz hasta la sala experimental en la que se realizan las medidas. En dicha sala, el haz colisiona con un blanco, situado en una cámara de reacción a alto vacío. Como consecuencia de la colisión se producen los productos de la reacción, estos pueden ser nucleones y fragmentos nucleares, como los rayos gamma y otras partículas producto de la reacción como mesones, bariones y leptones, dependiendo de la energía del haz incidente. Sólo una parte de los productos de la reacción entran en la zona de ángulo sólido cubierta por los detectores de las que sólo una fracción es efectivamente detectada, determinada por la eficiencia intrínseca de los detectores.

Un detector es esencialmente un dispositivo que produce una señal cuando una partícula interacciona con el mismo. Esta señal puede ser una ionización, luz de centelleo, aumento de temperatura u otras. La electrónica relacionada a los detectores transforma las señales producidas por los productos de la reacción, conformes a las magnitudes físicas que se quieren medir, en impulsos eléctricos que son digitalizados a continuación por conversores analógico-digitales (ADC) asociados a indicados detectores y almacenados en primer lugar en discos duros y a la postre en sistemas de mayor capacidad de almacenamiento como cintas magnéticas. En la ilustración 4 se muestra un esquema característico de un acelerador.

Al físico nuclear, continua explicando Díaz, a nivel de usuario, lo que le interesa es obtener  $N_p$  proyectiles de energía  $E$ , con resolución de energía  $\Delta E$  y resolución temporal  $\Delta t$ . Los  $N_p$  proyectiles se suministran durante un tiempo  $t$  concedido por un comité de experimentos de la instalación de que se trate. Dicho tiempo oscila típicamente entre unas y dos semanas, precedido de un cierto tiempo de haz parásito cuya finalidad es de poner a punto el dispositivo experimental.

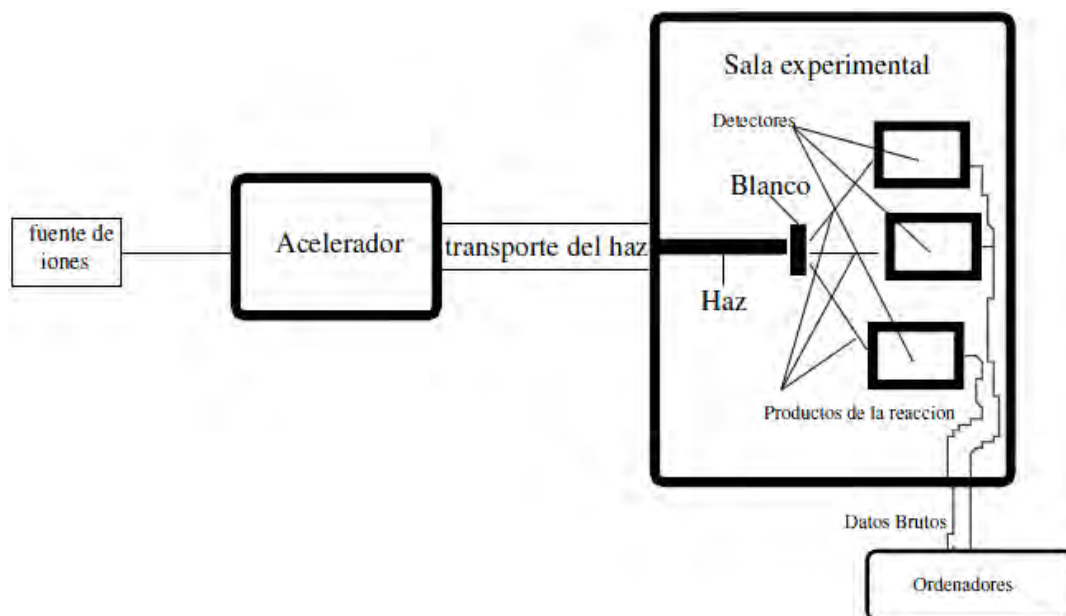


Ilustración 6. Esquema de una instalación con un acelerador de partículas.

Fuente: *La Física Nuclear Experimental en el mundo.*

Por lo general, es muy difícil conseguir más de dos semanas de tiempo de haz en una instalación, salvo en experimentos de con un alto interés. Esto implica que un gran número de solicitudes son rechazadas aun siendo interesantes y correctas, solamente por escasez de tiempo de haz.

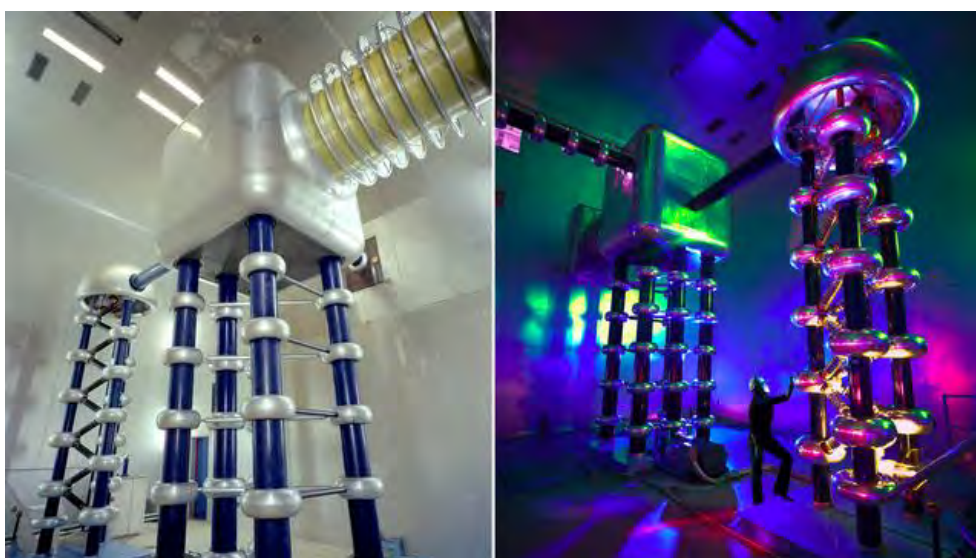


Ilustración 7. Acelerador Crockroft Y Walton.

Fuente: Reidar Hahn. Fermilab Visual Media Services



#### 2.1.1 FUENTES DE IONES

---

La fuente de iones es el elemento que determina la intensidad del haz. Proporciona un plasma de iones con una sola carga positiva, que en determinados tipos de aceleradores se transforman en negativos después de pasar por un añadidor de electrones. Estos iones se aceleran unos centenares de keV, después de lo cual se les hace atravesar una lámina fina o stripper que desnuda al átomo de una parte de los electrones. Este procedimiento produce una distribución de carga no uniforme, centrada en un valor de carga más probable. Sólo una de estas cargas se selecciona para formar el haz del acelerador. La máxima intensidad de haz se obtiene cuando se selecciona la carga más probable. Cuanto mayor sea la carga seleccionada, mayor será la energía alcanzada. Sin embargo, las cargas muy elevadas suelen tener una frecuencia de distribución baja por ello, a menudo hay que llegar a un compromiso entre energía de aceleración e intensidad del haz [DIAZ09].

#### 2.1.2 HACES DE PARTÍCULAS

---

Las intensidades del haz, medidas como corrientes eléctricas suelen oscilar entre las decenas de nanoamperios ( $\eta\text{A}$ ) y unos pocos microamperios ( $\mu\text{A}$ ), los cuales dependen del acelerador y del proyectil. Un haz de  $1 \mu\text{A}$  supone una intensidad muy elevada, que escasas instalaciones científicas consiguen suministrar. Con el fin de transformar estas intensidades eléctricas en intensidades de partículas, hay que conocer la carga de los iones seleccionados, que es un dato básico para el transferencia del haz. Si la carga de los iones que componen el proyectil es  $Q_p$  (medido en unidades de la carga elemental) y la carga total que es suministrada por el haz es  $Q_h$  (en unidades de carga), el número de proyectiles se obtiene dividiendo la carga total suministrada por el haz, en número de cargas elementales, por la carga de los iones:

$$Np = \frac{Qh}{eQp}$$

donde  $e = 1,62 \times 10^{-19} \text{ C}$ , es la carga elemental [DIAZ09].

La carga  $Q_h$  viene determinada por el hecho de que la fuente de iones proporciona una distribución de ionizaciones de tipo gaussiano, con máximo en una determinada carga del ion, inferior a número atómico  $Z_p$  del proyectil. Cuanto mayor sea  $Q_p$  mayor es la energía alcanzada, pero para valores de  $Q_p$  mayores que el máximo de la distribución, la intensidad total disminuye rápidamente con la carga. Sólo a energías del haz elevadas, se consigue despojar totalmente a los iones de todos sus electrones atómicos [DIAZ09].

Algunos tipos de aceleradores (sincrotrones y ciclotrones) suministran haces que no son continuos en el tiempo, sino que están concentrados en una fracción del tiempo total de



# UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)

INGENIERO EN ORGANIZACIÓN INDUSTRIAL

---

funcionamiento. En este caso tenemos una estructura temporal del haz, ya que se trabaja con una intensidad mucho más elevada que la intensidad nominal pero durante un tiempo mucho más corto. En los experimentos en los que la información temporal es importante, el tiempo de subida de la intensidad del haz (tiempo en que la intensidad pasa del 10% al 90% del valor máximo) es un dato esencial para la medida de tiempos de vuelo y se puede reducir hasta unos pocos centenares de picosegundos [DIAZ09].

El haz debe de ser trasladado desde la salida del acelerador, en la que la dosis radiactiva es alta, hasta la sala experimental, en la que el riesgo radiactivo es bajo cuando no hay haz. Este proceso no es baladí y asiduamente se necesitan algunas horas en una instalación para conseguir transportar un haz, desde el acelerador hasta la sala experimental, sin pérdidas de intensidad y con un perfil transversal del haz de superficie suficientemente bajo. El haz se orienta mediante elementos magnéticos (cuadropolos, octupolos y hexadecapolos) hasta conseguir un perfil adecuado, que por lo general es circular con un radio de pocos milímetros. De cualquier manera, hay que impedir que el haz sea más ancho que el soporte del blanco, en cuyo caso se producirían reacciones con dicho soporte, contaminando los datos experimentales con sucesos no deseados.

Una cuestión importante para determinar las secciones eficaces es la medida de la carga del haz  $Q_h$ . En los aceleradores a bajas e intermedias energías (aceleradores electrostáticos y ciclotrones) se suele utilizar un mecanismo metálico que recoge el haz, denominado copa de Faraday, el cual integra la carga total con una precisión entorno al 5%.

En resumen las características relevantes del haz son:

1. La energía y su resolución.
2. La intensidad.
3. La carga de los iones.
4. La uniformidad o estructura temporal.
5. El perfil transversal.
6. En haces en bloques, resolución temporal.

### 2.1.3 BLANCOS

---

Los blancos pueden ser materiales sólidos o líquidos. En el caso de ser sólidos, se puede fabricar en forma de láminas muy finas y homogéneas, utilizando la implantación sobre un soporte, electrodeposición u otras técnicas.

Debido a que el proyectil disipa energía en el blanco, en el caso de tratarse de medidas de niveles nucleares, el grueso del blanco debe ser de la forma que la pérdida de energía sea ínfima, si se compara con la resolución energética que se desea. En estos casos,



grosos entre 20 y 40  $\mu\text{g}/\text{cm}^2$  son habituales. Por ejemplo, un blanco de hierro de ese espesor es totalmente transparente. En el caso de que la resolución energética no sea demasiado significativa, como es el caso de experimentos de elaboración de partículas a energías intermedias, se pueden usar blancos de grosos altos, hasta 100  $\text{mg}/\text{cm}^2$ . De cualquier manera, el grosor no debe de ser de tal manera que un proyectil tenga una probabilidad estimable de causar dos o más reacciones en el blanco.

En los blancos, lo importante son una sucesión de características. En blancos delgados, la homogeneidad es uno de los puntos que restringe la precisión medida de las secciones eficaces. En blancos de grosos de decenas de  $\mu\text{g}/\text{cm}^2$  es complicado conseguir homogeneidades superiores al 5%. Otra característica importante es la pureza. Es posible obtener blancos de alta pureza isotópica, acudiendo a laboratorios con separadores de masas. Es el caso del estudio de reacciones con isótopos naturales muy poco abundantes.

Cuando se utilizan blancos naturales, están todos los isótopos presentes en el elemento natural y consiguen producir sucesos contaminantes dificultosos de separar de los sucesos de interés. Lo siguiente de más importancia, es la robustez del blanco. Un blanco de un material de baja robustez se romperá con frecuencia, exigiendo su cambio. Por lo general, se colocan diferentes blancos en la cámara de reacción, en un portablancos automático que se puede trasladar por control remoto. Una vez que el número de blancos disponibles se ha agotado, es necesario reemplazarlos, para lo cual es necesario romper el vacío existente, lo que supone varias horas de interrupción del experimento. Los blancos de materiales poco robustos se fabrican implantándolos sobre un soporte robusto, como por ejemplo carbono, o introduciéndolos en forma de compuesto químico o aleación robusta, lo cual obliga a sacrificar la condición de pureza.

Hoy en día, es frecuente la utilización de blancos líquidos, sobre todo de hidrógeno y deuterio líquidos. Estos blancos requieren, un mayor grado de atención durante el experimento, para evitar la aparición de burbujas, la solidificación del blanco por la disminución grande de la temperatura y otros problemas. [DIAZ09]

#### 2.1.4 CÁMARAS DE REACCIÓN

---

La cámara de reacción es un recipiente sometido a alto vacío en él se colocan el blanco y los detectores de partículas cargadas. Suelen ser de acero. Sin embargo, en el caso de que se coloquen detectores de hadrones neutros y leptones en el exterior, se utilizan materiales resistentes y con un bajo poder de frenado, como la fibra de carbono y el Kapton. El tamaño de las cámaras de reacción varía entre el de una pequeña cacerola y el de un pequeño submarino. El tamaño de las cámaras de reacción se diseña de forma que puedan contener todos los detectores necesarios.



# UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)

INGENIERO EN ORGANIZACIÓN INDUSTRIAL

---

En particular, todos los detectores de partículas cargadas deben de ser colocados en vacío, mientras que los detectores de partículas neutras se pueden colocar en el aire, en el exterior de la cámara de reacción. Como la cámara de reacción es una parte integrante del sistema de vacío del acelerador, no es deseable un tamaño superior al estrictamente necesario [DIAZ09].



## 2.2 ELECCIÓN DEL TIPO DE ACELERADOR

### 2.2.1 TIPO DE ACELERADOR

Para realizar la selección del tipo de acelerador a construir se tendrá en cuenta todo lo expuesto anteriormente, pues es de vital importancia para seleccionar un acelerador que se ajuste a las necesidades que se quieren cubrir.

En el presente proyecto la selección del acelerador se ha basado en un estudio científico-económico de la situación actual de la ciencia de aceleradores y su aplicación industrial y en sobre todo en proyectos de I+D, ya sean realizados tanto por la industria privada como por las instituciones públicas.

Por todo ello y como ya se vio anteriormente, se realizó un estudio sobre las aplicaciones de los aceleradores en la industria y la importancia y el porcentaje del total que cada una representa dentro de las aplicaciones industriales de los mismos, con el fin de ver qué tipo de acelerador resulta más interesante económicamente hablando. Este análisis se puede ver reflejado en el gráfico 3.

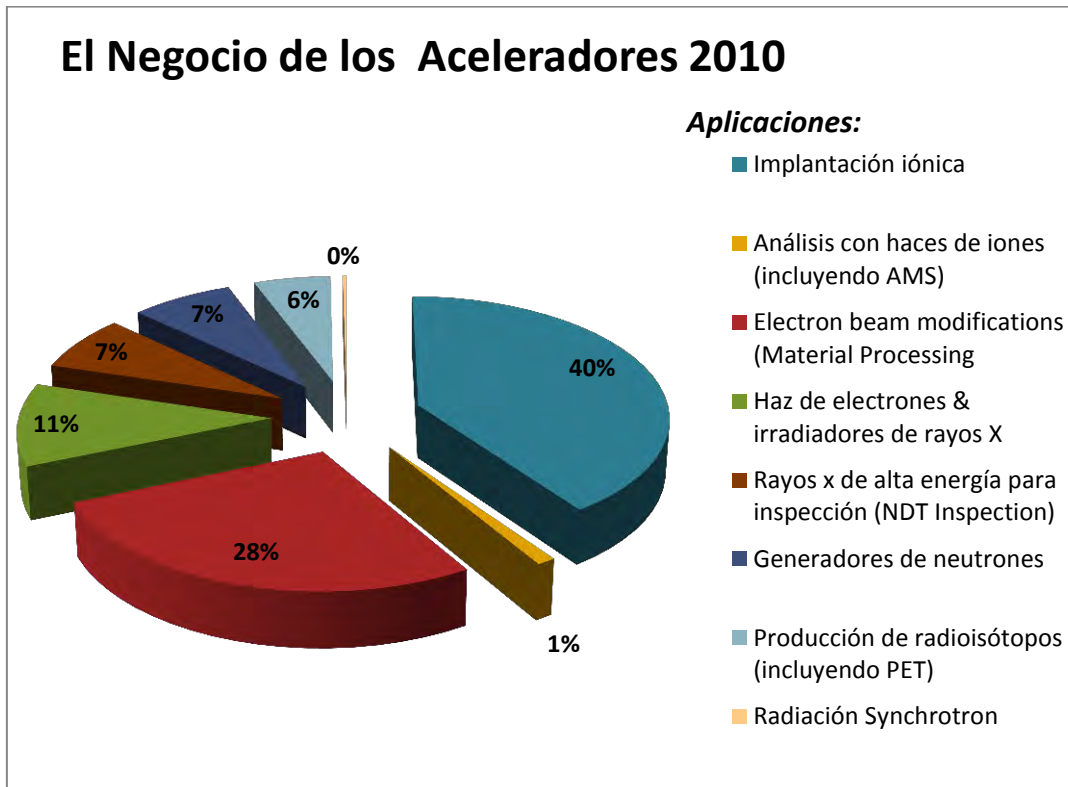


Gráfico 4. Importancia de las distintas aplicaciones dentro de la industria. Fuente: Industrial Accelerators, Robert W. Hamm, R&M Technical Enterprises, Inc.





Si se analiza el gráfico anterior se puede observar como la aplicación más importante dentro de la industria es la implantación iónica, seguida por la modificación con haces de electrones. Si se analiza más en profundidad se ve como las aplicaciones con haces de iones son las que más porcentaje representan con un 41% del total, por lo que finalmente se decidió elegir un acelerador de iones ligero electrostático que es el que nos proporciona este tipo de aplicaciones.

### 2.2.2 ENERGÍA DE LOS IONES

El siguiente paso es seleccionar la energía que debe tener el acelerador en función de los experimentos y las aplicaciones que requieren realizar en la instalación que se presenta. Para ello antes de nada se explicará un poco sobre la importancia de la energía del acelerador.

Para comenzar con esta explicación, explicar que el patrón más sencillo del núcleo es el de un gas donde los nucleones se mueven de forma caóticamente con una energía promedio denominada energía de Fermi que vale  $E_F \approx 20 \text{ MeV}$ , que corresponde a una distribución uniforme con energía máxima  $E_{max} \approx 38 \text{ MeV}$ . Se consideran instalaciones de baja energía aquellas que aceleran hasta energías menores a la energía de Fermi  $E_F$ . Están dirigidas esencialmente al estudio de la espectroscopia y estructura nuclear y de las reacciones nucleares a bajas energías, aunque también incluyen aplicaciones industriales y a otros campos de la Física, en particular Ciencia de Materiales y Astrofísica. [DIAZ09]

Una imposición fundamental en el estudio experimental de la estructura nuclear es una buena resolución energética, pues sólo se pueden separar niveles de energía distanciados en una energía superior a dicha resolución. Los niveles nucleares bajos en núcleos medios y pesados están separados unos 100 keV. Para superar la repulsión electrostática o de Coulomb entre los núcleos colisionantes de forma que éstos entren en contacto, hace falta una energía de colisión en centro de masas superior a la energía de repulsión Coulombiana cuando estos núcleos están en contacto:

$$E_{\text{Coul}} \approx \frac{Z_P Z_B e^2}{1.4(A_P^{1/3} + A_B^{1/3})} \approx \frac{Z_P Z_B}{A_P^{1/3} + A_B^{1/3}} \text{ MeV}$$

que implica una energía del proyectil superior a 100 MeV, salvo en el caso de núcleos ligeros. Esto implica una resolución energética mejor que 0.1%,

$$\Delta E/E < 10^{-3}$$

Esta resolución energética sólo se puede conseguir con campos eléctricos estáticos, en los que los iones se aceleran al atravesarlos. [DIAZ09]





Por ello se busca un acelerador electroestático que tenga la capacidad de irradiar los materiales con iones y que estos puedan penetrar al menos unas decenas de micras en su interior. En la siguiente tabla se observa una clasificación de los aceleradores según su energía cinética, donde nos podemos hacer una idea del rango de energía en los que opera el tipo de acelerador que se propone y su energía en relación con el resto de aceleradores existentes.

Energía Cinética W		
	Electrones	Protones/iones
Electrostática Van de Graaf & Tandems		<u>20-35 MeV</u>
Betrón	10-300 MeV	
Microtrón	25-150 MeV	
Ciclotrón		10-100 MeV
Sincrotrón	1-10 GeV	1-1000 GeV
Storage ring	1-7 GeV	
Collider ring	10-100 GeV	1-7 TeV
Linacs	20 MeV-50 GeV	50-800 MeV
Linear collider	50-1000 GeV	

Tabla 5. Tipos de aceleradores de partículas clasificados por su energía cinética

Los aceleradores de iones ligeros más utilizados para el rango de energías deseado son los aceleradores electrostáticos del tipo Electroestáticos Van de Graaf o Tandems. Existe experiencia en España en este tipo de aceleradores ya que en la actualidad se hallan en funcionamiento unos cuantos de ellos en: CIEMAT, CMAM (Centro de Microanálisis de Materiales de Madrid) y CNA (Sevilla). Dichos aceleradores les hay de dos tipos, single-ended, el cual posee uno de los terminales a alta tensión o del tipo tandem, con ambos terminales a baja tensión. En la instalación que se presenta deberán ser tipo tandem para asegurar que la fuente de iones no esté a alta tensión, permitiendo así más flexibilidad en los experimentos y admitiendo además energías finales más elevadas a igual potencial de terminal.

La principal característica de los aceleradores del tipo tándem van de Graaf es su excelente resolución energética, del orden de  $\Delta E/E = 10^{-4}$ . Su energía de aceleración no es muy elevada, del orden de 25 MeV por unidad de carga en cada una de las dos etapas. Esto significa una energía máxima de 175 MeV para iones de carbono. En el caso de núcleos pesados, el stripper sólo arranca una fracción de los electrones atómicos. Esto produce un plasma con una



# UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)

INGENIERO EN ORGANIZACIÓN INDUSTRIAL

distribución de cargas, de la que sólo se selecciona una carga para producir el haz. Cuando mayor es la carga, mayor es la energía de aceleración, pero como la distribución de carga tiene un valor máximo para una carga intermedia y a partir de aquí disminuye rápidamente con la carga, a las energías más altas las intensidades obtenidas son reducidas.

Para terminar con el apartado de la elección de la energía del acelerador y finalizar de justificar la elección propuesta, se presenta a continuación la tabla 6, donde se observa una división de la energía de los aceleradores tándem en un rango de energías de 1 a 10 MV, donde se puede ver claramente y de forma resumida porque dentro del rango de energía de interés para el presente proyecto, la elección de un acelerador Tandem de 6 MV es la mejor opción tanto técnica como económica.

Rango de energía de iones	1 MV	6 MV	Superior a 10 MV
Sección eficaz de colisión (valor relativo)	0,05	10	20
Principales campos de aplicación	Análisis superficial	Análisis de alta resolución	Ciencia nuclear. Radioisótopo
Profundidad de resolución	10 nm ( $10^{-8}$ )	1 nm ( $10^{-9}$ )	1 nm ( $10^{-9}$ )
Límite cuantitativo	ppm ( $10^{-6}$ )	ppt ( $10^{-12}$ )	ppt ( $10^{-12}$ )
Precio / Comercial	Bajo / Posible	Bajo / Posible	Alto / Encargo

Tabla 6. Comparación entre las energías de los aceleradores Tandem

De la tabla anterior se llega a la conclusión de que para el tipo de acelerador buscado y el rango de energías que necesita la instalación que se presenta el acelerador que cumple todas las expectativas y con el que se es capaz de cubrir las necesidades requeridas es el acelerador electrostático Tandem Van de Graaf de 6 MV, puesto que si se realiza la comparación entre el mismo acelerador tanto de 1 MV como de más de 10 MV, se puede decir que por el rango inferior de energía (1 MV), este acelerador solo nos ofrece un análisis superficial algo que ha quedado bien claro que no es lo que se busca en esta instalación. En cuanto a los aceleradores con una energía superior de 10 MV la principal cuestión a resaltar es su alto precio y su disponibilidad solo por encargo, en cuanto a sus aplicaciones, este acelerador está enfocado principalmente a la ciencia nuclear y a la generación de radioisótopos y la profundidad de resolución que nos ofrece y su límite cuantitativo es semejante al de 6 MV pero con un coste mayor.

Por todo ello, la mejor elección para las aplicaciones que se persiguen conseguir es la de un acelerador electrostático tipo Tandem de 6 MV.



# UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)

INGENIERO EN ORGANIZACIÓN INDUSTRIAL

## 2.2.3 FUENTES DE IONES

Para el tipo de aplicaciones que se le quieren dar al acelerador se considera que serán necesarias al menos dos fuentes de iones, que permiten generar cualquier elemento desde el hidrógeno (protones) hasta el uranio. Por ello se propone una fuente duoplasmatrón y una fuente de iones por pulverización catódica.

## 2.2.4 CORRIENTES

En las Tablas 7 se resumen las corrientes que han de alcanzar para cada tipo de ión en el acelerador Tandem. Estos valores son aproximados a una instalación como la que aquí se presenta, que es el acelerador Tandem de 6 MV propuesto para la instalación de TechnoFusion, pero nos permite tener un orden de magnitud de la corriente en función del tipo de iones.

<b>Aceleradores iones ligeros Tandem</b>	
<b>Corrientes (pnA)</b>	
<b>H</b>	50 -100
<b>D</b>	~10
<b>He</b>	50 - 100

Tabla 7. Corrientes deseables para cada tipo de ión en los aceleradores tipo tándem previstos para TechnoFusión. Datos en corrientes de partícula (iones/s).

Fuente: TechnoFusion. Informe Científico – Técnico. (2009)

## 2.2.5 EMITANCIA

En cuanto al requisito de emitancia que debe cumplir el acelerador se expone a continuación, no sin antes explicar que es la emitancia.

La emitancia de un haz de partículas aceleradas se define como el volumen ocupado por estas partículas en el espacio de fases (espacio y momento) a medida que viaja. Un haz que posea una baja emitancia, es un haz en el cual las partículas se hallan bien confinadas y poseen prácticamente el mismo momento. Un sistema de transporte sólo permite partículas con momento cercano al de su valor de diseño y, por supuesto, que puedan transitar espacialmente por el sistema de olimadores, tubos de vacío e imanes que componen el



# UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)

INGENIERO EN ORGANIZACIÓN INDUSTRIAL

---

sistema. En la práctica una emitancia pequeña conlleva un mejor control del haz y mayor luminosidad.

Para los aceleradores tipo tándem, un valor de emitancia de trabajo encontrado en la literatura es  $3.5 \pi \text{ mm} \times \text{mrad}$  para un haz de protones a 1 MeV. [TFICT09]

## 2.2.6 HOMOGENEIDAD DEL HAZ

---

Para conseguir irradiaciones homogéneas en áreas relativamente grandes, el acelerador deberá contar con sistemas de barrido del haz.



## Capítulo 3 Infraestructura e Instalaciones

El equipo requerido para el análisis con haces de iones de alta energía, con independencia de la técnica empleada, consta de tres componentes básicos: i) La fuente de iones, ii) el acelerador de partículas y iii) la estación experimental, compuesta, en general, por una cámara de análisis con los correspondientes detectores para el tipo de reacción a analizar.

### 3.1 ACELERADORES ELECTROSTÁTICOS DE IONES

---

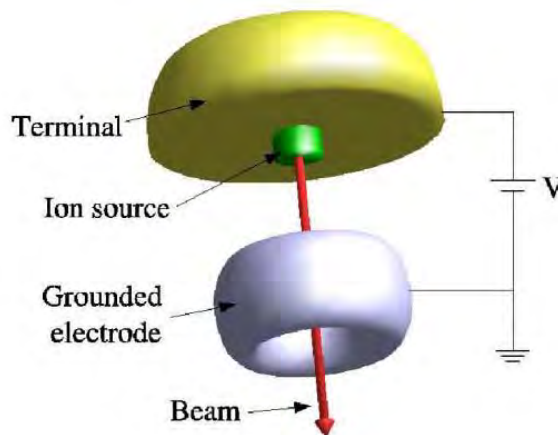
---

Los inaugurales experimentos con partículas energéticas se cometieron mediante el uso de fuentes radiactivas (emisores naturales). Estas fuentes radiactivas no podían ser utilizadas para muchos experimentos ya que daban lugar a partículas, energías e intensidades muy limitadas. En 1928, John Cockcroft y Ernest Walton iniciaron a acelerar las primeras partículas, logrando así, generar las primeras reacciones nucleares en 1932. [BACH11]

Existe una variedad muy amplia de aceleradores, bien sea por su sistema de aceleración, como por las energías que alcanzan y por los fines con los que se construyen. Para la aplicación de las técnicas denominadas IBA (Ion Beam Analysis), las energías típicas de los iones están en el rango de MeV, siendo estas energías fácilmente alcanzables con aceleradores lineales electrostáticos.

Estos aceleradores electrostáticos pueden ser de una o dos etapas, presentando estos últimos una serie de ventajas como es la mayor energía del haz para una tensión de terminal dada o acceso fácil a las fuentes de iones, al encontrarse en el acelerador Tandem, en la parte exterior del tanque de aceleración.

En aceleradores de una etapa, las fuentes de iones se encuentran situadas en la parte interior del tanque de aceleración (ver Ilustración 6) y poseen la misma tensión que la de aceleración. Las partículas que se generan en las citadas fuentes, poseen carga positiva y se aceleran en sentido opuesto a tierra, es decir, hacia el otro extremo del acelerador [BACH11].



**Ilustración 8. Esquema correspondiente al funcionamiento de un acelerador de una sola etapa.**

*Fuente: Montaje y caracterización de un sistema para la aplicación de la técnica PIGE (2011)*

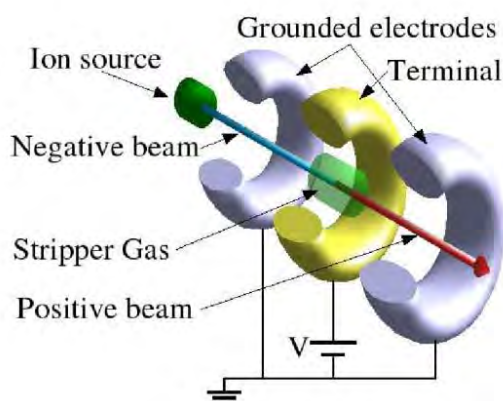
La energía que alcanzan los iones, debido al campo eléctrico generado por una diferencia de potencial,  $V$ , será:

$$E = qV = neV$$

Siendo  $e$  la carga del electrón y  $n$  el estado de carga de la partícula.

Se puede conseguir una energía aún mayor en los iones si, en vez de acelerarlos en una sola etapa, utilizamos un acelerador tándem. En éste, los iones con carga  $-e$  se aceleran un primera vez al igual que ocurre en el de una sola etapa, a continuación transitan por un gas enrarecido ("stripper gas"), el cual arranca electrones de los iones, consiguiendo de esta forma que queden cargados positivamente, de tal modo que son repelidos por el terminal positivo (que antes les aceleraba) hacia un terminal a tierra. Como resultado, la energía alcanzable por los iones síguelas siguiente expresión:

$$E = (n + 1)eV$$



**Ilustración 9. Esquema de un sistema Cockcroft-Walton tándem.**

*Fuente: Montaje y caracterización de un sistema para la aplicación de la técnica PIGE (2011)*

Con independencia del tipo de acelerador, un factor determinante de la energía (valor máximo y estabilidad) del haz que producen, es el mecanismo de generación de alta tensión que utilicen. Los dos métodos más habituales son los generadores tipo Crockcroft-Walton y tipo Van de Graaff.

El sistema Van de Graaff se basa en la acumulación de carga estática positiva en un electrodo terminal. La carga llega a través de una cinta, la cual gira utilizando dos ruedas (controladas por un motor) como se puede observar en la Ilustración 8. La cinta recoge carga de un terminal conectado a tierra y la transporta mecánicamente hasta el electrodo terminal de alto voltaje donde se acumula. Con este sistema se llega a conseguir potenciales de incluso 25 MV. El inconveniente más importante que tiene este sistema es la inestabilidad que presenta, consecuencia directa de las partes móviles que tiene el sistema encargado de transporta la carga, esta se produce en la tensión de terminal. Una variante de este método que consigue, en parte, aliviar este problema, consiste en la utilización de una cadena constituida por eslabones de material aislante y conductor en vez de una cinta continua (sistema Pelletron) .En el Centro Nacional de Aceleradores, en Sevilla, el acelerador que poseen es del tipo Pelletron, y puede llegar hasta potenciales de 3 MV. [BACH11]

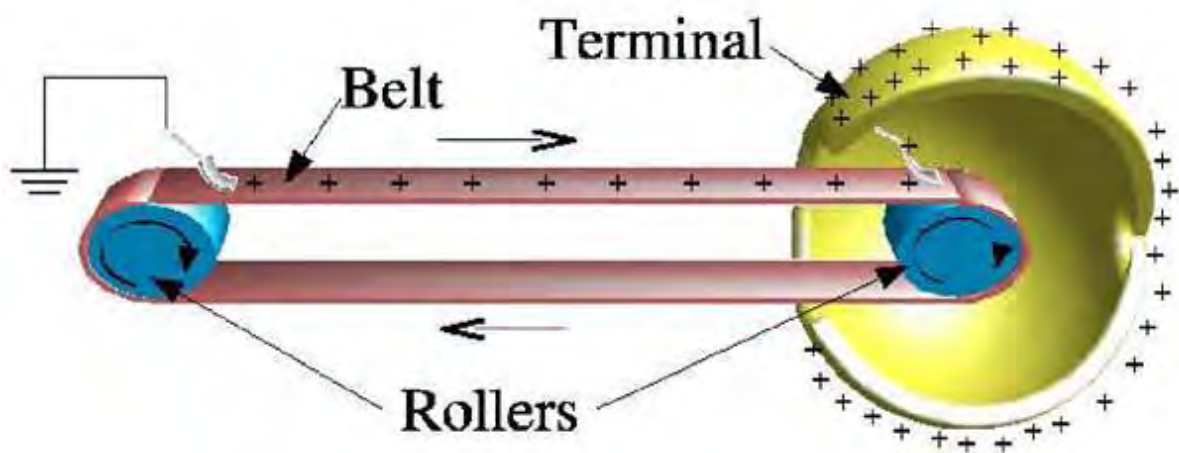
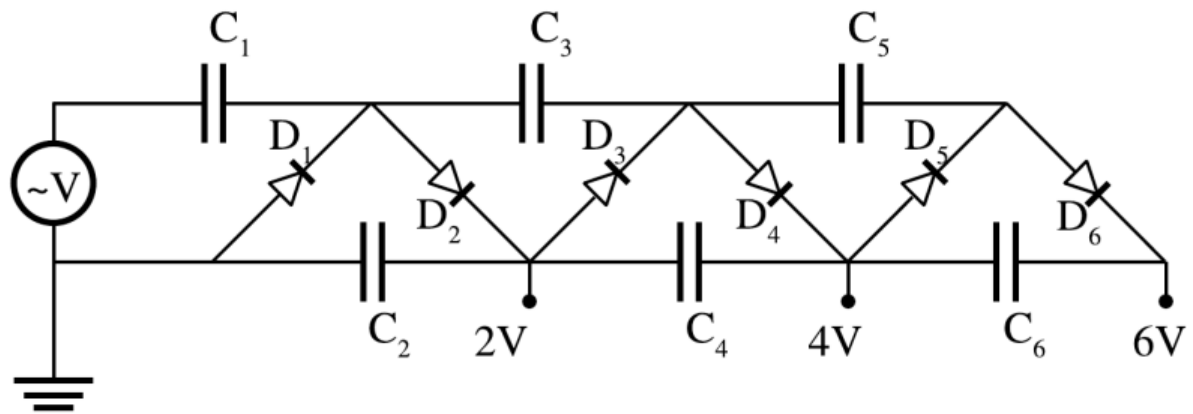


Ilustración 10. Esquema un generador de potencial Van de Graaf.

Fuente: *Montaje y caracterización de un sistema para la aplicación de la técnica PIGE (2011)*

El sistema Cockroft-Walton para generar alto voltaje se basa fundamentalmente en un circuito constituido por una cadena de condensadores y diodos alimentados con una fuente de tensión alterna. El circuito es capaz de multiplicar el voltaje de entrada, al mismo tiempo que lo rectifica, un enorme número de veces. En la Ilustración 9 se muestra un esquema del circuito que utiliza el acelerador del CMAM. Con este sistema se han logrado ya construir aceleradores de hasta 6MV de tensión de terminal, como el que aquí se presenta [BACH11].



**Ilustración 11. Esquema del circuito utilizado en el sistema Cockcroft-Walton.**  
Fuente: Montaje y caracterización de un sistema para la aplicación de la técnica PIGE (2011)





### **3.2 ACCELERADOR TANDEM DE 6 MV**

---

El acelerador lineal electrostático tipo Cockcroft-Walton de dos etapas (Tandem), puede alcanzar un potencial en el terminal de hasta 6 MV. Se trata de un acelerador muy similar al del Centro de Microanálisis de Materiales (CMAM) de la Universidad Autónoma de Madrid el cual comenzó a funcionar en noviembre de 2002 y que se tomará como referencia para describir a continuación algunas de las partes más relevantes de este acelerador, desde la generación de los iones al comienzo del proceso hasta las diferentes líneas. En la ilustración 10 podemos ver una imagen del mismo y en la ilustración 11 se muestra el esquema del acelerador.



**Ilustración 12. Imagen del acelerador del centro de Micro-Análisis De Materiales.**  
*Fuente:* Centro de Micro Análisis de Materiales de Madrid. (<https://www.cmam.uam.es/es>)

Como ya se ha comentado, es un acelerador Tandetron coaxial de alta corriente capaz de alcanzar los 6MV, utilizando para ello un multiplicador de tensión tipo Cockcroft-Walton.

Este sistema de alimentación garantiza un funcionamiento más fiable, una alta estabilidad en una tensión en terminal y un rizado mínimo (menos de 50V a 5 MV), lo que



# UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)

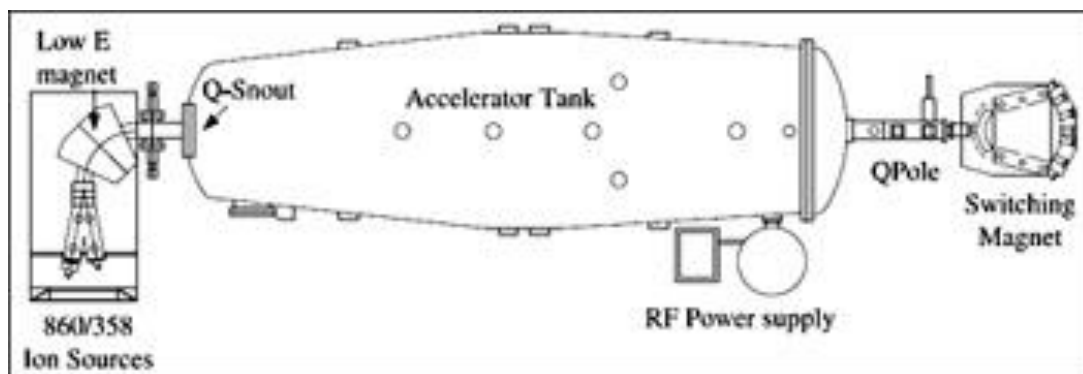
INGENIERO EN ORGANIZACIÓN INDUSTRIAL

permite una mejor determinación de la energía de los iones y, por lo tanto, una superior calidad de los resultados experimentales. El acelerador Tandem, no es sólo el más conveniente para su utilización en técnicas de análisis con haces de iones (IBA) aplicadas a la Ciencia de Materiales, Arqueometría, Ciencias Ambientales, etc, sino también para espectrometría de masas con aceleradores (AMS) o la implantación iónica de elementos a intermedias energías (decenas de MeV)[UACM].

Seguidamente se describen las distintas partes que componen el equipo y su funcionamiento.

Los aceleradores Tándem se diferencian de los de una sola etapa esencialmente en dos puntos: Por un lado, facilitada una tensión de terminal dada, es posible lograr mayores energías al acelerar los iones en dos ocasiones, en los primeros, en primer lugar hacia el terminal positivo, conservando así un estado de carga negativo en los iones y seguidamente, después de transformarlos en iones positivos a través del despojo de sus electrones, una otra aceleración del terminal hasta el final del acelerador tiene lugar.

La segunda diferencia de mayor importancia es la de las fuentes de iones. Estas deben tener la capacidad de producir iones negativos (que son más difíciles de conseguir), pueden estar en el exterior del tanque de aceleración. Esto permite un mantenimiento de mayor facilidad de las fuentes así como mayor versatilidad en el número de iones disponibles, al tener la posibilidad de cambiar los blancos con mayor sencillez. [BACH11]



**Ilustración 13. Esquema del acelerador del Centro de Micro-Análisis De Materiales.**  
*Fuente: Centro de Micro Análisis de Materiales de Madrid. (<https://www.cmam.uam.es/es>)*

A continuación se describe, las distintas partes que forman el equipo y su funcionamiento.



#### 3.2.1 FUENTES DE IONES.

---

En este apartado se procederá a la descripción de la fuente de iones que anteriormente se ha seleccionado justificadamente para la instalación que se presenta.

Por lo analizado en apartados anteriores, se dispondrán de dos fuentes de iones que permiten generar cualquier elemento desde el hidrógeno (protones) hasta el uranio: una fuente Duoplasmatrón y una fuente de iones por pulverización catódica.

La fuente Duoplasmatrón es una fuente de gas, dedicado principalmente a la producción de He e H.

En las fuentes Duoplasmatrón, la producción de iones tiene lugar en un proceso de descargas en dos etapas. En la primera, el plasma del gas inyectado en la fuente se mantiene gracias a la emisión de electrones desde un filamento incandescente (cátodo). Un electrodo intermedio actúa como el ánodo de la primera descarga y el cual está provisto de una abertura en su parte central. A continuación, el plasma es dirigido a través de él gracias a la actuación de un campo magnético axial hasta la cámara de descarga situada en segundo lugar. La segunda descarga se mantiene entre el electrodo intermedio, el cual ahora, actúa como un cátodo y el ánodo principal. El fuerte campo magnético axial generado en esta región confina el plasma en un pequeño volumen y es responsable de la alta densidad del plasma. El haz es extraído de la fuente a través de una apertura que existe en el ánodo principal [UACM].

La fuente Duoplasmatron es capaz de ser configurada para producir iones positivos así como negativos. Es posible obtener el ion  $H^-$  directamente de la fuente, con unas corrientes que llegan hasta las decenas de microamperios.

No obstante, este proceso no es tan eficiente para la producción de  $He^-$ . Por lo que, el funcionamiento de la fuente es en "modo positivo", es decir, produce iones  $He^+$ . Los cuales, tras extraerse de la fuente, se les hace atravesar un canal de Li donde se produce un intercambio de carga. El interior de este canal, contiene una atmosfera de vapor de Li, la cual cede electrones al haz, volviéndolo negativo. La fuente Duoplasmatron es capaz de producir cientos de microamperios de  $He^+$ . El canal de litio tiene una eficiencia de aproximadamente, un 2% dando como resultado unos pocos microamperios de  $He^-$  a la entrada del acelerador [UACM].

La fuente de iones negativos por pulverización catódica tiene la capacidad de producir haces de iones negativos a través de blancos en estado sólidos los cuales deben contener átomos de la especie de la que se desea crear el ion. Los iones se producen mediante el bombardeo del blanco mediante iones de cesio. En la atmósfera cercana al blanco existen además átomos neutros de Cs los cuales generan una capa fina sobre el blanco, resultado de la condensación producida en la superficie del mismo. Los átomos que son arrancados del blanco intercambian electrones con el Cs de esta fina capa cuando la atraviesan, lo que los convierte



# UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)

INGENIERO EN ORGANIZACIÓN INDUSTRIAL

---

en iones negativos. De esta manera son producidos directamente los iones negativos, sin necesidad de utilizar configuraciones adicionales como la del canal de Li. Los iones cargados negativamente son repelidos hacia la región de extracción, al mismo tiempo, los electrones secundarios, productos de las colisiones, se eliminan del haz por medio de un campo magnético permanente [UACM].

Existen elementos, como el nitrógeno, de los que es imposible obtener un ion negativo, debido a que poseen una afinidad electrónica negativa. En estos casos, lo habitual es proceder a la extracción de la fuente de un haz molecular ( $\text{NH}^-$ , podría ser un ejemplo), el cual es inyectado en el acelerador. Cuando la molécula llega a la región de intercambio de carga, en el centro del acelerador, no sólo se convierte en positiva, sino que además se rompe, obteniéndose así el ion positivo de la especie buscada ( $\text{N}^+$  en nuestro ejemplo). Este catión es acelerado en la segunda etapa igual que cualquier otro. La fuente está sometida a un voltaje de extracción de -25 kV.

Al salir de la fuente (tanto de la fuente Duoplasmatrón como de la fuente de pulverización catódica) los iones poseen una energía ( $E_{\text{FUENTE}}$ ) dada por la siguiente expresión:

$$E_{\text{FUENTE}} = q \cdot V_{\text{ext}}$$

Donde  $q$  corresponde al estado de carga de los iones al salir de la fuente y  $V_{\text{Ext}}$  al voltaje de extracción de la fuente. El valor correspondiente a  $V_{\text{Ext}}$  es diferente para cada fuente. [BACH11]

### 3.2.2 IMANES DE BAJA ENERGÍA.

---

Estos imanes pueden tener dos funciones, una es curvar el haz y otra es actuar como separador de masas, ya que en un haz puede haber elementos de diferentes masas aunque con la misma energía.

### 3.2.3 TUBO ACELERADOR.

---

El acelerador es tipo tándem, por ende, las partículas del haz son aceleradas en dos fases, pudiendo llegar a alcanzar una energía superior que la que puede alcanzarse en un acelerador provisto únicamente de una sola etapa con un mismo voltaje de terminal. El terminal (donde podemos tener un voltaje de hasta 6 MV en nuestro caso) se halla en el eje del tubo acelerador. En la primera etapa las partículas cargadas negativamente se aceleran hacia el terminal alcanzando una energía  $E_1$  dada por:

$$E_1 = q_1 \cdot V$$

Donde  $q_1$  es la carga de las partículas del haz en la primera fase y  $V$  el voltaje en el terminal.

Después de esta primera etapa, el haz transita por la región de intercambio de carga (*stripping*), una zona donde hay nitrógeno gaseoso con unas condiciones óptimas para que se origine el proceso de pérdida de electrones de las partículas del haz con las moléculas de  $N_2$ . Asimismo, las partículas del haz, que primitivamente tenían carga negativa, resultan cargadas positivamente.

En la segunda etapa, los iones cargados positivamente son acelerados desde el terminal con voltaje positivo hasta tierra (final del tubo acelerador). Este es un proceso similar al de la primera etapa. Asimismo, obtienen una energía en esta etapa ( $E_2$ ) que viene dada por:

$$E_2 = q_2 \cdot V$$

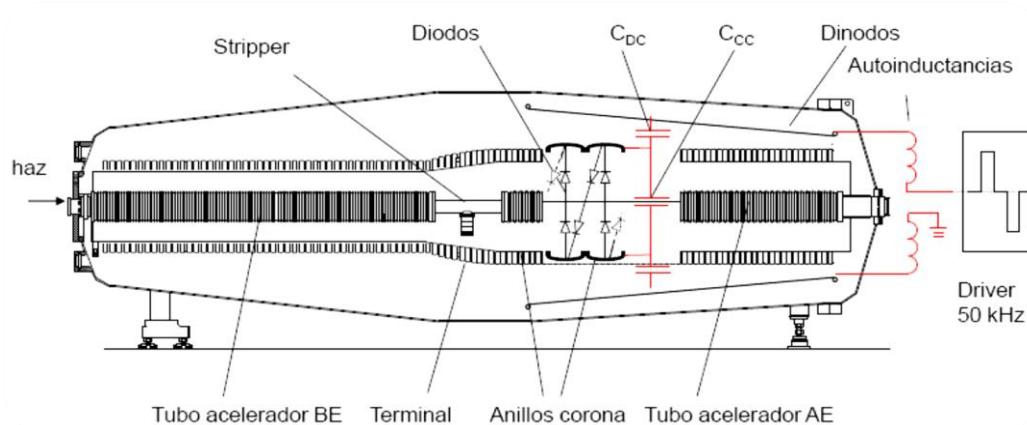
Donde  $q_2$  es la carga de las partículas del haz en la segunda etapa y  $V$  el voltaje en el terminal. Por tanto, los iones del haz adquieren una energía en el tubo acelerador ( $E_{Acelerador}$ ) que corresponde a la suma de las energías adquiridas en cada etapa:

$$E_{Acelerador} = E_1 + E_2 = q_1 \cdot V + q_2 \cdot V = (q_1 + q_2) \cdot V$$

Con nuestras fuentes de iones las partículas siempre tienen estado de carga  $q_1 = 1$  en la primera etapa, por tanto:

$$E_{Acelerador} = (1 + q_2) \cdot V$$

A la salida del tubo del acelerador habrá un primer imán conmutador, que permite desviar el haz dirigiéndolo hacia la línea en que queremos trabajar [BACH11].



**Ilustración 14. Tubo Acelerador Del CMAM.**

Fuente: *Montaje y caracterización de un sistema para la aplicación de la técnica PIGE (2011)*



### 3.2.4 LÍNEAS DE HAZ

A continuación se expondrán las líneas de haz que se consideran de mayor interés en cuanto a investigación y rendimiento económico. Líneas de haz se pueden construir cuantas se quieran o se necesiten pudiéndose adaptar así el acelerador a las necesidades de los usuarios y de la demanda. En la ilustración 13 podemos ver un esquema de las líneas de haz pertenecientes al acelerador del CMAM similar al del presente estudio.

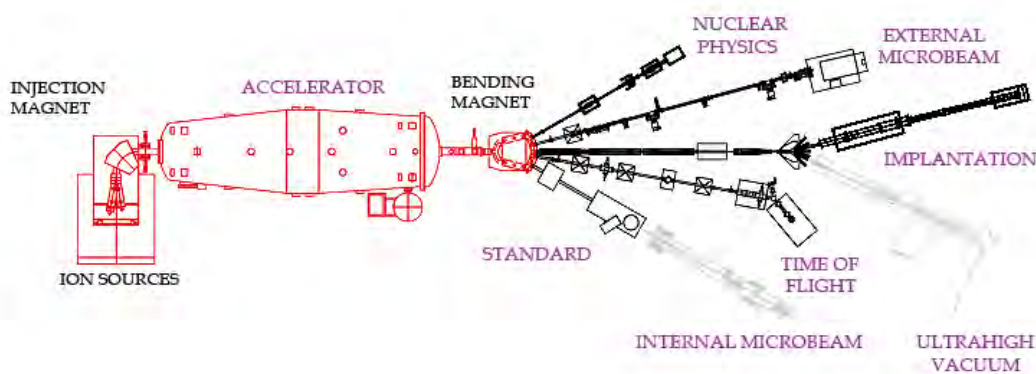


Ilustración 15. Líneas de haz en el CMAM.

Fuente: Centro de Micro Análisis de Materiales de Madrid. (<https://www.cmam.uam.es/es>)

#### 3.2.4.1 Línea standard multipropósito

Estará constituida por una cámara experimental proveída de un goniómetro de cuatro ejes, dos detectores de silicio (uno fijo y uno móvil) para la detección de partículas cargadas y, opcionalmente, un detector de rayos gamma HPGe. Para el detector móvil es posible definir distintos ángulos sólidos y poner láminas absorbentes a su entrada.

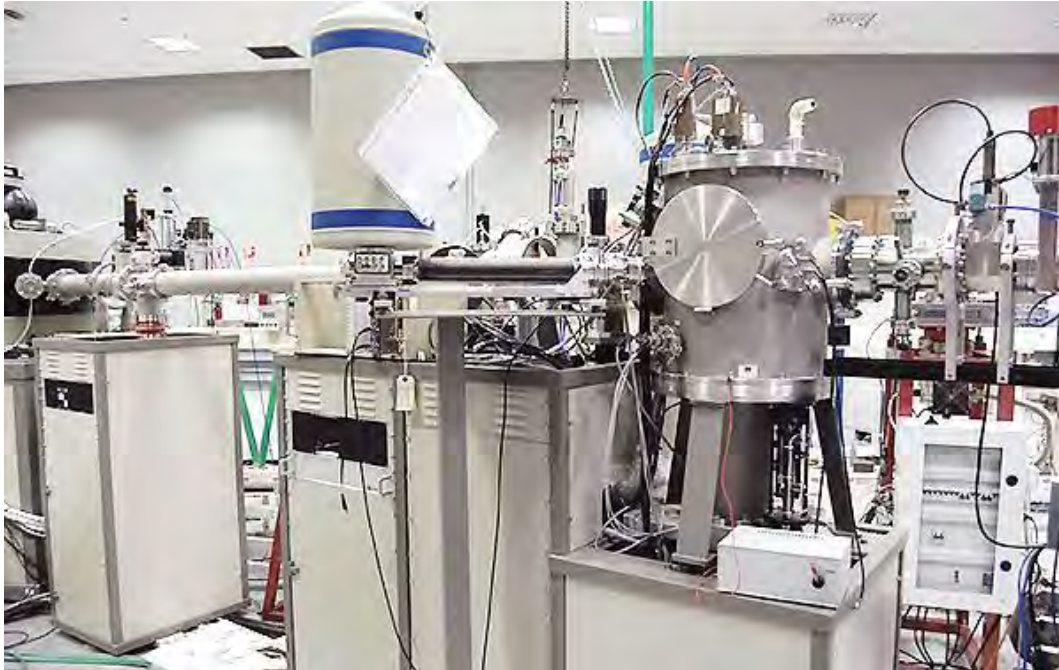
Todo el equipamiento, junto con un software que permiten la realización de experimentos de Retrodispersión Rutherford (RBS), de Análisis y Detección del Retroceso Elástico de partículas (ERDA), de Emisión de rayos Gamma Inducida por Partículas (PIGE), de Análisis de Reacciones Nucleares (NRA) y experimentos de RBS en canalización [UACM].





Además, en la línea estándar es posible realizar irradiaciones (e implantaciones) de muestras con una gran diversidad de iones, de H a Au, cubriendo áreas hasta  $8 \times 8 \text{ mm}^2$ .

Una cámara óptica de alta sensibilidad y una cámara con visión en el infrarrojo lejano (térmica), completan la línea [UACM].



**Ilustración 16. Vista completa de la línea standard del CMAM.**

*Fuente: Centro de Micro Análisis de Materiales de Madrid. (<https://www.cmam.uam.es/es>)*

### 3.2.4.2 Microhaz externo

La línea de microhaz externo se utilizarán principalmente para realizar análisis con haces de iones en arte y arqueología, aunque puede ser utilizada indistintamente para estudios en ciencias ambientales y de materiales. En la línea se contará de cuatro detectores: dos detectores de rayos X para la técnica PIXE, un detector de silicio implantado “ciego” para detectar partículas retrodispersadas (RBS) y un detector de rayos gamma para su uso en la técnica PIGE. Uno de los detectores Si(Li) de rayos X será utilizado para la determinación de elementos ligeros, disponiendo de un flujo de helio para optimizar la detección en el rango de 1.0 a 12 keV. El segundo se utilizará para medir los elementos traza. Para el análisis PIGE es posible llevar a cabo la instalación de un detector de HPGe el cual sirve para medir elementos muy ligeros como Li, Be, Na, Al o Si. Además, será instalado un detector de Bromuro de Lantano, que posee la misma eficiencia para rayos gamma que el HPGe, pero es mucho más



compacto y ofrece un mayor ángulo sólido y una excelente resolución para ser un detector de centelleo [UACM].

El haz se extraerá de la línea de vacío a través de una ventana de  $\text{Si}_3\text{N}_4$  de 0.2 micras de espesor. Será posible utilizar haces de diferentes tamaños dependiendo del experimento, siendo 50 micras el tamaño habitual a través de la ventana de  $\text{Si}_3\text{N}_4$  [UACM].

El sistema de adquisición permitirá adquirir simultáneamente todos los espectros (PIXE, RBS y PIGE), así como información complementaria (por ejemplo, imágenes) y controlar a distancia el movimiento de la muestra y posición del haz. [UACM]



**Ilustración 17. Vista completa de la línea de microhaz CMAM.**

*Fuente: Centro de Micro Análisis de Materiales de Madrid. (<https://www.cmam.uam.es/es>)*

#### **3.2.4.3 Línea de tiempo de vuelo**

La línea ToF se encontrará a continuación del puerto de salida del imán de conmutación a 10 grados con respecto al acelerador, lo cual permitirá el abastecimiento de haces de iones de alta energía y bajo estado de carga. En la línea, existirán dos juegos de cuatro rendijas totalmente independientes para definir el haz en la muestra, la cual se posicionará por medio de un goniómetro de 3 ejes dentro de la cámara de dispersión. La corriente del haz incidente se podrá medir de manera continua durante todo el experimento mediante el uso de una taza de Faraday en transmisión, la cual se encontrará situada en la entrada de la cámara. El telescopio de tiempo de vuelo, colocado a 40 grados del haz, colecta





# UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS

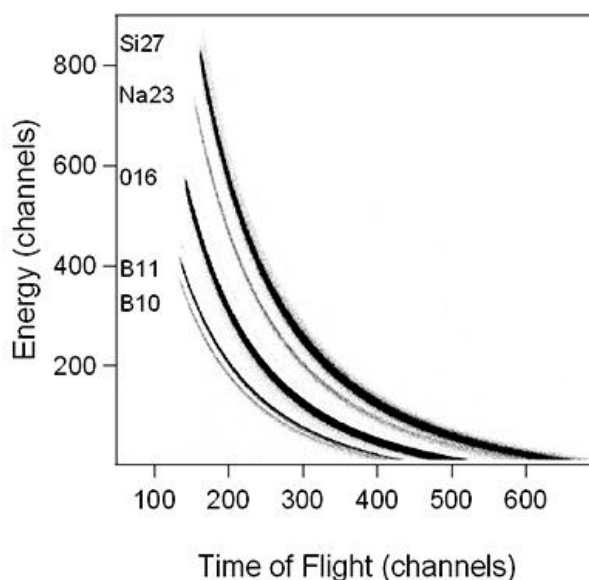
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)

INGENIERO EN ORGANIZACIÓN INDUSTRIAL

las partículas, midiendo al mismo tiempo su energía y tiempo de vuelo. De esta forma, es posible distinguir la masa de la partícula detectada [UACM].

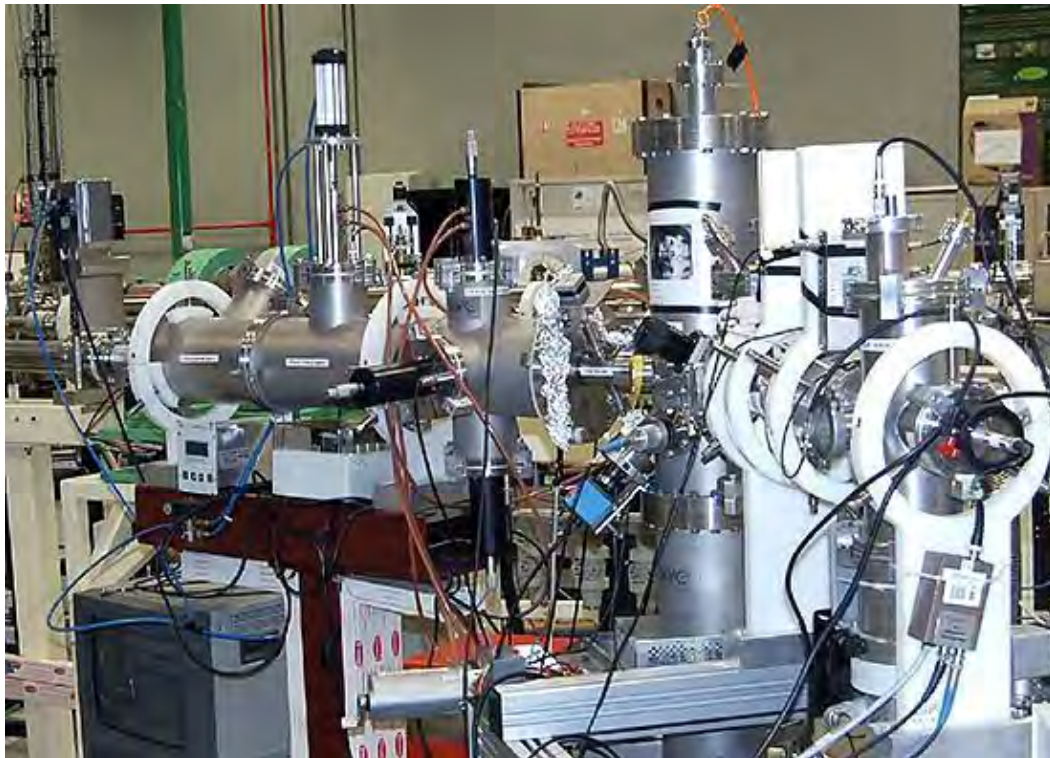
Para medir el tiempo de vuelo, existirán dos estaciones de tiempo en el interior del telescopio. La distancia de vuelo entre ellas se podrá ajustar, siendo el valor habitual de 42 cm. Cuando una partícula atraviesa una estación de tiempo, se genera una señal rápida (ns). Esta señal, a través de unos preamplificadores rápidos se envía a unos discriminadores de fracción constante, los cuales se encargan de determinar cuándo está pasando una partícula. Un conversor de tiempo a amplitud es el encargado de generar un pulso con una altura proporcional al tiempo de vuelo entre los dos detectores. En la parte final del telescopio, un detector de estado sólido se encarga de medir la energía de las partículas. Tanto el tiempo como las señales de energía son registradas en un modo lista, donde se etiqueta cada evento con una marca de tiempo. Mediante la utilización de un software adecuado es posible determinar qué eventos ocurrieren en coincidencia, lo que permitirá determinar la masa de cada partícula detectada. Para partículas pesadas, los espectros de energía que se suelen obtener a partir de los espectros de tiempo tienen una resolución mucho mejor que los que se obtienen directamente del detector de energía. La línea de ToF se encontrará controlada mediante un sistema computarizado sobre el que corre un software de adquisición [UACM].

La línea ToF será originalmente para estudios de ERDA-ToF, será posible llevar a cabo en ella cualquier experimento en el que sea necesaria la detección simultánea de la masa y la energía de las partículas. [UACM]



**Ilustración 18. Espectro típico de ERDA-TOF del CMAM.**

*Fuente: Centro de Micro Análisis de Materiales de Madrid. (<https://www.cmam.uam.es/es>)*



**Ilustración 19. Vista completa de la línea de ERDA-TOF del CMAM.**

*Fuente: Centro de Micro Análisis de Materiales de Madrid. (<https://www.cmam.uam.es/es>)*

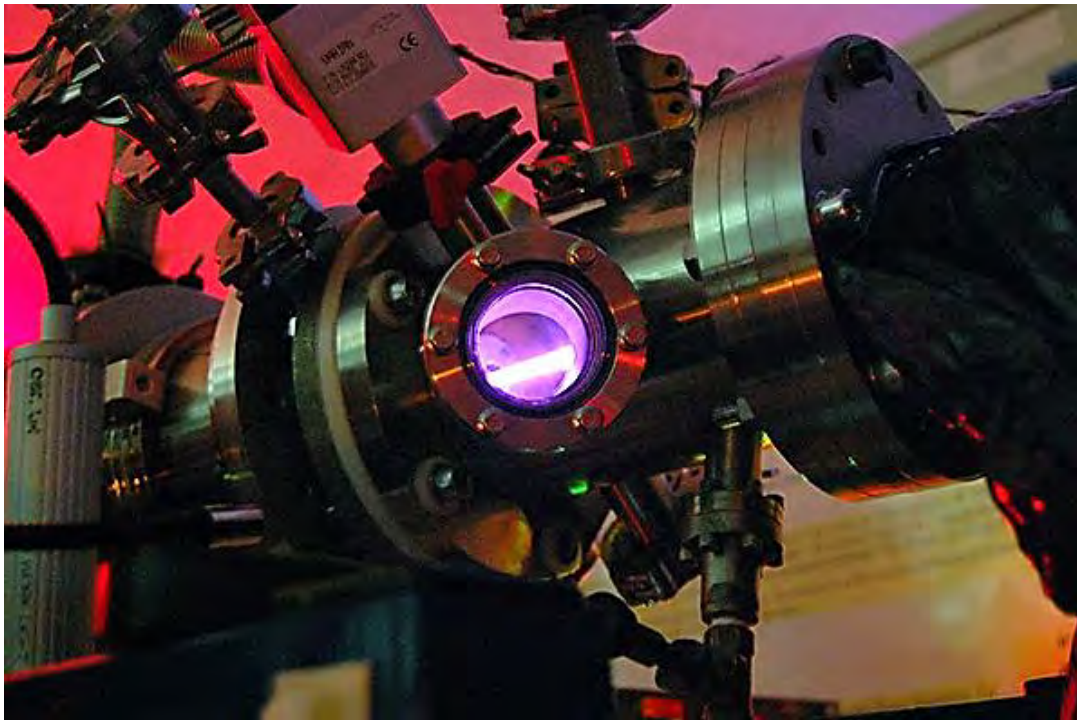
#### **3.2.4.4 Línea de física nuclear**

La línea se situará en el puerto de  $-30^\circ$  del primer imán de conmutación del acelerador electrostático de iones. Estará constituida por dos juegos de rendijas que servirán para poder definir la forma y el tamaño del haz adecuadamente. Para el control de la corriente en cuanto a, forma, posición y tamaño, la línea dispondrá de una taza de Faraday y de un Monitor de Perfil de Haz (BPM).

Esta línea será totalmente compatible con condiciones de alto vacío y será diseñada para conectar fácilmente en su parte final una gran variedad de montajes experimentales. Esto la convierte en una de las más versátiles, pudiéndose llevar a cabo experimentos de estudio de reacciones nucleares, caracterización de nuevos sistemas de detección, etc., aprovechándose, además, de la alta estabilidad y precisión del acelerador de iones. [UACM]



**UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS**  
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)  
INGENIERO EN ORGANIZACIÓN INDUSTRIAL



**Ilustración 20. Vista del haz de iones en un experimento del CMAM.**

*Fuente:* Centro de Micro Análisis de Materiales de Madrid. (<https://www.cmam.uam.es/es>)



**Ilustración 21. Vistas de la línea de física nuclear del CMAM.**

*Fuente:* Centro de Micro Análisis de Materiales de Madrid. (<https://www.cmam.uam.es/es>)





### **3.2.4.5 Línea de implantación e irradiación**

El objetivo primordial de esta línea será realizar implantaciones e irradiaciones homogéneas en áreas grandes de hasta varios  $\text{cm}^2$ . Muchos trabajos de investigación tanto tecnológicos como fundamentales, necesitan que el área irradiada homogéneamente sea mayor que unos pocos  $\text{mm}^2$ . En la Línea Standard se podrá conseguir un haz (estático) razonablemente homogéneo pero sólo de pocos  $\text{mm}^2$ , mediante la sobrefocalización del haz y utilizando conjuntamente rendijas de colimación y desperdiciando una cantidad más que apreciable de la corriente de iones disponible [UACM].

Hay varios casos de interés en los que se necesita una mayor área de irradiación homogénea.

En algunos casos el requerimiento de área grande viene impuesto por las técnicas de caracterización que posteriormente se van a aplicar sobre la muestra, como por ejemplo, medidas ópticas (como Elipsometría, reflectancia y absorbancia), Difractometría de rayos-X, ensayos mecánicos, medidas eléctricas, etc [UACM].

En otros casos, se preparan obleas de varias pulgadas de diámetro ( $>3''$  (76mm)) como tamaño por defecto en laboratorios o compañías (como en el campo de semiconductores, industria del silicio) y la irradiación tiene que abarcar dicho tamaño estándar. Este es el caso de estudios del daño de componentes electrónicos bajo irradiación con Hidrógeno de alta energía, llevado a cabo para simular el daño que ocurre en dispositivos expuestos al espacio exterior (en satélites) o situados en entornos nucleares (como reactores) [UACM].

#### Características de la línea:

La línea estará localizada después del segundo imán de alta energía (HE2), en el puerto de salida de  $-20^\circ$ . Esto permitirá, para un largo número de iones y especies iónicas, reducidas pérdidas de corriente del haz. Tendrá una longitud de 6 metros.

El primer elemento principal de la línea de irradiación e implantación lo constituirá el dispositivo de barrido electrostático del haz de iones (Ilustración 20). Será capaz de barrer (scan) iones de hidrógeno de 10 MeV de energía hasta un área de 4 pulgadas ( $100 \times 100 \text{ mm}^2$ ). Este es el caso más restrictivo. Iones de hidrógeno con menor energía u otros iones con estados de carga mayores que 1 podrán ser barridos a áreas mayores [UACM].

La línea dispondrá de una cámara de irradiación diseñada con las siguientes características:

- Compatible con operación en ultra alto vacío.

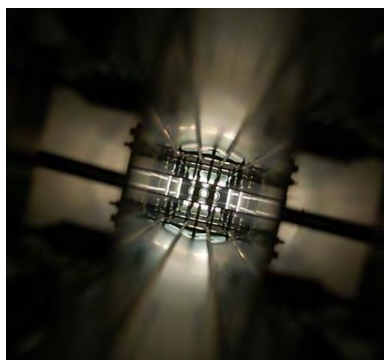


# UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)

INGENIERO EN ORGANIZACIÓN INDUSTRIAL

- Compatible con medidas óptica avanzadas, en particular con el Elipsómetro Wollam y el espectrofotómetro Andor para poder realizar medidas rápidas “in-situ”.
- Compatible con excitación simultánea mediante laser pulsado (Nd:YAG at  $\lambda$  (nm) = 266, 355, 532, 1064)
- Compatible con el sistema de carga en vacío destinado para la transferencia de obleas de 3 pulgadas, mediante “maleta de vacío”, que previene la exposición al aire.
- Estará dotada con detectores para realizar medidas de caracterización IBA “in-situ” mediante RBS y ERDA.



**Ilustración 22.** Vista interna del sistema de barrido del haz, el cual consiste en dos placas-paralelas colocadas horizontalmente y dos verticalmente. Debido al pulido de las placas pueden verse las múltiples reflexiones de la luz. *Fuente:* Centro de Micro Análisis de Materiales de Madrid. (<https://www.cmam.uam.es/es>)



**Ilustración 23.** Vista de la línea de implantación.

*Fuente:* Centro de Micro Análisis de Materiales de Madrid. (<https://www.cmam.uam.es/es>)

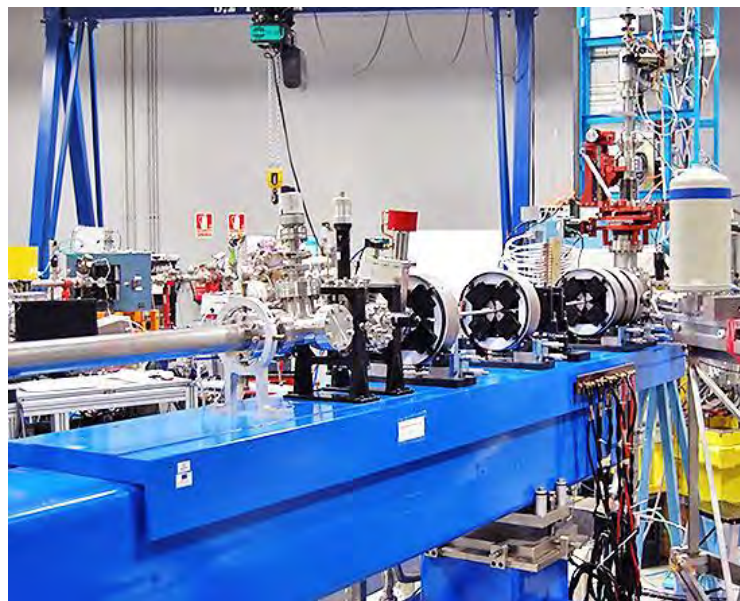


### 3.2.4.6 Línea de Microhaz interno

La línea de nanohaz se encontrará a +30º justo a continuación de la cámara estándar. En esta línea, es posible trabajar con un haz de partículas focalizado con dimensiones entorno a la micra o incluso menores, el cual nos brinda la posibilidad de barrer sobre la muestra de forma controlada para obtener mapas de distribución. Estas dos características convierten a este tipo de líneas en potentes herramientas para estudios en campos tan diversos como biomedicina, ciencia de materiales, arqueometría y ciencias de la tierra, entre otros [UACM].

El sistema contará con dos conjuntos de diafragmas (objeto y colimador) y cinco lentes cuadrupolares magnéticas, para focalizar el haz de iones. Mientras que para realizar el barrido del haz, se dispondrá de un deflector magnético. Las muestras se colocará en una cámara de vacío donde se pueden desplazar a lo largo de los ejes x, y, z. Dicha cámara de análisis estará provista de un microscopio, para el control en todo momento de la zona de la muestra irradiada o analizada, varios detectores de partículas y un detector de rayos X. Su diseño permite tanto el análisis como la irradiación de muestras delgadas (el haz de partículas atraviesa la muestra) y gruesas, de pequeñas dimensiones (no más de 1 cm<sup>2</sup>) [UACM].

Esta línea es especialmente idónea para realizar irradiaciones con dosis controladas en áreas muy pequeñas y crear estructuras micrométricas o submicrométricas. Además, se pueden aplicar, de forma rutinaria, las técnicas PIXE y RBS para obtener mapas de distribución elemental y la técnica STIM, en muestras delgadas, para estudiar las variaciones de densidad [UACM].



**Ilustración 24. Vista completa de la línea de nanohaz**

*Fuente:* Centro de Micro Análisis de Materiales de Madrid. (<https://www.cmam.uam.es/es>)



### **3.2.4.7 Línea de UHV para física de superficies**

La línea de haz para el análisis de superficies en Ultra alto vacío contendrá un equipamiento para el crecimiento de películas delgadas epitaxiales y caracterización de muestras mediante varias técnicas experimentales. El sistema permitirá el crecimiento de películas delgadas por Epitaxia de haces moleculares (MBE) y su análisis mediante las técnicas estándar de espectroscopia que utilizan los iones de alta energía proporcionados por el acelerador [Retrodifusión Rutherford (RBS), detección de iones retrodispersados elásticamente (ERDA), etc], así como la caracterización de las muestras con técnicas de superficie de alta sensibilidad [tales como la dispersión de iones de baja energía (LEIS), difracción de electrones de baja energía (LEED) y espectroscopía de electrones Auger (AES)].

El equipo consistirá básicamente en una cámara de preparación de muestras, una cámara principal de análisis y un sistema de carga y bloqueo para la introducción y transferencia de la muestra bajo constante ultra alto vacío. Un goniómetro con 3 ejes de rotación y dos de translación será montado en la cámara principal y permitirá enfriar las muestras entorno a los 100 K y calentarlas hasta 700 K. Para el crecimiento de muestras mediante MBE, el subsistema de preparación estará provisto de seis células Knudsen las cuales contendrán diferentes elementos ultra puros. Será posible, además, incluir una fuente de plasma de radiofrecuencia para generar las especies atómicas (N, O, etc) con el fin de producir óxidos metálicos o nitruros mediante deposición de MBE en presencia de un flujo de N u O atómicos. En el subsistema de preparación también podrá llevarse a cabo caracterización óptica in situ (mediciones de reflectancia, elipsometría). En una fase posterior pueden ser incluidos equipamientos para la caracterización magnética (efecto Kerr) y eléctrica (resistividad). Además, gracias a una cámara de vacío móvil equipada con una bomba de absorción de zirconio, es posible realizar el transporte y la introducción en el sistema las muestras preparadas externamente a la instalación, preservando un entorno de ultra alto vacío. Con el mismo sistema las muestras crecidas en esta instalación pueden ser transportadas a otros equipos, como al exterior en otras instituciones, para ser analizadas con distintos métodos. Para la realización de RBS/canalización y experimentos ERDA en la instalación de superficies de ultra alto vacío, los iones de alta energía que produce el acelerador tandem 6 MV se transportan a una distancia entorno a los 15 metros y son enfocados en la muestra con un tamaño inferior de un punto a 1 mm a través de la línea de 0- grados y de la línea de haz de ultra alto vacío. Un detector barrera de superficie de Si montado a un ángulo de 150° con respecto al haz incidente será utilizado para definir mediante la técnica RBS el perfil en profundidad de los elementos con una resolución de profundidad de 5 nm en los primeros 50 nm en condiciones favorables. Se contará con la posibilidad, de modificar la muestra in situ a temperatura controlada utilizando iones pesados del acelerador (como pueden ser, los iones Cu con energías de hasta 55 MeV) [UACM].



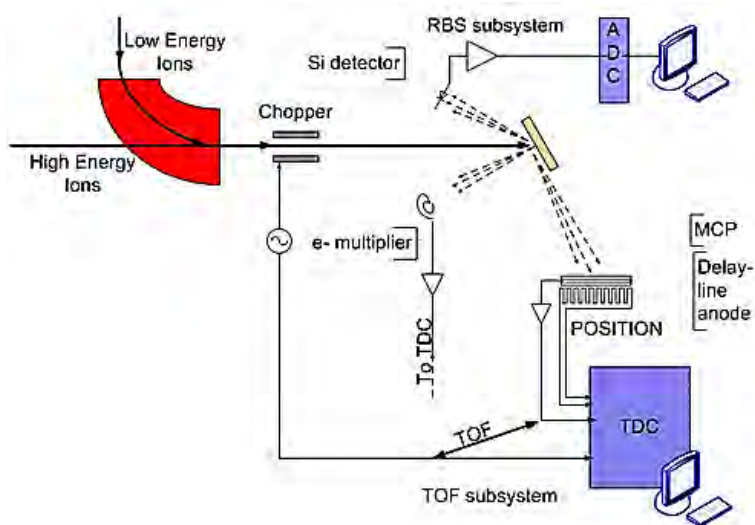


Ilustración 25. Representación esquemática de la electrónica rbs/channeling y leis/tof. Fuente: Centro de Micro Análisis de Materiales de Madrid. (<https://www.cmam.uam.es/es>)

Una instalación experimental muy singular es el sistema LEIS-TOF para la determinación de la estructura de superficies. Aquí tendrá lugar el bombardeo de la muestra por un haz picado de iones de gases nobles (He, Ar, Ne...) las energías más habituales están dentro del rango de 2-6 keV. Se registran los espectros de tiempo de vuelo (TOF) de partículas dispersadas así como de partículas retrodifundidas. Los rastreos azimutales o polares de la intensidad de las partículas dispersas o retrodifundidas son posibles de obtener a partir de los espectros rotando la muestra. El sistema dispondrá de un detector de posición 1D colocado a 1 m de distancia de la muestra que permitirá realizar mediciones de manera simultáneas en un rango de ángulos de dispersión o retrodifusión de forma eficiente para la determinación de la estructura superficial, usando flujos de iones de menos de  $10^{12}$  iones/cm<sup>2</sup>. [UACM]

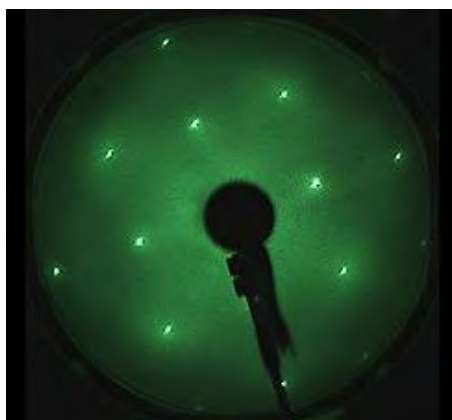


Ilustración 26. Figura de difracción producido por la dispersión de electrones de baja energía (220 eV en cu(100)). Fuente: Centro de Micro Análisis de Materiales de Madrid. (<https://www.cmam.uam.es/es>)



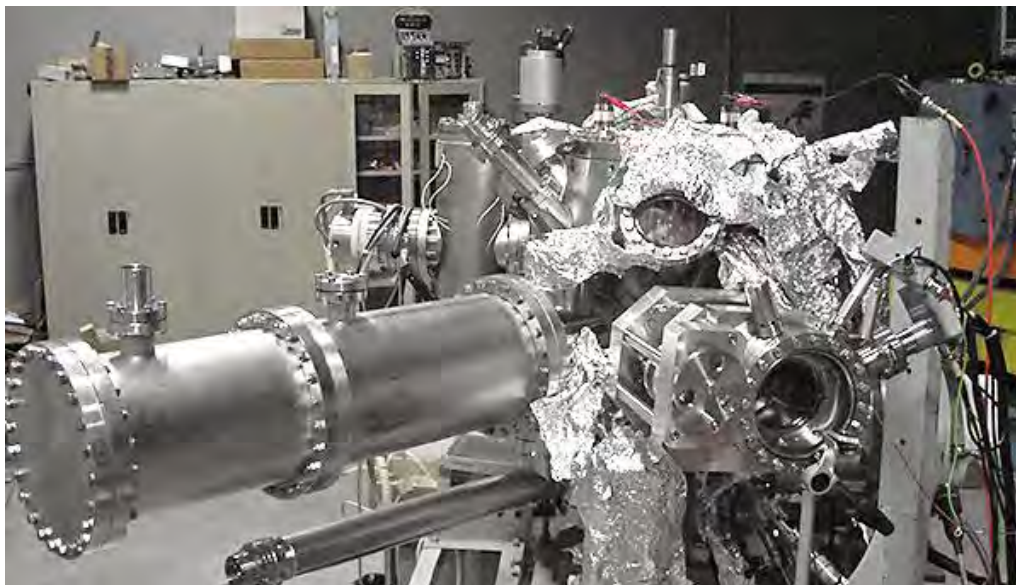


Ilustración 27. Vista de la línea UHV para física de superficies.

Fuente: Centro de Micro Análisis de Materiales de Madrid. (<https://www.cmam.uam.es/es>)

### 3.2.5 TÉCNICAS IBA.

Las técnicas IBA (*Ion Beam Analysis*) son aquellas que permiten conocer la composición y estructura de un material bombardeando dicho material (blanco) con un haz de iones y estudiando las reacciones atómicas o nucleares que tienen lugar. Son técnicas no destructivas que pueden utilizarse en: arqueometría, biomedicina, medioambiente, metalurgia, microelectrónica, etc. Para llevar a cabo estas técnicas es ineludible que el haz de iones tenga una energía del orden del MeV.

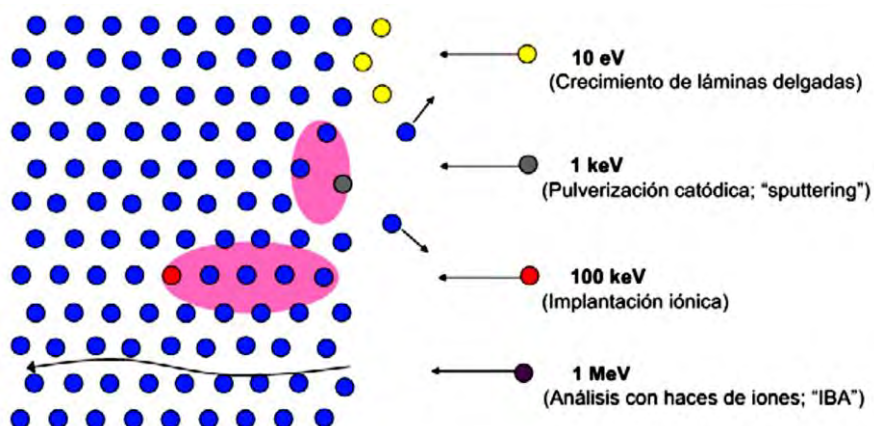


Ilustración 28. Diferentes procesos posibles al bombardear un material con un haz de partículas. Dependiendo de la energía del haz tendremos un proceso u otro.

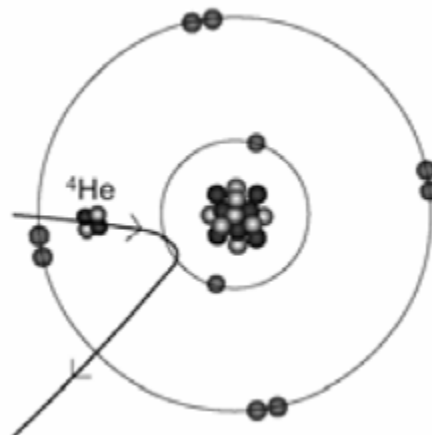
Fuente: Montaje y caracterización de un sistema para la aplicación de la técnica PIGE (2011)



Cuando se bombardea el blanco con el haz de iones pueden ocurrir varios procesos: puede ocurrir una dispersión de los iones (si su masa es menor que la de los átomos del blanco), pérdida de electrones de los átomos del blanco (excitados por el haz) o ser dispersados (en caso de que su masa sea menor que la de los iones incidentes) o pueden ocurrir reacciones nucleares en las que los núcleos del blanco se transformen en otros núcleos diferentes y produciendo partículas diferentes a los proyectiles.

Intrínsecamente a las técnicas IBA, concurren diferentes técnicas según el proceso estudiado (PIXE, PIGE, ERDA, RBS, STIM, NRA,...). Posteriormente se describirán las técnicas IBA más utilizadas [BACH11].

**RBS** (*Rutherford Backscattering Spectrometry*): permite detectar los iones del haz incidente que han sido dispersados elásticamente por los núcleos del material bombardeado [BACH11].



**Ilustración 29.** En esta figura podemos ver como una partícula  $\alpha$  es desviada al aproximarse a un núcleo, la técnica RBS consiste en detectar la partícula  $\alpha$  desviada.

Fuente: Montaje y caracterización de un sistema para la aplicación de la técnica PIGE (2011)

**ERDA** (*Elastic Recoil Detection Analysis*): se detectan los átomos del material dispersados al incidir el haz. Para que esto se produzca, la masa del proyectil debe que ser superior que la del blanco [BACH11].

**PIXE** (*Particle Induced X-ray Emission*): cuando ocurre que un electrón de un átomo del blanco es arrancado por los proyectiles, otro electrón del átomo salta desde una capa superior hasta el hueco que ha quedado lo que provoca una emisión de rayos X, la detección de estos rayos X se lleva a cabo con la técnica PIXE [BACH11].

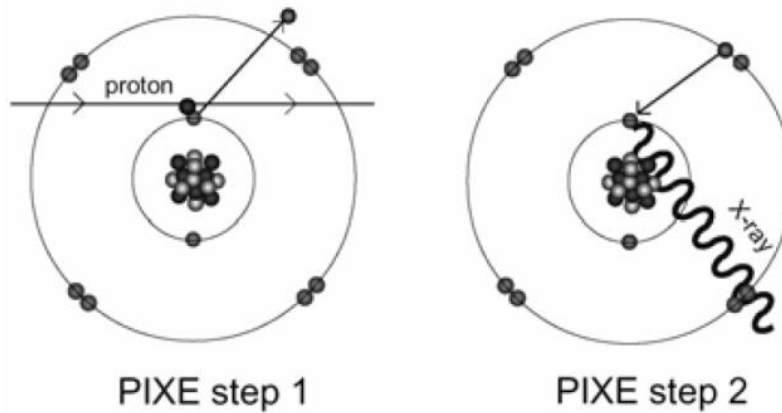


Ilustración 30. Proceso ocurrido en la colisión de un protón con un átomo del blanco cuando utilizamos la técnica PIXE, un electrón es arrancado del átomo (step 1) y otro electrón de una capa superior ocupa el hueco que ha quedado emitiendo un rayo X que es detectado (step 2).

Fuente: Montaje y caracterización de un sistema para la aplicación de la técnica PIGE (2011)

**PIGE** (*Particle Induced Gamma-Ray Emission*): cuando ocurre una reacción nuclear, un núcleo del blanco (núcleo padre) se transforma en un núcleo distinto (núcleo hijo) al incidir el proyectil sobre él, este núcleo hijo se desexcita emitiendo rayos gamma, la técnica PIGE consiste en detectar dichos rayos gamma.

La técnica PIGE una herramienta muy potente para estudiar perfiles en profundidad de los materiales, y con mayor resolución que otras técnicas. Esta técnica se comenzó a utilizar a principios de los años 60 y tiene diferentes aplicaciones: biomedicina, medioambiente, arqueometría, estudio de materiales para reactores de fisión y, en la actualidad, también se utiliza para estudiar materiales para reactores de fusión.

Una de las ventajas de PIGE frente a PIXE es que sufren menos atenuación los rayos gamma, por lo tanto, es posible detectar núcleos que se encuentran a una mayor profundidad en la muestra. La desventaja es que la sección eficaz es más baja que en PIXE [BACH11].

**NRA** (*Nuclear Reaction Analysis*): al producirse una reacción nuclear tal y como explicábamos antes, además del núcleo hijo, se produce otra partícula distinta del proyectil inicial, la técnica NRA consiste en detectar estas nuevas partículas producidas [BACH11].

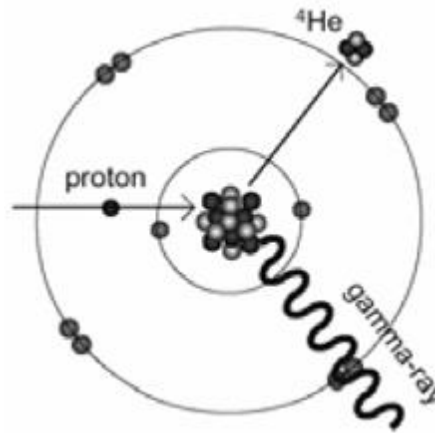


Ilustración 31. En ocasiones, al golpear un núcleo con un protón podemos provocar una reacción nuclear en la que se produce un núcleo hijo y otra partícula que es emitida (como una partícula  $\alpha$ ), la técnica NRA consiste en detectar estas partículas, mientras que la técnica PIGE consiste en detectar los rayos gamma emitidos por el núcleo hijo al desexcitarse.

*Fuente:* Montaje y caracterización de un sistema para la aplicación de la técnica PIGE (2011)

**Channeling:** es una técnica que se utiliza para materiales cristalinos en la que el haz se alinea con una dirección de simetría del cristal, de esta forma se reducen los procesos de *backscattering*, rayos gamma y rayos X emitidos, y esta técnica se combina con RBS, PIGE y PIXE para proporcionarnos información sobre la estructura y composición de los materiales [BACH11].

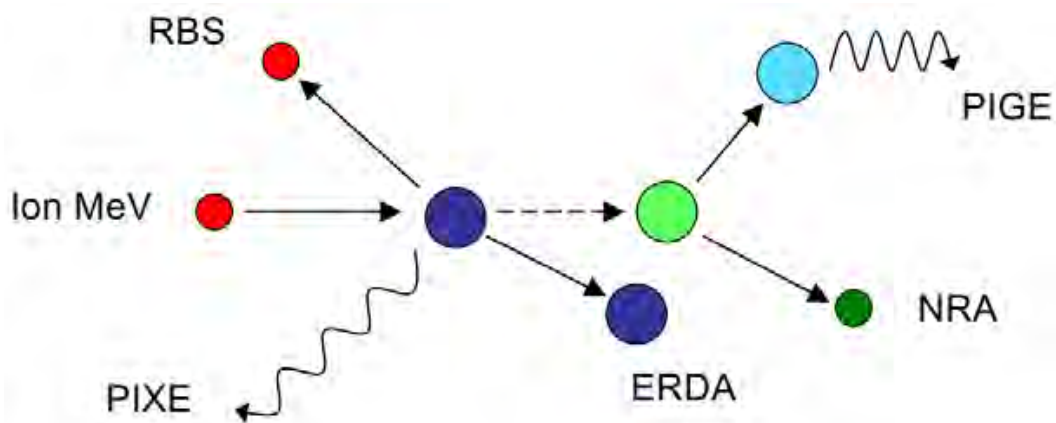


Ilustración 32. En este esquema se pueden ver las diferentes técnicas IBA y las partículas detectadas en cada una de ellas. El proyectil está coloreado rojo y el blanco en azul oscuro.

*Fuente:* Montaje y caracterización de un sistema para la aplicación de la técnica PIGE (2011)



## UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)

INGENIERO EN ORGANIZACIÓN INDUSTRIAL

**STIM** (*Microscopía Iónica de Transmisión de Barrido*) es una técnica en la que se usa la pérdida de energía de los iones transmitidos (por ejemplo, protones o núcleos de helio) al atravesar la muestra para proporcionar información sobre las variaciones de densidad en la misma, y por tanto, sobre su estructura (Ilustración 31). Las imágenes STIM son muy útiles para correlacionar las características estructurales con los elementos traza de la muestra. Se apoya en los mecanismos de pérdida de energía de un ion con alta energía, producido por las interacciones ion-electrón, cuando pasa a través de una muestra como puede ser una célula completa. A causa de las grandes diferencias de momento entre el ion y el electrón, el ion emerge del proceso de dispersión ion-electrón a un ángulo pequeño mientras que la dispersión de ángulos grandes a partir de interacciones nucleares es despreciable (Ilustración 32). El haz de iones tiene por tanto una mínima dispersión cuando pasa a través de la célula y esto hace posible la obtención de imágenes con detalles finos en secciones relativamente gruesas [BACH11].



Ilustración 33. Imagen de STIM correspondiente a una sección de piel de la planta de las extremidades de un ratón. En la imagen se puede ver con claridad las distintas capas de la piel Stratum Corneum (SC), Stratum Lucidum (SL), Stratum Granulosum (SG), Stratum Spinosum (SS) y Dermis. El mapa se obtuvo con un haz de protones de 2.5 MeV y 1  $\mu\text{m}$  de diámetros en las instalaciones del CENBG (Centre d'Etudes Nucléaires de Bordeaux Gradignan).

*Fuente:* Centro de Micro Análisis de Materiales de Madrid. (<https://www.cmam.uam.es/es>)



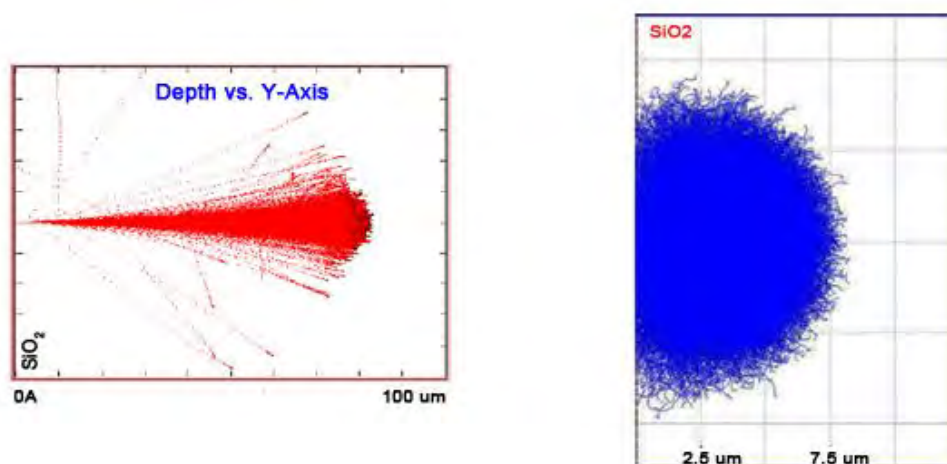


Ilustración 34. Penetración de protones y de electrones en una muestra de cuarzo ( $\text{SiO}_2$ ) a las energías de trabajo normales (3 MeV y 30 keV, respectivamente). En el caso del cuarzo, los protones atraviesan 80  $\mu\text{m}$  en profundidad y los electrones no llegan a atravesar los 8  $\mu\text{m}$ . Las simulaciones presentadas, se han obtenido mediante el método Montecarlo en los programa TRIM para los protones y con CASINO para los electrones. Fuente: Centro de Micro Análisis de Materiales de Madrid. (<https://www.cmam.uam.es/es>)

En los últimos años, las mejoras conseguidas en la focalización de los haces de iones ha conseguido que sea posible trabajar de manera rutinaria con haces sub-100nm. Con estos haces ha sido posible conseguir imágenes nanoSTIM de tejido y células individuales, resolviendo los núcleos de las células y varios nucléolos [BACH11].

### 3.3 SUMINISTROS

Tanto para el acelerador como para las líneas son necesarios una serie de suministros como refrigeración, nitrógeno líquido, aire comprimido, etc. La evaluación de parámetros como el vacío necesario, el calor disipado o las temperaturas de trabajo, se podrían realizar en primera instancia tomando como referencia otros aceleradores similares como es el caso del CMAM.



### 3.4 SEGURIDAD RADIOLÓGICA

Para comenzar este apartado, se citan a continuación dos frases de Fakhra Nawaz, del Experimental Physic Labs, (NCP) QAU (Radiation Safety), que parecen a simple vista parecen evidentes para todos pero a la hora de trabajar con aceleradores muchas veces se olvida de que es una instalación radiológica y como tal, su utilización tiene sus riesgos.

"Mantener un ambiente de trabajo donde los niveles de radiación ionizante representan un riesgo mínimo de aceptación" [FNRS]

"Realizar un uso seguro de la radiación emitida instrumentos / dispositivos para diferentes tipos de aplicaciones" [FNRS].

#### 3.4.1 TIPOS DE RADIACIÓN

Las radiaciones son de dos tipos en función de su naturaleza y la energía que transportan:

1. Radiación No ionizante
2. Radiación ionizante

A continuación se muestra una imagen donde se puede observar los rangos de longitud de onda de los dos tipos de radiaciones.

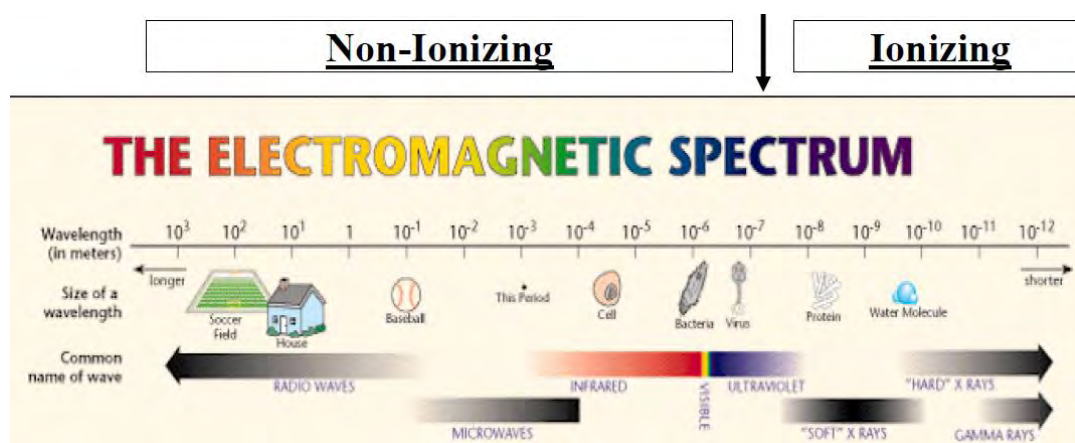


Ilustración 35. Espectro electromagnético de los dos tipos de radiaciones.

Fuente: 5 MV Pelletron Tandem accelerator. Radiation safety. Experimental Physic Labs (NCP) QAU



### **Radiación No Ionizante**

La radiación no ionizante se puede definir como, la radiación que no produce ningún cambio químico o físico de las sustancias cuando pasan a través de ella. Es la radiación menos dañina biológicamente.

Por ejemplo:

- La luz visible
- Las ondas de radio
- Microondas
- Las ondas de sonido
- LASER
- Luz Ultravioleta

### **Radiación Ionizante**

La radiación ionizante se define como, la radiación que produzca cualquier cambio químico o físico de las sustancias cuando pasa a través de ella. Esta sí que son biológicamente dañinas.

Por ejemplo:

- Las partículas Alfa
- Las partículas Beta
- Los rayos gamma
- Los neutrones
- Los Rayos X

### **3.4.2 DAÑOS DE LAS RADIACIONES**

---

Las radiaciones ionizantes pueden alterar significativamente la estructura del material cuando pasan a través de él.

La exposición a radiaciones ionizantes frecuentes puede destruir o mutar las células del cuerpo. Puede dar lugar a daños en el ADN en la estructura celular que transfieren de una generación a otra.





Alta intensidad de las radiaciones ionizantes puede provocar quemaduras graves incluso después de unos momentos de la exposición que se caracterizan por enrojecimiento de la piel.

### 3.4.3 RIESGOS DE LAS RADIACIONES

Los riesgos que conlleva trabajar o estar expuesto a radiaciones durante un periodo prolongado pueden ser algunos de los siguientes:

- Cáncer (leucemia, tumores)
- Efectos hereditarios
- Eritemas (enrojecimiento de la piel)
- Cataratas
- Esterilidad
- Depilación (pérdida del cabello)
- Problemas hematológicos

### 3.4.4 BLINDAJE FRENTE A LA RADIACIÓN IONIZANTE

Los poderes de penetración de las partículas Alfa y Beta y rayos gamma que se desprenden en la colisión del haz de partículas contra el blanco, se pueden ver en la imagen siguiente.

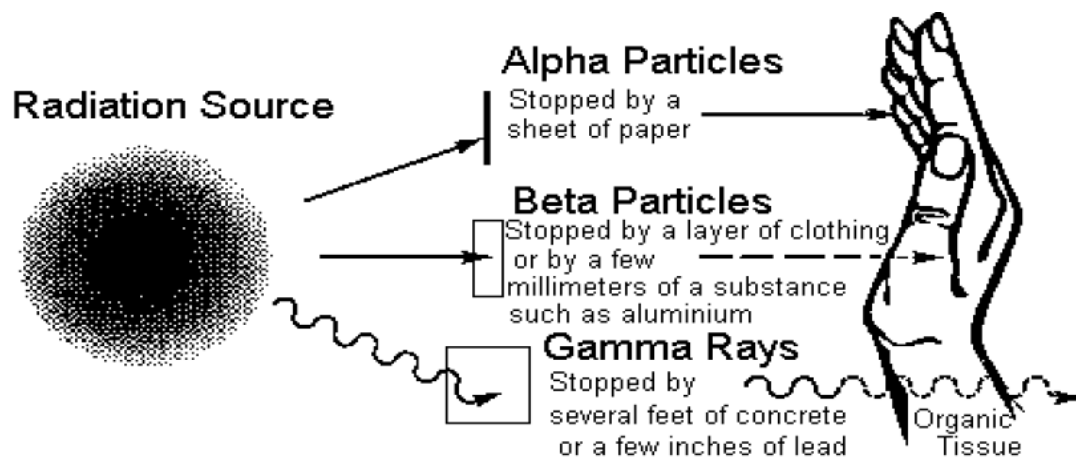


Ilustración 36. Penetración de la radiación ionizante.

Fuente: 5 MV Pelletron Tandem accelerator. Radiation safety. Experimental Physic Labs (NCP) QAU



# UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)

INGENIERO EN ORGANIZACIÓN INDUSTRIAL

---

Los neutrones tienen un alto poder de penetración, por lo que el apantallamiento de las paredes debería estar constituido por: agua, cera de parafina y algunos metros (3 metros) de la pared de hormigón.

## 3.4.5 FUENTES DE RADIACIÓN

---

Las fuentes de radiación más habituales son las que a continuación se presentan y que pueden ser de dos tipos:

### **El material radiactivo**

Cualquier sustancia que contenga o consista en nucleídos radiactivos (que emite radiación ionizante), de origen natural o producidos artificialmente se llama material radiactivo.

### **Generador de radiación**

Un dispositivo capaz de generar la radiación ionizante se denomina generador de radiación.

Hay numerosos tipos de aparatos que generan radiación usados en la investigación. Aquí se muestran algunos ejemplos, entre los cuales se incluye el acelerador tándem:

- DRX (para estudiar la estructura de materiales)
- XRF (para el análisis elemental)
- Aceleradores (por ejemplo, ciclotrón, acc lineal., electrostáticos. Etc)
- Reactores.

A diferencia de los núcleos radiactivos, estos generadores de radiación sólo emiten radiación cuando se aplica alta tensión a ella o cuando se ponen en funcionamiento.

## 3.4.6 PLANIFICACIÓN DE SEGURIDAD PARA EL ACELERADOR

---

A continuación se desglosara un plan de seguridad para el uso del acelerador que constara de los siguientes apartados:

1. Formación en radiación
2. Medidas generales para la seguridad del personal
3. Supervisión de personal



# UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)

INGENIERO EN ORGANIZACIÓN INDUSTRIAL

4. Control médico
5. Seguimiento del Área

### 3.4.6.1 Entrenamiento del personal

La protección de personas es lo principal, por tanto, por eso parte del personal debe ser entrenado en HPD, PINSTECH durante dos semanas, una semana en el laboratorio de dosimetría de la radiación y otra semana en laboratorio de física aplicada a la salud

El resto de trabajadores de la podrán ser entrenados por los anteriores.

Todos los trabajadores deben estar plenamente formados en los siguientes temas.

- Problemas de protección de la salud asociados a la exposición relacionada con material radiactivo o radiación.
- Precaución o procedimiento para minimizar la exposición
- El propósito y la función de los dispositivos de protección empleados
- Acción a tomar en caso de una emergencia
- La responsabilidad de los trabajadores a informar de inmediato cualquier condición que conduce a o puede causar una violación de la regulación o puede causar una exposición innecesaria.

### 3.4.6.2 Medidas generales para la seguridad del personal

Las instrucciones por escrito se publicarán en la entrada de la sala del acelerador para guiar a los trabajadores o investigadores y además la instalación tiene que cumplir:

- Las puertas traseras deben estar acordonadas.
- La entrada del vestíbulo debe estar interconectada.
- Es obligatorio la disposición por todo el edificio de luces de emergencia y señales.

#### Señales y luces de Peligro



Fuente: 5 MV Pelletron Tandem accelerator. Radiation safety. Experimental Physic Labs (NCP) QAU



### **3.4.6.3 Monitoreo de personal (Métodos)**

Para medir la dosis de radiación recibida por los trabajadores existen tres métodos principales:

1. Film badge dosimeter
2. TLD (Thermoluminescencedosimeter)
3. Dosímetros de bolsillo
- 4.

#### ***Período de seguimiento y las dosis admisibles:***

Después de cada 10 semanas.

Dosis permitida para los trabajadores = 20mSv/año  
= 1.67mSv/mes  
= 9.1uSv/hora

### **3.4.6.4 Exámenes médicos**

El examen médico de los trabajadores en contacto con la radiación es una práctica internacional.

En caso de sobre exposición o cualquier percance, es necesario llevar a cabo el examen médico de los trabajadores expuestos a radiación.

El examen médico depende de los tipos y el alcance de la exposición. Normalmente se realizan las siguientes pruebas:

- Análisis sangre
- Radiografías de tórax
- Prueba de orina
- Funcionamiento de los pulmones
- Prueba radiométrica

### **3.4.6.5 Seguimiento del área**

El seguimiento de los niveles de radiación se realizaran dentro del área de alcance del acelerador, estas partes son: sala del acelerador, sala de control, sala de adquisición de datos y salas anexas.



# UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)

INGENIERO EN ORGANIZACIÓN INDUSTRIAL

---

Para este seguimiento se utilizarán dos tipos de detectores de radiación.

- **Detectores de radiación Beta, Gamma y rayos X**

**Nombre:** Unidad de Detección

**Alcance efectivo (por gamma):** 0.1uGy/hr-10mGy/año

**De bajo rango de sensibilidad:** 0.1uGy/hr-150uGy/año

**De bajo rango de sensibilidad:** 150uGy/hr-10mGy/año

- **Detector de Neutrones**

**Nombre:** Unidad de Detección

**Alcance efectivo:** 0.1uSv/hr-100mSv/hr

**Rango de Energía:** 0.02ev-10 MeV

**Tipo de detector:** Detector de centelleo



**UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS**  
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)  
INGENIERO EN ORGANIZACIÓN INDUSTRIAL

---



## Capítulo 4 Aplicaciones del acelerador Tándem de 6 MV

Los campos de aplicación de las líneas de investigación que se pueden desarrollar con el acelerador Tándem son las que a continuación se indican:

### **4.1 CIENCIA DE MATERIALES**

---

El uso del acelerador tándem de 6 MV es de especial relevancia para investigar numerosos problemas relacionados con la Ciencia de Materiales. Se podrá realizar un gran número de trabajos con la fin del estudio de la composición de las muestras analizadas y su correlación con las propiedades físicas de las mismas, recurriendo para ello a las diversas técnicas analíticas de las que se disponen, tales como RBS, PIXE, NRA, PIGE y ERD.

En las Ciencias de Materiales es donde verdaderamente el impacto de las técnicas nucleares asentadas en el uso de aceleradores ha tenido una mayor popularidad. También, se podrá investigar utilizando las técnicas nucleares de análisis y modificación de materiales prácticamente con todo tipo de materiales: aleaciones metálicas, superconductores, semiconductores, aislantes, materiales compuestos, cerámicas, etc. Los aspectos más notables serán la alta sensibilidad, relativa sencillez, alta precisión y carácter no destructivo de las técnicas de análisis, y la posibilidad de modificar hondamente las propiedades, no sólo eléctricas, sino además mecánicas y térmicas de los distintos materiales, esencialmente mediante la implantación iónica. [UACM]

#### **4.1.1 CIENCIA DE SEMICONDUCTORES**

---

Las técnicas de haces de iones se han usado durante mucho tiempo en la ciencia de semiconductores debido a sus atrayentes aplicaciones, tanto para la modificación (dopaje, limpieza, formación de patrones...) como para el análisis (composición, estructura, impurezas, intercaras...) de estos materiales. En concreto, el carácter no destructivo de las técnicas IBA, junto a la capacidad de realizar en profundidad perfiles elementales, hacen que estas herramientas sean excelentes para lograr una avanzada caracterización de capas semiconductoras, las cuales requieren de láminas delgadas epitaxiales de alta pureza [UACM].



# UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)

INGENIERO EN ORGANIZACIÓN INDUSTRIAL

---

Existirán diversas técnicas de caracterización de capas semiconductoras, como RBS, ERDA, NRA y PIXE. Estas metodologías se han utilizado con éxito en la determinación de la composición con resolución en profundidad, la detección de impurezas ligeras y pesadas, y la extracción de perfiles para elementos específicos. Además, combinados con la canalización iónica, estos métodos puede dar información estructural acerca de la calidad cristalina, la tensión, la presencia de defectos y la posición en sitios de red de los átomos.

La línea Standard estará preparada para este tipo de análisis, ya que contará con detectores de RBS y ERD, y de manera adicional con detectores de rayos gamma y rayos X. En la línea de ERDA-TOF se ofrecerá, también, una muy alta sensibilidad para la detección de elementos ligeros, que es un tema crítico en estos materiales. Junto con las técnicas IBA, se dispondrá también de un sistema de pulverización catódica para el crecimiento de láminas delgadas y recubrimientos, que se utilizará para estudiar diversos materiales semiconductores tales como Si, SiGe, o TiO<sub>2</sub>. [UACM]

## **4.2 PATRIMONIO CULTURAL: ARTE Y ARQUEOMETRÍA**

---

En el estudio del Patrimonio Histórico y Cultural los análisis científicos son cada vez más importantes y representan un grandioso complemento a los estudios tradicionales. La colaboración interdisciplinaria de restauradores, historiadores, arqueólogos, físicos, y químicos, entre otros, ofrece una información mucho más amplia y detallada sobre las obras de arte, su composición, el proceso de elaboración y los materiales usados. En el ámbito del arte y la arqueometría son importantes las técnicas basadas en el acelerador Tándem por permitir análisis no destructivos, multielementales, de alta sensibilidad y rápidos. Se pueden llevar a cabo estudios de diversos materiales como metales, cerámicas, vidrios, papel, etc, y objetos de cualquier tamaño al disponer de una línea de haz externo que evita la extracción de muestras en piezas de gran valor.

Se pueden llevar a cabo trabajos de análisis no destructivo sobre diversos materiales, tanto en cámara de vacío como en línea de haz externo.

En el estudio de metales de valor patrimonial, se podrán realizar pruebas de análisis de estructuras de capas, pudiéndose obtener valiosos resultados en piezas doradas tanto con sustratos de plata como de bronce. Así, mediante la combinación de las técnicas RBS y PIXE será posible determinar la composición y espesor de la capa de oro y de la pieza de metal que ha sido dorada, así como establecer el método de dorado utilizado en su fabricación. [UACM]





### **4.3 FOTÓNICA**

---

Se fundamenta en el estudio de los mecanismos de daño electrónico generados en cristales de interés fotónico mediante la irradiación con iones pesados de alta energía (swift heavy ions), con interés especial en el estudio de la modificación de las propiedades ópticas de los materiales irradiados, con el objetivo de demostrar nuevas aplicaciones fotónicas (basadas en guías de onda ópticas). Los materiales más estudiados hasta la fecha en el CMAM han sido:  $\text{LiNbO}_3$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{SiO}_2$ , KGW,  $\text{BaMgF}_4$ .

Asimismo, será posible estudiar el daño electrónico en materiales tales como el  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  que son de alto interés en el campo de la fusión nuclear (materiales para la pared del reactor, por ejemplo para ventanas) [UACM].

### **4.4 FÍSICA DE SUPERFICIES**

---

En la línea de física de superficies se centran en el crecimiento y caracterización de películas tremendamente delgadas de materiales y el estudio de sus superficies e intercaras. Diversos materiales de importancia tecnológica encuentran aplicaciones en la forma de películas delgadas. Por ejemplo en el campo del almacenamiento de información en soportes magnéticos. Donde se espera acrecentar la capacidad de los dispositivos convencionales como discos duros y desarrollar nuevos elementos espintrónicos que permitan la presencia de nuevas arquitecturas informáticas fundamentadas en memorias RAM magnéticas (MRAM) o en uniones túnel magnéticas (MTJ). Para ello es básico el control de las propiedades como la anisotropía magnética, que pueden depender de forma muy sensible de la morfología, composición y estructura cristalina de las películas [UACM].

Cuando se aproximan a la escala nanométrica las dimensiones de un sistema, las propiedades físicas vienen establecidas por las de las superficies e intercaras. Además, la sensibilidad a daños estructurales aumenta. Por ejemplo, se conoce que las propiedades magnéticas del hierro volúmico dependen del parámetro de red. Por esto y por las distintas fases estructurales presentes en películas de Fe epitaxiales, el comportamiento magnético de películas ultra finas de Fe sobre Cu(100) es muy complejo. Asimismo, la realización de una definida caracterización mediante el uso de técnicas sensibles a la superficie es de vital importancia para comprender las propiedades de los sistemas y ser capaces de diseñarlos para resolver necesidades específicas [UACM].

La línea UHV-superficies del laboratorio del acelerador tándem de 6 MV contará con una vigorosa composición de equipamiento para el desarrollo de películas delgadas epitaxiales por epitaxia de haces moleculares (MBE) y caracterización in-situ mediante el uso de



# UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)

INGENIERO EN ORGANIZACIÓN INDUSTRIAL

---

diferentes técnicas experimentales. Éstas se pueden clasificar en técnicas de caracterización de películas delgadas, entre ellas las basadas en las técnicas estándar de haces de iones que emplean los iones de alta energía aportados por el acelerador Tándem [espectroscopia de retrodispersión Rutherford (RBS), detección de retroceso elástico (ERDA), etc.] y métodos de caracterización superficial [dispersión de iones de pequeña energía (LEIS), difracción de electrones de pequeña energía (LEED) y espectroscopia de electrones Auger (AES)]. El sistema LEIS-ToF representará un sistema experimental de características muy especiales para la determinación estructural superficial. En él, la muestra será bombardeada por un haz pulsado de iones de gases nobles (He, Ar, Ne...) con energías típicas en el rango de 2 a 6 keV y se registrarán espectros de tiempo de vuelo (ToF) de las partículas en retroceso y dispersadas. Además, será posible obtener barridos polares o acimutales de la intensidad de las partículas en retroceso o dispersadas mediante las rotaciones de la muestra. De esta forma, y mediante el uso de fluencias iónicas menores que  $10^{12}$  iones/cm<sup>2</sup>, se podrán realizar determinaciones estructurales causando un daño mínimo a la muestra. Esto representa una técnica sensible a la superficie y complementaria a LEED en muchos aspectos [UACM].

Esta combinación de instalaciones para el crecimiento y técnicas de análisis permitirá el estudio de muchos materiales interesantes por sus aplicaciones magnéticas. Entre ellos, los materiales que contienen tierras raras muestran propiedades magnéticas peculiares. Los compuestos entre metales de transición y tierras raras pueden combinar altas temperaturas de orden con elevadas anisotropías magnéticas. Por ejemplo, los sistemas Nd-Fe y Sm-Co contienen los materiales magnéticamente más duros conocidos y son candidatos prometedores para acercarse al límite supeparamagnético en nanoestructuras magnéticas. Otra clase de materiales con propiedades magnéticas interesantes son los óxidos de tierras raras; por ejemplo EuO es un semiconductor ferromagnético que muestra una transición con un cambio asociado de varios órdenes de magnitud en la resistividad. Se han observado efectos relevantes para la espintrónica en fases superficiales de otros óxidos de tierras raras, como el desdoblamiento Rashba en GdO. También óxidos de metales de transición como CrO<sub>2</sub>, un "half-metal" ferromagnético, pueden mostrar una polarización de espín completa de los electrones de conducción. [UACM]

## **4.5 FÍSICA DEL ESTADO SÓLIDO**

---

Adyacente a las técnicas IBA de análisis de elementos atómicos de materiales (PIXE, RBS, ERDA, etc.) en un rango que va desde los nanómetros a las micras, los aceleradores de iones tienen también el formidable interés de ser poderosas máquinas de implantación iónica y de modificación de materiales. Cuando se implanta un ion energético sobre un sólido, se provocan cambios en la estructura y propiedades del sólido que son aprovechados en diversos campos de aplicación de la física y la ingeniería, y se utilizan para crear elementos tan variados



# UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)

INGENIERO EN ORGANIZACIÓN INDUSTRIAL

---

como biochips y dispositivos ópticos o electrónicos. El rango de energías habituales utilizadas en implantación iónica es tremendamente extenso, abarcando desde las pocas decenas de keV, logradas con pequeños implantadores iónicos, hasta inclusive algunos cientos de MeV, engendrados en aceleradores de partículas, cuyo uso suele ser de mayor interés pero más caro para la exploración científica [UACM].

Esta técnica es aplicable a un problema del enorme interés en la actualidad dentro de la Física del Estado Sólido: el estudio del comportamiento magnético reportado en grafito, grafeno y compuestos apoyados en el carbono. Como ya se sabe, el grafito (estado cristalino estable del carbono puro a presión y temperatura ambiente) presenta un fuerte y anisotrópico diamagnetismo, achacable a sus electrones  $\pi$  deslocalizados. En las últimas dos décadas diversos investigadores han conseguido evidencias más o menos claras de señales de ferromagnetismo en carbono a temperatura ambiente [UACM].

Conjuntamente a la implantación e irradiación iónicas, la técnica PIXE (Particle-Induced X-ray Emission) del acelerador de iones interesa para establecer in situ pequeñas cantidades de impurezas magnéticas en la muestra, dado el bajo nivel de señales ferromagnéticas reportadas habitualmente. La posibilidad de que exista ferromagnetismo, u otras contribuciones magnéticas en las muestras se estudia mediante magnetometría SQUID de alta precisión y ocasionalmente mediante Microscopía de Fuerzas Magnéticas (MFM). [UACM]

## **4.6 BIOMEDICINA**

---

Igualmente en Medicina y Biología los haces de iones son muy útiles para el análisis de tejidos y fluidos orgánicos con el fin de busca origen o del tratamiento conveniente de diferentes enfermedades. También, dado que con iones pesados puede conseguir una deposición muy localizada de energía se han abierto nuevas perspectivas en el tratamiento de tumores por radioterapia utilizando aceleradores de iones [UACM].

Los procesos con haces de iones pueden utilizarse para realizar modificación de materiales, así como para conseguir información estructural y elemental de muestras bajo estudio. De cualquier modo, son numerosas las aplicaciones biomédicas.

El conocimiento de los elementos y en concreto de los elementos traza, que componen una muestra biomédica es determinante para resolver muchos problemas médicos. Las técnicas IBA (Ion Beam Analysis) son herramientas rápidas, eficaces y de alta sensibilidad (logran detectar concentraciones del orden de  $\mu\text{g/g}$ ) para la detección de concentraciones elementales [UACM].



# UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)

INGENIERO EN ORGANIZACIÓN INDUSTRIAL

---

Los estudios más simples con técnicas con haces de iones en muestras biológicas, residen especialmente, en la determinación de las concentraciones elementales del volumen total de muestras usando un haz de iones de escasos milímetros mediante la técnica PIXE (Particle Induced X-ray Emission). Dicha técnica es aplicable a una gran variedad de tejidos (dientes, úteros, cerebro, sangre, hígado...). Utilizando además un haz de iones de unos pocos milímetros, las técnicas RBS (Rutherford Backscattering Spectrometry) y ERDA (Elastic Recoil Detection Analysis) se han empleado con éxito para la caracterización de biomateriales. No obstante, el uso extensivo de las técnicas de microscopía nuclear en micro y nano sondas de iones ha sido lo que ha impulsado las aplicaciones de las técnicas de haces de iones en biomedicina [UACM].

La microscopía nuclear está constituida por un conjunto de técnicas complementarias (STIM, PIXE y RBS), que pueden aplicarse juntamente, con capacidad para lograr imágenes de las variaciones de densidad y mapas de distribución de los elementos traza, utilizando iones con energías de pocos MeV y altamente focalizados. Las técnicas de microscopía nuclear han sido aplicadas con éxito a gran variedad de tejidos biológicos como piel, hueso, cerebro, páncreas, arterias, pulmones... En los últimos tiempos, las mejoras conseguidas en la focalización de los haces de iones ha facilitado trabajar de forma rutinaria con haces sub-100nm. Con estos haces se han logrado imágenes nanoSTIM de tejido y células individuales, resolviendo los núcleos de las células y varios nucléolos. Los iniciales resultados usando nanoSTIM sobre células completas han expuesto que esta técnica tiene un enorme potencial para el recuento de nanopartículas (NPs) y la obtención de imágenes estructurales de NPs dentro de las células [UACM].

La técnica STIM se combina imágenes subcelulares fluorescentes provocadas por protones (PIF, proton induced fluorescence) con una resolución de 200nm (las imágenes fluorescentes ópticas convencionales alcanzan resoluciones de 300-400nm) en una línea de microsonda nuclear. La combinación de las imágenes nanoSTIM con imágenes fluorescentes procura una herramienta casualmente potente en la búsqueda para elucidar la función celular, concretamente siendo viable conseguir imágenes sub-50nm en el futuro [UACM].

La obtención de imágenes tomográficas, por el momento, solo se han conseguido imágenes 3D de densidad de diversos tipos de células. Con esta técnica se puede lograr información sobre el interior de la células sin necesidad hacer ningún corte transversal de la misma [UACM].

Finalmente, la enorme capacidad de los haces de partículas para modificar materiales tiene dos campos de aplicación significativos en biomedicina: la irradiación celular y la creación de distintos dispositivos para aplicaciones biomédicas. En ambas aplicaciones las extensiones cada vez más reducidas de los haces de trabajo, así como el control de los mismos son herramientas concluyentes. El fin de los experimentos de irradiación celular es fijar los efectos de bajas dosis de radiación sobre las células vivas. Para ello, células cultivadas se irradian ion a ion de forma individual en lugares muy localizados. Consecutivamente se puede observar



cómo evoluciona la célula en función del número de iones que han colisionado con ella y del lugar de impacto. Se conoce que el comportamiento de las células, su acoplamiento, proliferación, orientación, migración y función, viene determinado por la topografía de la superficie del sustrato y sus propiedades químicas. Mediante el uso controlado de micro y nanohaces de partículas se puede fabricar una gran diversidad de sustratos de crecimiento celular. Igualmente, los haces de partículas pueden utilizarse para crear micro y nanocanales 3D de muy baja rugosidad en polímeros para el transporte de microfluidos, separación de células bacterianas y para la detección de moléculas individuales utilizando espectroscopía fluorescente. Asimismo se pueden fabricar biochips que pueden soportar células, ADN y proteínas grandes [UACM].

#### **4.7 MATERIALES PARA PRODUCCIÓN DE ENERGÍA**

---

La ciencia de materiales aplicada a la producción de energía, abarca un amplio campo de actividades y temas entre ellos el análisis y modificación de materiales avanzados para reactores de fusión y fisión [UACM].

Los materiales de los reactores nucleares están exhibidos a un entorno hostil, como resultado de la intensa radiación. En concreto, en los reactores de fusión, el plasma caliente genera un alto flujo de partículas cargadas, neutrones de alta energía y rayos gamma, que afectarán a los materiales de la primera pared y también otros equipos más alejados, como es la zona donde se calienta el plasma o la zona de diagnóstico de sistemas. Esta irradiación, a través de los fenómenos de desplazamiento atómicos y procesos ionizantes, producirá un número de defectos en la estructura de los materiales, que afectan a sus propiedades físicas a diferentes escalas. Además, las reacciones nucleares inducidas por los neutrones generan productos de transmutación (impurezas) que pueden cambiar las propiedades físicas de los materiales, y además, afectar a su fiabilidad. Las temperaturas muy elevadas y los campos magnéticos intensos también contribuyen en los cambios de las propiedades [UACM].

El uso de haces de iones se considera como una herramienta eficaz y útil para experimentalmente estudiar los efectos producidos por la radiación de partículas en materiales funcionales y aleaciones metálicas, aun siendo los procesos involucrados diferentes a los de la irradiación neutrónica.

Los defectos creados en una estructura de material durante la irradiación dan lugar a la modificación de sus propiedades, debido a los cambios producidos en la estructura cristalina, siendo los de mayor importancia los de bombardeo iónico-erosión, dieléctrica termomecánica, hinchazón y propiedades ópticas y cambios producidos en la dispersión y difusión de la luz. [UACM]



#### **4.8 FÍSICA NUCLEAR**

---

Existirá la posibilidad de trabajar para desarrollo de instrumentación nuclear.

La ejecución correcta de dichos detectores conlleva al desarrollo de sistemas electrónicos sobradamente rápidos, que sean capaces de procesar las altas corrientes y tasas de conteos detectadas. Asimismo cabe la posibilidad de mantener una continua y sistemática investigación en medidas y análisis experimentales y teóricos de reacciones nucleares con núcleos estables y exóticos. [UACM]

#### **4.9 MEDIOAMBIENTE**

---

En las Ciencias Medioambientales, se han desarrollado diversos proyectos de aplicaciones muy concretas. En los Estudios Medioambientales las técnicas de análisis multielementales, como PIXE y PIGE, permiten un análisis rápido y de gran sensibilidad de grandes volúmenes de muestras, lo que facilita enormemente estudios estadísticos de gran importancia en temas tales como control de aguas, aire, sedimentos, etc [UACM].



## **Capítulo 5 Estudio de Mercado**

### **5.1 INTRODUCCIÓN**

---

Los objetivos del presente estudio de mercado se pueden definir en términos generales como:

- Ratificar la existencia de una necesidad insatisfecha en el mercado y la posibilidad de brindar un mejor servicio que los que se ofrecen actualmente en el mercado.
- Determinar la cantidad de servicios provenientes de una nueva instalación que la comunidad estaría dispuesta a adquirir a determinados precios.
- Conocer cuáles son los medios que se están empleando para hacer llegar los servicios a los usuarios.
- Como último objetivo, tal vez el más importante, pero por desgracia intangible, dar una idea al inversionista del riesgo que el servicio corre de ser o no aceptado en el mercado.

A todos estos puntos se les dará una amplia respuesta en los apartados que a continuación siguen.

### **5.2 ANÁLISIS DE LA DEMANDA**

---

En este apartado se analizará como es la demanda, es decir, cuáles son las características, las necesidades, los comportamientos, los deseos y las actitudes de los clientes.

Para ello se analizará el comportamiento histórico de la demanda, su situación actual y sus perspectivas de futuro.

La estructura que se va a seguir en este análisis es el estudio de la demanda a través del estudio de los sectores de actividad de las aplicaciones que corresponden al acelerador Tandem de 6 MV.





# UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)

INGENIERO EN ORGANIZACIÓN INDUSTRIAL

---

## 5.2.1 ESTUDIO DE LA INVERSIÓN EN I+D A NIVEL MUNDIAL

---

En la literatura económica existe un consenso sobre la importancia de la innovación para la competitividad empresarial. Por ejemplo, Henard y Dacin (2010) indican que la mejor herramienta para competir en el nuevo contexto con éxito es la innovación; Edmodson y Nembhard (2009) afirman que la innovación es clave en el proceso de adaptación a los nuevos retos empresariales que se presentan; Salomo et al. (2010) señalan que una firme actitud innovadora tiene efectos positivos en el resultado de la empresa; Calantone et al. (2002) indican que a través de la innovación los directivos encuentran soluciones a problemas y desafíos empresariales, que serán la base del éxito y la supervivencia de las empresas en el futuro.

El objetivo de este análisis es realizar una radiografía sobre la actual situación de la I+D a nivel internacional, de la Unión Europea y nacional, que afecta directamente al objetivo del presente proyecto, debido a que los potenciales clientes del acelerador son los departamentos de I+D de la empresas relacionadas con las aplicaciones del mismo, para ello se utilizarán estudios de referencia «The 2013 EU Industrial R&D Investment Scoreboard» elaborado por la Comisión Europea, el estudio del BCG sobre las empresas más innovadoras y la Encuesta sobre Estrategias Empresariales del Instituto Nacional de Estadística (INE).

### 5.2.1.1 Principales conclusiones

De los 15 sectores que más invierten en I+D, 9 de ellos son de vital importancia para el presente estudio, pues estos sectores representan el 100% de la demanda del acelerador que se presenta. Tan solo 3 de los 9 sectores citados anteriormente acumulan más del 50% de la inversión en I+D y además, cabe destacar que los 6 primeros sectores representan más del 70% de inversión en I+D [ECOMI13].

Por todo lo anterior se puede afirmar que el potencial de mercado global asciende a 360 billones de euros con un crecimiento anual del 6,65 %, superior a la media mundial. El potencial que le corresponde al mercado europeo es de 130 billones de euros con un crecimiento anual del 6,3% en 3 años [ECOMI13].

Las empresas pertenecientes a dos de los cinco principales sectores por nivel de inversión en I+D, aumentó la inversión en I + D por encima de la media mundial del 6,2%, es decir, Automóviles & Parts (8,9%) y Technology Hardware & Equipment (8,8%). La inversión en I+D del siguiente sector más importante por inversión en I+D fue el de Pharmaceuticals and Biotechnology alcanzó un modesto incremento del 4,1% de la I+D. Otros sectores que



# UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)

INGENIERO EN ORGANIZACIÓN INDUSTRIAL

---

mostraron un alto crecimiento de la inversión en I + D fueron la Industrial Engineering (9,8%) y el sector Health Care Equipment & Services (8,3%).[ECOMI13]

Las empresas con sede en la UE tuvieron el mayor crecimiento de I + D en el sector del Automobiles & Parts (14,4%) y Industrial Engineering (12,3%) [ECOMI13].

Las tendencias observadas en el mercado en los últimos 10 años muestran una característica especialización sectorial por regiones. La acciones de I+D de las empresas con sede en la UE están en Automobiles & Parts (24,9%), Pharmaceuticals and Biotechnology (17,5%) y Technology Hardware & Equipment (10,2%). Las principales acciones de las empresas de EE.UU. en I+D se especializan en Technology Hardware & Equipment (25,2%) y Pharmaceuticals and Biotechnology (22,1%). Estos tres sectores de alta intensidad en I + D representan el 65,5% de la inversión en I+D de los EE.UU., el 30% para la UE y el 26% para Japón. [ECOMI13]

## ***5.2.1.2 Inversión en I + D distribuida por sector industrial***

Este apartado se presenta las principales tendencias de I + D entre las empresas distribuidas por sectores industrial. Comprende el ranking de sectores por su nivel de inversión en I + D, una concentración de I + D, las tasas de crecimiento de I + D y la comparación de tales tendencias a través de las regiones del mundo.

La ilustración 33 muestra el ranking de I + D de las empresas de los principales sectores industriales, incluyendo la cuota relativa de I+D por las principales regiones mundiales.

Los sectores más importantes para el presente estudio basándonos en las posibilidades que puede ofrecer la tecnología de aceleradores que en este estudio se propone son los siguientes:

1. **Pharmaceuticals & Biotechnology** (Productos farmacéuticos y biotecnología)
2. **Technology Hardware & Equipment** (Tecnología Hardware y equipos)
3. **Automobiles & Parts** (Automobiles & Parts)
4. **Electronic & Electrical Equipment** (Equipos Electrónicos y Eléctricos)
5. **Industrial Engineering** (Ingeniería Industrial)
6. **Aerospace & Defence** (Aeroespacial y defensa)
7. **General Industrials** (Industria general)
8. **Health Care Equipment** (Equipos para el cuidado de la Salud)
9. **Oil & Gas Producers** (Productores de Petróleo y Gas)



#### 5.2.1.3 *Tendencia general de la I + D*

Dentro de los cinco primeros sectores industriales que más invierten en innovación, cuatro de ellos son de vital importancia para el proyecto que se plantea, ellos son: Pharmaceuticals & Biotechnology, Technology Hardware & Equipment, Automobiles & Parts y Electronic & Electrical Equipment.

Por otro lado, la inversión en I + D está muy concentrada por sectores: De los 40 sectores industriales existentes, los tres de la parte superior, Pharmaceuticals & Biotechnology, Technology Hardware & Equipment y Automobiles & Parts representan el 50,2% de la inversión total en I + D. Si seguimos por la parte superior, los 6 y los 15 principales sectores constituyen, respectivamente, el 71,0% y el 92,1% del total de inversión en I + D del mercado total [ECOMI13].

Como se observa, uno de los principales sectores de interés para el presente estudio es el sector de Pharmaceuticals & Biotechnology, el cual mantiene la primera posición en el ranking de I + D, aumentando ligeramente su cuota de inversión en I+D, que actualmente es del 18,1% del total de inversión en I+D. Le sigue otro de los sectores de vital importancia, el sector Technology Hardware & Equipment, con una cuota del 16,4% (similar a la del año pasado, un 16,6%) y el sector del Automobiles & Parts con un 15,7%, ligeramente superior al 15,0% del año pasado [ECOMI13].

La especialización en I + D (porcentaje de la inversión en I + D) de las principales regiones en los 3 sectores más importantes son:

- En la EU, Automobiles & Parts (24.9%), Pharmaceuticals & Biotechnology (17.5%), y Technology Hardware & Equipment (10.2%);
- En los EEUU, Technology Hardware & Equipment (25.2%), Pharmaceuticals & Biotechnology (22.1%) y Automobiles & Parts (6.6%);
- En Japan, Automobiles & Parts (26.4%), Pharmaceuticals & Biotechnology (10.8%) y Technology Hardware & Equipment (7.3%).

La contribución al total del mercado de I + D de las empresas de la UE es del 53,0% a Aerospace & Defence, el 46,1% a Automobiles & Parts y el 39,5% al Engineering sectores, los EE.UU. aporta el 63,8% de Health Care Equipment & Services y el 54,0% a la Technology Hardware & Equipment y, Japón aporta el el 33,3% al sector de Electronic & Electric Equipment y 31.8 % de Automobiles & Parts. [ECOMI13]



#### **5.2.1.4 Crecimiento de la I+D por sectores industriales**

En la ilustración 33 e ilustración 34 muestran las acciones de los principales sectores industriales y en la tabla 8 se muestra la clasificación por índice de crecimiento anual de I + D en todo el mundo para las empresas del mercado basados en las principales regiones del mundo (EU-527, US-658, y Japón-353).

Se observan los siguientes puntos de los 15 principales sectores que representan el 92,1% de la inversión total en I + D de las empresas del mercado:

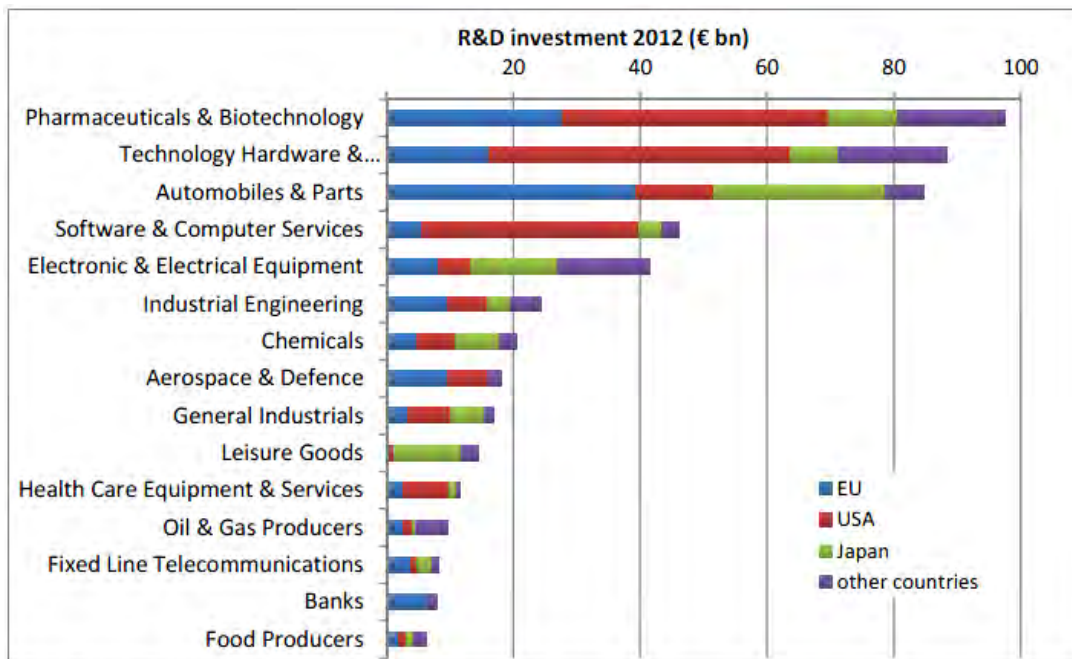
- A nivel mundial, el sector de Industrial Engineering muestra la tasa más alta de crecimiento anual (9.8%), seguido por Automobiles & Parts (8.9%) y el sector de Technology Hardware & Equipment (8.8%).
- Entre las empresas con sede en la UE, el sector de Automobiles & Parts muestra la tasa más alta de crecimiento anual (14,4%), seguido de los sectores de Industrial Engineering (12,3%). El sector que muestran el crecimiento anual más bajo en I+D es Technology Hardware & Equipment (-2,3%).
- Entre las empresas con sede en los EE.UU., el sector de la Technology Hardware & Equipment muestra la tasa de crecimiento anual más alta (14,8%), seguido de Industrial Engineering (9,4%).
- Para las empresas japonesas, la mayor tasa de crecimiento anual fue para Automobiles & Parts (6,4%) y Health Care Equipment (4,9%). El peor crecimiento fue el mostrado por el General Industrials (-9,7%) y Electronic & Electrical Equipment (-6,9%).



# UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS

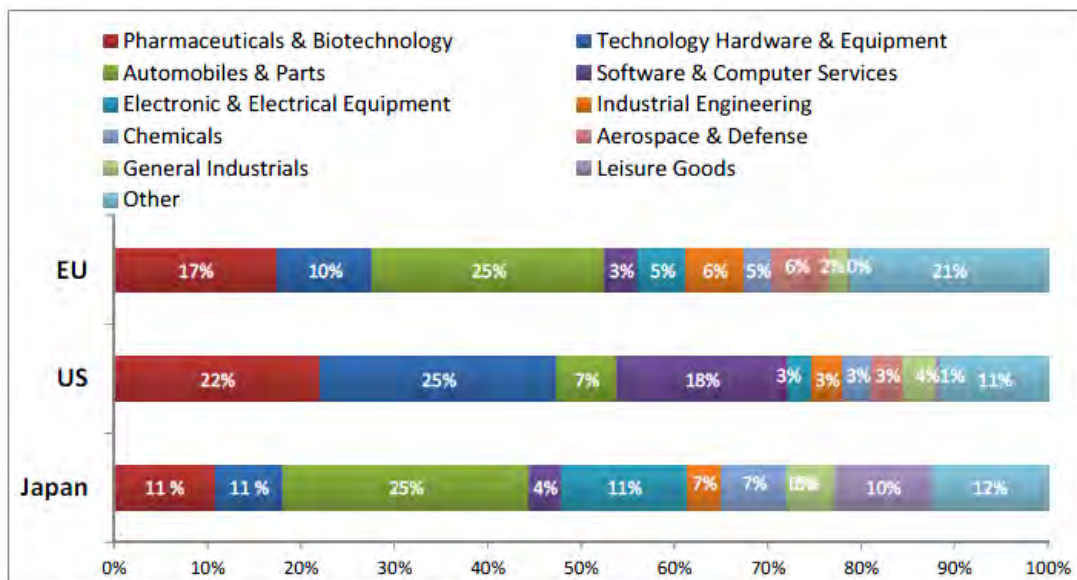
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)

INGENIERO EN ORGANIZACIÓN INDUSTRIAL



Source: The 2013 EU Industrial R&D Investment Scoreboard  
European Commission, JRC/DG RTD.

Ilustración 37. I + D ranking de los sectores industriales y de la cuota de las principales regiones del mundo para las principales 2000 empresas más importantes del mundo.



Source: The 2013 EU Industrial R&D Investment Scoreboard  
European Commission, JRC/DG RTD.

Ilustración 38. Acciones en I+D de los sectores de las principales regiones del mundo.



# UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)

INGENIERO EN ORGANIZACIÓN INDUSTRIAL

Tabla 8. Ranking de los 15 principales sectores industriales por crecimiento anual de I+D de la UE, EE.UU. y las empresas japonesas en el 2013.

Rank	Sector	Overall one-year R&D growth (%)	EU-527 R&D change (%)		US-658 R&D change (%)		Japan-353 R&D change (%)	
			1 year	3 years	1 year	3 years	1 year	3 years
1	Software & Computer Services	11.8	14.2	10.0	12.6	10.4	-4.7	-8.4
2	Industrial Engineering	9.8	12.3	10.0	9.4	13.3	3.4	4.2
3	Automobiles & Parts	8.9	14.4	12.6	-2.6	5.1	6.4	5.3
4	Technology Hardware & Equipment	8.8	-2.3	1.4	14.8	9.7	-4.1	-0.5
5	Health Care Equipment & Services	8.3	8.7	7.6	8.5	6.2	4.9	3.9
6	Aerospace & Defence	7.0	9.5	6.1	-1.3	1.3		
7	Chemicals	6.9	8.6	3.8	7.0	8.4	0.7	0.9
8	Pharmaceuticals & Biotechnology	4.1	3.2	3.7	4.3	5.7	4.8	-0.1
9	Oil & Gas Producers	3.8	9.5	4.7	2.2	1.4	-4.9	9.8
10	Leisure Goods	2.9	1.7	2.5	-4.6	-2.6	2.5	2.2
11	Electronic & Electrical Equipment	2.5	4.4	4.2	6.1	8.2	-6.9	0.6
12	Food Producers	1.1	6.3	7.2	-12.4	1.8	0.0	1.6
13	Fixed Line Telecommunications	0.6	-4.6	-6.1	7.5	9.3	0.5	-1.1
14	General Industrials	0.2	5.6	4.7	7.2	10.2	-9.7	-3.2
15	Banks	-4.3	-6.8	13.4				
	Total 40 industries	6.2	6.3	6.6	8.2	8.0	0.4	1.2

Source: *The 2013 EU Industrial R&D Investment Scoreboard.*  
European Commission, JRC/DG RTD

## 5.2.2 SITUACIÓN DE LA I+D EN ESPAÑA

A continuación se presenta los principales indicadores de I+D en España obtenidos del documento redactado por FECYT y que lleva por título “*Indicadores Del Sistema Español De Ciencia, Tecnología E Innovación en 2013*”. Este documento nos muestra un conjunto de





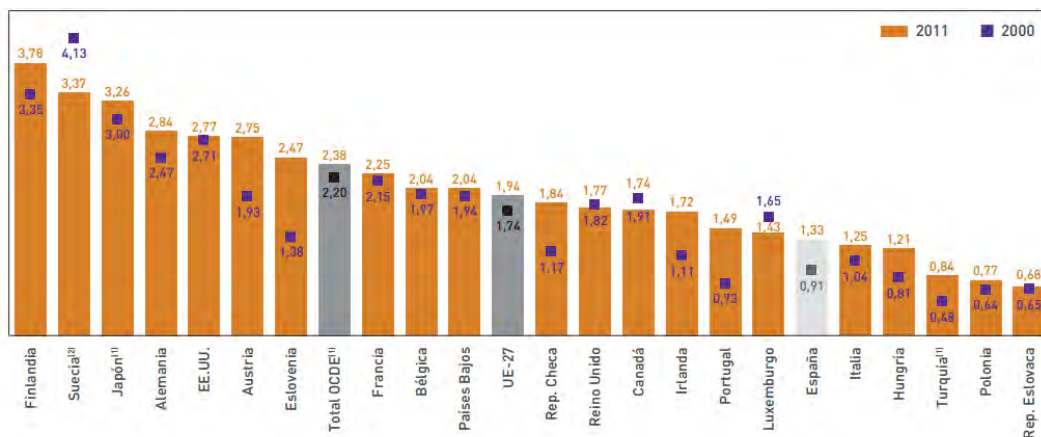
indicadores fundamentales para poder tener una visión de la evolución y situación de las actividades de I+D+I en España, a nivel estatal, autonómico y desde una perspectiva internacional.

A continuación se hará un análisis de los indicadores más interesantes para el estudio que aquí se presenta.

### 5.2.2.1 Situación de España en relación con el resto de países de la OCDE

#### Recursos Destinados A I+D En Los Países De La OCDE. 2000 Y 2011

Gastos en I+D como porcentaje del PIB



<sup>(1)</sup> Dato de 2010.

<sup>(2)</sup> Dato de 2001.

Fuente: OCDE, Principales Indicadores de Ciencia y Tecnología.

Gráfico 5. Recursos Destinados A I+D En Los Países De La OCDE. 2000 Y 2011.

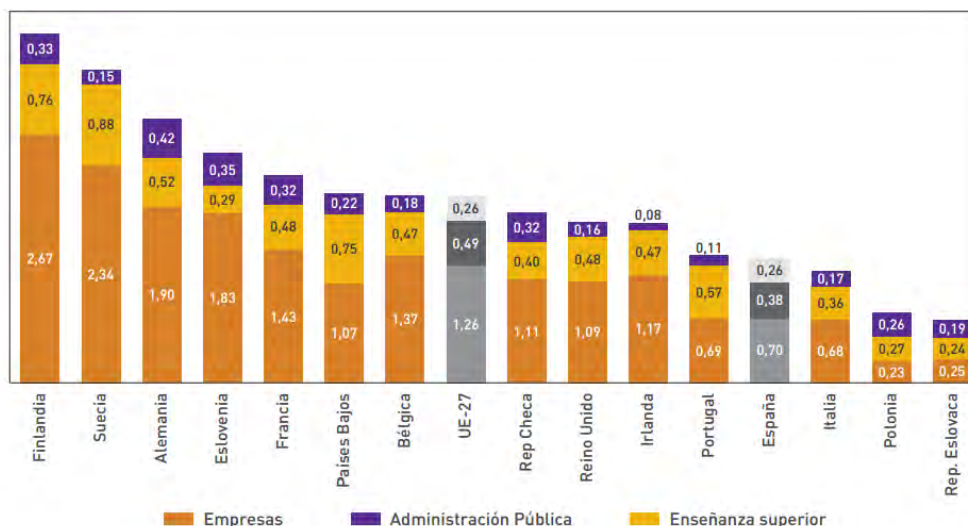
En cuanto a la inversión que realiza España como porcentaje del PIB podemos decir que ocupa el puesto 19 el quinto presupuesto para inversión más bajo de toda la OCDE, con 1,33% del PIB en 2011. A pesar de ello los países de nuestro entorno realizan más inversión llegando a alcanzar el 3,78% de PIB como lo hizo en 2011 Finlandia. Todos los países de la OCDE son potenciales clientes de la instalación que aquí se presenta y a todos ellos se les tiene en cuenta para la estimación de la demanda.





**Gasto en I+D en los países de la UE por sector de ejecución. 2011**

En porcentaje del PIB



Fuente: OCDE. Principales Indicadores de Ciencia y Tecnología.

**Gráfico 6. Gasto en I+D en los países de la UE por sector de ejecución. 2011.**

En el grafico anterior se observa como las empresas seguido de la enseñanza superior son las que realizan mayor inversión en planes de I+D, sectores objetivo de la instalación que aquí se presenta y que tienen vital importancia para la generación de beneficios de la misma.

**5.2.2.2 Presupuestos públicos para I+D+I**

La Política de Gasto 46 (PG46) es la destinada a I+D+I en los Presupuestos Generales del Estado, es decir, de la Administración General del Estado. Los presupuestos dedicados a I+D+I de las comunidades autónomas se recogen en la Memoria de Actividades de I+D+I.

En 2013, los créditos iniciales de la PG46 fueron 5.932,23 millones de euros. El programa de gasto que recibe más financiación pública es el de Investigación y desarrollo tecnológico industrial (37,82%), seguido de Fomento y coordinación de la investigación científica y técnica (23,79%). En la desagregación por departamentos ministeriales, es el Ministerio de Economía y Competitividad (que incluye a la Secretaría de Estado de I+D+I) el que recibe una proporción mayor de los créditos iniciales de la I+D+I (76,72%).

A continuación se hará un análisis de los indicadores económicos más importantes:



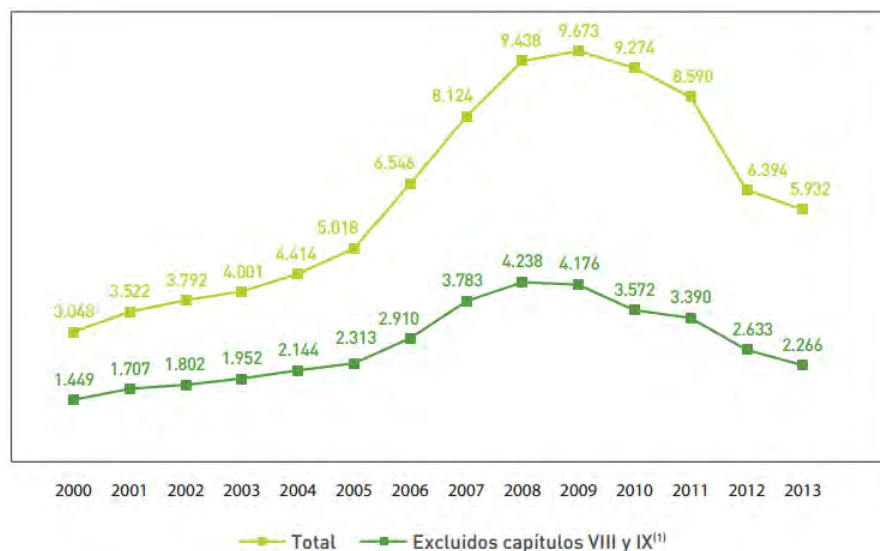
# UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)

INGENIERO EN ORGANIZACIÓN INDUSTRIAL

## Presupuestos generales del Estado para I+D+I (Política de gasto 46). 2000-2013

Créditos iniciales en millones de euros corrientes



<sup>(1)</sup> Capítulo VIII: Activos Financieros; Capítulo IX: Pasivos Financieros.

Fuente: Ministerio de Hacienda y Administraciones Públicas. Presupuestos Generales del Estado y elaboración propia.

**Gráfico 7. Presupuestos Generales Del Estado Para I+D+I (Política De Gasto 46). 2000-2013.**

Como podemos observar en el gráfico anterior vemos que la inversión máxima se produjo justo antes de la actual crisis económica, entorno a los años 2008 y 2009. A partir de ahí ha ido decreciendo hasta reducirse la inversión en más de 4 millones de euros hasta alcanzar los 5,9 millones de euros. La tendencia de la gráfica nos indica que la tasa de reducción de la inversión se está reduciendo y en los próximos años se prevé que la inversión caiga menos que en años anteriores para después volver a crecer cíclicamente hasta niveles de años pasados



# UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS

## ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)

### INGENIERO EN ORGANIZACIÓN INDUSTRIAL

#### Presupuestos generales del Estado para I+D+I (Política de gasto 46). 2002-2013

Créditos iniciales en millones de euros destinados a la I+D+I civil y militar.



Nota: Total capítulos I al IX.

Fuente: Ministerio de Hacienda y Administraciones Públicas. Presupuestos Generales del Estado y elaboración propia.

**Gráfico 8. Presupuestos Generales Del Estado Para I+D+I (Política De Gasto 46). 2002-2013.**

#### Financiación pública para I+D. 2000-2011

Distribución porcentual de los créditos finales por objetivos socioeconómicos (en base a códigos NABS)

Capítulos de NABS <sup>(1)</sup>	2000	2001	2002	2003	2004 <sup>(5)</sup>	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
1. Exploración y explotación del Medio Terrestre	2,0	2,2	1,2	1,1	1,7	2,0	1,5	1,4	1,6	1,4	1,0	1,1
2. Medio ambiente	2,7	3,7	1,7	1,9	4,1	4,6	4,3	5,3	5,3	5,5	4,2	4,6
3. Exploración y explotación del espacio	5,5	2,4	3,4	3,0	4,6	3,9	3,5	3,9	2,6	2,2	3,6	4,9
4. Transporte, telecomunicaciones y otras infraestructuras	0,6	1,7	3,7	3,5	6,0	4,5	5,1	6,9	9,0	9,0	8,8	4,8
5. Energía	3,6	1,1	1,3	1,7	3,0	2,2	2,3	3,0	3,8	3,3	3,5	3,9
6. Producción y tecnología industrial	15,8	16,8	20,3	21,4	10,7	11,1	11,7	14,9	14,5	11,2	8,6	7,3
7. Salud	4,8	2,2	6,7	7,5	12,7	11,8	14,2	13,9	11,8	11,2	13,5	14,6
8. Agricultura	4,2	3,1	4,0	3,8	7,9	9,2	8,7	8,9	8,5	7,6	7,1	7,6
9. Educación <sup>(2)</sup>					0,4	0,6	0,8	0,9	1,3	1,2	0,9	1,1
10. Cultura, ocio, religión y medios de comunicación <sup>(2)</sup>	0,6	1,7	0,5	0,4	0,7	0,9	1,4	1,5	1,6	1,1	1,1	0,9
11. Sistemas políticos y sociales, estructuras y procesos <sup>(2)</sup>					1,2	1,5	2,3	2,4	2,1	1,4	1,2	1,5
12. Avance general del conocimiento: financiado por los FGU <sup>(3)</sup>	21,4	25,8	25,8	24,9	30,8	27,4	26,7	22,4	22,7	23,7	27,0	26,5
13. Avance general del conocimiento: financiado por otros fondos	7,3	2,1	4,7	6,0	8,0	12,6	9,1	12,0	12,0	18,9	18,2	19,7
14. Defensa	30,2	37,3	26,6	23,9	4,6	3,9	2,7	2,7	3,0	2,3	1,4	1,7
Investigaciones no clasificadas <sup>(4)</sup>	1,2	0,1	0,2	0,9	3,7	3,8	5,8	-	-	-	-	-
<b>Total</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>

<sup>(1)</sup> NABS: Nomenclatura para el Análisis y Comparación de Presupuestos y Programas Científicos (GBAORD, EUROSTAT) de 2007.

<sup>(2)</sup> Los objetivos 9, 10, y 11 de la nomenclatura NABS 2007 son equivalentes al objetivo 8 de NABS 1992: "Vida en sociedad (estructura y relaciones)".

<sup>(3)</sup> FGU: Fondos Generales Universitarios.

<sup>(4)</sup> Este apartado corresponde a la nomenclatura NABS 1992, eliminado en NABS 2007.

<sup>(5)</sup> Desde 2004, ruptura en la serie estadística. La financiación indirecta y los préstamos reemoltables para I+D no se incluyen, con el fin de facilitar la comparación internacional. Fuente: Ministerio de Economía y Competitividad. Estadística sobre créditos presupuestarios públicos de I+D (GBAORD).

**Tabla 9. Financiación Pública Para I+D. 2000-2011.**



# UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)

INGENIERO EN ORGANIZACIÓN INDUSTRIAL

En la tabla 9 podemos observar el porcentaje de financiación que le corresponde a cada objetivo socio económico. De todos los objetivos la parte que interesa desde el punto de vista de este estudio supuso un casi un 90% del total.

La partida más importante es la de *Avance general del conocimiento: financiado por los FGU* y la de *Avance general del conocimiento: financiado por otros fondos* 46,2% del total y son fondos para investigación básica y fondos destinados para investigación en universidades, donde nuestra instalación representaría un elemento muy importante de colaboración con estas entidades en ciertas investigaciones llevadas a cabo por sus diferentes departamentos de investigación.

## Gastos internos totales en actividades de I+D por sector de ejecución. 2000-2011

Miles de euros corrientes y tasas de variación anual (%).

Años	Admón. Pública	Variación %	Enseñanza superior	Variación %	Empresas	Variación %	IPSFL	Variación %	TOTAL	Variación %
2000	904.776		1.693.882		3.068.994		51.336		5.718.988	
2001	989.011	9,3	1.925.357	13,7	3.261.031	6,3	51.758	0,8	6.227.157	8,9
2002 <sup>(1)</sup>	1.107.815	12,0	2.141.949	11,2	3.926.338	20,4	17.435	-66,3	7.193.538	15,5
2003	1.261.763	13,9	2.491.959	16,3	4.443.438	13,2	15.876	-8,9	8.213.036	14,2
2004	1.427.504	13,1	2.641.653	6,0	4.864.930	9,5	11.674	-26,5	8.945.761	8,9
2005	1.738.053	21,8	2.959.928	12,0	5.485.034	12,7	13.857	18,7	10.196.871	14,0
2006	1.970.824	13,4	3.265.739	10,3	6.557.529	19,6	21.127	52,5	11.815.218	15,9
2007	2.348.843	19,2	3.518.595	7,7	7.453.902	13,7	21.031	-0,5	13.342.371	12,9
2008	2.672.288	13,8	3.932.413	11,8	8.073.521	8,3	23.171	10,2	14.701.393	10,2
2009	2.926.733	9,5	4.058.359	3,2	7.567.596	-6,3	28.988	25,1	14.581.676	-0,8
2010	2.930.562	0,1	4.123.150	1,6	7.506.443	-0,8	28.300	-2,4	14.588.455	0,0
2011	2.762.385	-5,7	4.002.024	-2,9	7.396.369	-1,5	23.517	-16,9	14.184.295	-2,8

<sup>(1)</sup> A partir de 2002, ruptura de la serie por cambio metodológico (incluye I+D continua y ocasional).  
Fuente: INE, Estadística sobre actividades de I+D.

**Tabla 10. Gastos internos totales en actividades de I+D por sector de ejecución. 2000-2011.**

En la tabla 10 se observa lo que ya se ha comentado anterior mente. La inversión en I+D aumento desde el años 2000 hasta el 2008 – 2009 cuando empezó a decrecer. En la tabla se puede ver como los sectores que más invierten en I+D son las empresas seguidas de la enseñanza superior, sectores clave que determinaran en gran medida la demanda de la instalación objeto de este estudio.





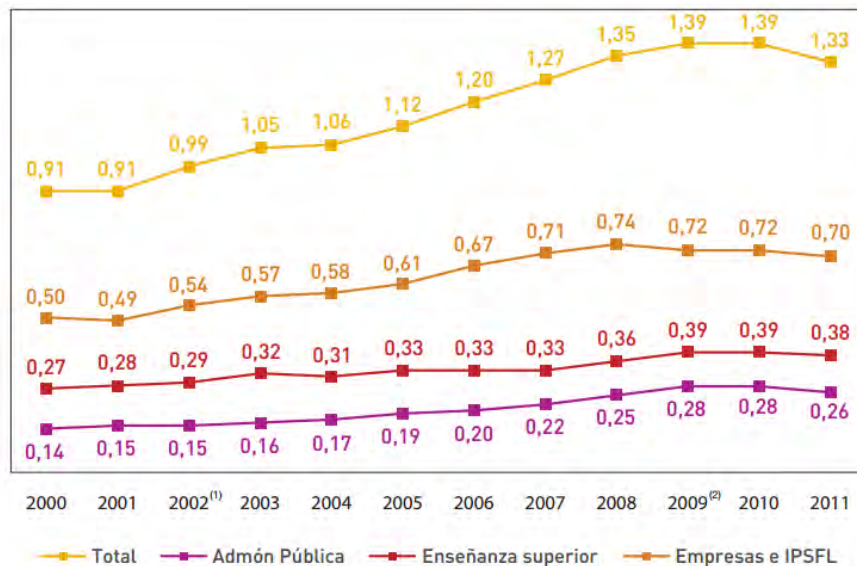
# UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)

INGENIERO EN ORGANIZACIÓN INDUSTRIAL

## Gastos internos totales en actividades de I+D por sector de ejecución. 2000-2011

En porcentaje del PIB



<sup>(1)</sup> A partir de 2002, ruptura de la serie por cambio metodológico (incluye I+D continua y ocasional).

<sup>(2)</sup> Desde el año 2009, PIB base 2008.

Fuente: INE, Estadística sobre actividades de I+D.

**Gráfico 9. Gastos internos totales en actividades de I+D por sector de ejecución. 2000-2011.**

Como se ha comentado en el punto anterior, las empresas y la enseñanza superior son las que más invierten en I+D y por ello son los sectores que más porcentaje en relación con el PIB representan. La variación de la inversión por parte de estos actores se ha mantenido ligeramente constante en el caso de la enseñanza superior y en el caso de las empresas con una ligera tendencia creciente y una reducción de la inversión entorno a los primeros años de la actual crisis económica.



# UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)

INGENIERO EN ORGANIZACIÓN INDUSTRIAL

## Gastos internos corrientes en I+D por tipo de investigación. 2000-2011

Miles de euros corrientes y tasas de variación anual (%)

Años	Investigación básica	Variación %	Investigación aplicada	Variación %	Desarrollo tecnológico	Variación %	Total	Variación %
2000	954.667		1.709.564		2.000.397		4.664.629	
2001	997.413	4,5	1.910.373	11,7	2.021.014	1,0	4.928.800	5,7
2002 <sup>(1)</sup>	1.103.804	10,7	2.348.319	22,9	2.498.895	23,6	5.951.021	20,7
2003	1.605.253	45,4	2.703.218	15,1	2.390.886	-4,3	6.699.356	12,6
2004	1.675.264	4,4	2.900.030	7,3	2.817.312	17,8	7.392.606	10,3
2005	1.794.766	7,1	3.470.510	19,7	3.138.461	11,4	8.403.736	13,7
2006	1.838.630	2,4	4.152.421	19,6	3.614.096	15,2	9.605.147	14,3
2007	2.186.658	18,9	4.727.181	13,8	3.932.292	8,8	10.846.132	12,9
2008	2.508.078	14,7	5.196.233	9,9	4.303.503	9,4	12.007.813	10,7
2009	2.814.511	12,2	5.228.623	0,6	4.557.384	5,9	12.600.518	4,9
2010	2.834.310	0,7	5.409.877	3,5	4.480.028	-1,7	12.724.215	1,0
2011	2.843.504	0,3	5.178.705	-4,3	4.410.486	-1,6	12.432.696	-2,3

<sup>(1)</sup> A partir de 2002, ruptura de la serie por cambio metodológico (incluye I+D continua y ocasional).

Nota: No se incluyen los gastos de capital.

Fuente: INE, Estadística sobre actividades de I+D y elaboración propia.

**Tabla 11. Gastos internos corrientes en I+D por tipo de investigación. 2000-2011.**

La mayor inversión se realiza en desarrollo tecnológico seguido de la investigación aplicada y en último lugar la investigación básica. Nuestra instalación debido a su versatilidad puede ser utilizada en estas tres áreas siendo de las tres, la más importante la investigación básica y la investigación aplicada pero también es posible su utilización para el desarrollo tecnológico donde ciertas aplicaciones y líneas de investigación del acelerador de partículas objeto de estudio tienen un gran impacto.

Por todo ello se puede estimar en más de 8 millones de euros (2011) la inversión en áreas de vital interés para la instalación que aquí se presenta.



# UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS

## ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)

### INGENIERO EN ORGANIZACIÓN INDUSTRIAL

#### Empresas con actividades de innovación tecnológica por ramas de actividad y tamaño de la empresa. 2011

Ramas de actividad	Nº de empresas con actividades de innovación tecnológica			% Sobre el total empresas			Ramas de actividad	Nº de empresas con actividades de innovación tecnológica			% Sobre el total empresas		
	< 250	250 y más	Total	< 250	250 y más	Total		< 250	250 y más	Total	< 250	250 y más	Total
AGRICULTURA, GANADERÍA, SILVICULTURA Y PESCA	466	18	484	2	1	2	Energía y agua	90	29	119	0	2	1
Industrias extractivas y del petróleo	-	-	92	-	-	0	Saneamiento, gestión de residuos y descontaminación	141	14	155	1	1	1
Alimentación, bebidas y tabaco	1.360	142	1.501	7	9	7	Construcción	1.489	77	1.566	8	5	8
Textil, confección, cuero y calzado	454	17	471	2	1	2	<b>TOTAL INDUSTRIA</b>	<b>7.406</b>	<b>677</b>	<b>8.083</b>	<b>39</b>	<b>45</b>	<b>39</b>
Madera, papel y artes gráficas	543	28	571	3	2	3	Comercio	2.946	112	3.059	16	7	15
Química	605	45	650	3	3	3	Transportes y almacenamiento	807	79	886	4	5	4
Farmacia	114	55	169	1	4	1	Hostelería	440	27	467	2	2	2
Caucho y plásticos	440	31	471	2	2	2	Información y comunicaciones	1.435	109	1.544	8	7	8
Productos minerales no metálicos diversos	383	32	414	2	2	2	Actividades financieras y de seguros	289	89	378	2	6	2
Metalurgia	133	39	172	1	3	1	Actividades inmobiliarias	77	3	80	0	0	0
Manufacturas metálicas	888	35	923	5	2	5	Actividades profesionales, científicas y técnicas	1.971	101	2.072	10	7	10
Productos informáticos, electrónicos y ópticos	288	20	308	2	1	2	Actividades administrativas y servicios auxiliares	426	81	507	2	5	2
Material y equipo eléctrico	274	31	305	1	2	1	Actividades sanitarias y de servicios sociales	926	106	1.032	5	7	5
Otra maquinaria y equipo	730	37	767	4	2	4	Actividades artísticas, recreativas y de entretenimiento	117	11	127	1	1	1
Vehículos de motor	236	77	313	1	5	2	Otros servicios	188	14	202	1	1	1
Otro material de transporte	106	20	126	1	1	1	<b>TOTAL SERVICIOS</b>	<b>9.622</b>	<b>731</b>	<b>10.353</b>	<b>51</b>	<b>49</b>	<b>51</b>
Muebles	223	8	231	1	1	1	<b>TOTAL EMPRESAS</b>	<b>18.983</b>	<b>1.504</b>	<b>20.487</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>
Otras actividades de fabricación	174	8	182	1	1	1							
Reparación e instalación de maquinaria y equipo	-	-	147	-	-	1							

Notas: (I) "-" Dato no disponible; (II) Tamaño de empresa por número de empleados.  
Fuente: INE, Encuesta sobre Innovación en las Empresas.

**Tabla 12. Empresas con actividades de innovación tecnológica por ramas de actividad y tamaño de la empresa. 2011.**

En la tabla anterior se puede ver una clasificación de las empresas españolas por rama de actividad y el número de empresas que dentro de cada rama de actividad realizan actividades de I+D y el porcentaje que representan estas empresas sobre el total de empresas.

Por lo tanto, esta tabla nos indica el posible número de empresa que pueden estar interesadas en el acelerador Tandem de 6 MV y a las cuales se deberían ofrecer nuestros servicios. Como resumen se puede decir que más de 38.000 empresas del ámbito nacional pueden ser clientes potenciales de la instalación que se presenta.





**Gastos totales en innovación por tipo de actividad innovadora y tamaño de la empresa. 2005-2011**

	Nº empleados	Gastos totales en innovación (miles de €)	Tipo de actividad (en % sobre el total)						
			Gastos internos en I+D	Gastos externos en I+D	Adquisición de maquinaria, equipos y hardware o software avanzados	Adquisición de otros conocimientos externos para innovación	Gastos en diseño <sup>(1)</sup>	Gastos en formación para actividades de innovación	Introducción de innovaciones en el mercado
2005	< 250	5.502.355	41,97	13,48	35,70	0,90	1,59	0,94	5,41
	250 y más	8.133.595	36,88	19,85	26,75	5,76	4,00	0,66	6,09
	<b>Total</b>	<b>13.635.950</b>	<b>38,93</b>	<b>17,28</b>	<b>30,37</b>	<b>3,80</b>	<b>3,03</b>	<b>0,77</b>	<b>5,82</b>
2006	< 250	6.603.555	46,01	13,34	30,89	1,16	1,97	0,81	5,83
	250 y más	9.929.861	33,79	16,22	32,00	8,46	3,01	1,03	5,49
	<b>Total</b>	<b>16.533.416</b>	<b>38,67</b>	<b>15,07</b>	<b>31,56</b>	<b>5,54</b>	<b>2,59</b>	<b>0,94</b>	<b>5,63</b>
2007	< 250	8.079.286	46,52	13,4	30,45	1,4	2,16	0,87	5,2
	250 y más	10.015.330	33,99	17,1	32,43	8,06	3,49	0,75	4,18
	<b>Total</b>	<b>18.094.616</b>	<b>39,58</b>	<b>15,45</b>	<b>31,55</b>	<b>5,09</b>	<b>2,89</b>	<b>0,80</b>	<b>4,64</b>
2008	< 250	8.616.998	48,38	12,43	27,31	0,52	3,38	0,82	7,17
	250 y más	11.301.948	32,61	14,81	34,01	8,5	3,71	1,06	5,31
	<b>Total</b>	<b>19.918.946</b>	<b>39,43</b>	<b>13,78</b>	<b>31,11</b>	<b>5,04</b>	<b>3,57</b>	<b>0,96</b>	<b>6,11</b>
2009	< 250	7.075.251	50,43	12,53	27,88	0,93	3,03	0,50	4,70
	250 y más	10.561.372	35,01	15,97	31,58	7,52	3,36	0,53	6,04
	<b>Total</b>	<b>17.636.624</b>	<b>41,19</b>	<b>14,59</b>	<b>30,10</b>	<b>4,87</b>	<b>3,23</b>	<b>0,52</b>	<b>5,50</b>
2010	< 250	6.302.302	54,69	11,9	25,15	0,65	2,89	1,14	3,58
	250 y más	9.868.916	37,89	21,57	25,01	6,43	3,45	0,58	5,07
	<b>Total</b>	<b>16.171.218</b>	<b>44,44</b>	<b>17,8</b>	<b>25,07</b>	<b>4,17</b>	<b>3,23</b>	<b>0,80</b>	<b>4,49</b>
2011	< 250	5.531.649	57,71	12,77	22,70	0,88	1,73	0,89	3,33
	250 y más	9.224.158	41,29	25,23	18,65	6,4	4,45	0,59	3,39
	<b>Total</b>	<b>14.755.807</b>	<b>47,44</b>	<b>20,56</b>	<b>20,16</b>	<b>4,33</b>	<b>3,43</b>	<b>0,70</b>	<b>3,37</b>

<sup>(1)</sup> Incluye otros preparativos para la producción y/o distribución.  
 Nota: A partir de 2006 se incluye la rama de agricultura, ganadería, caza, silvicultura y pesca.  
 Fuente: INE, Encuesta sobre Innovación en las Empresas.

**Tabla 13. Gastos totales en innovación por tipo de actividad innovadora y tamaño de la empresa. 2005-2011.**

En la tabla se observa como en 2011 el 20,56% de la inversión en I+D se realizó de forma externa a la empresa. Este dato da una idea del porcentaje del presupuesto con el que cuentan las empresas para programas en I+D y que pueden ser interesantes para el citado acelerador de partículas que se presenta.

**5.2.3 EL MERCADO DE LOS SEMICONDUCTORES**

Dentro de las capacidades con las que cuenta la instalación para el estudio de la ciencia de materiales, se encuentra la de semiconductores que representa la aplicación más importante en cuanto a volumen de negocio, por ello es un punto muy relevante a la hora de realizar el estudio de mercado.

**5.2.3.1 Características del mercado de los semiconductores**

De la gran diversidad de componentes utilizados por la industria electrónica en sus etapas finales, los semiconductores constituyen el grupo de mayor relevancia debido a su



# UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)

INGENIERO EN ORGANIZACIÓN INDUSTRIAL

---

peso relativo, no sólo en valor (43,7% de las ventas mundiales de componentes corresponden a semiconductores) sino también por su dinámica tecnológica.

Desde el punto de vista funcional puede decirse que los semiconductores son el “corazón” de cualquier equipo electrónico. El valor de los semiconductores contenidos en los sistemas supera en promedio el 20% y presenta una tendencia creciente (gráfico 9.).

En la literatura económica y de negocios se utiliza el término semiconductores para referirse a una familia de dispositivos (transistores, diodos, circuitos integrados, etc.), contruidos a partir de materiales semiconductores (principalmente silicio, pero también germanio, arseniuro de galio, carburo de silicio, fosfuro de indio, nitruro de galio, etc.) que constituyen el núcleo de los sistemas electrónicos modernos. Los semiconductores son componentes “activos” de los circuitos, a diferencia de otros componentes denominados “pasivos” como las resistencias, capacitores, circuitos impresos, conectores, etc. Los dispositivos semiconductores pueden presentarse como elementos individuales (discretos) o bajo la forma de circuitos (circuitos integrados o “chips”).

La fabricación de circuitos integrados se realiza con un alto grado de automatización que permite una elevada productividad con la precisión requerida. Las etapas finales de encapsulado, en cambio, requieren mayor intervención humana directa. La inversión necesaria para los procesos más avanzados se encuentra en el orden de varios miles de millones de US\$. Por tal razón la adopción de las tecnologías más avanzadas se realiza a un ritmo más lento de lo que podría pensarse de una industria tan dinámica. Mientras algunos segmentos como los microprocesadores y memorias utilizan las tecnologías de niveles más avanzados, otros como por ejemplo los analógicos requieren en promedio menores niveles de miniaturización y por lo tanto tamaños mínimos característicos no tan exigentes.

La industria de los semiconductores está formada básicamente por tres tipos de empresas:

- Productores integrados (IDM5) que diseñan, fabrican y venden sus circuitos integrados, como Intel, Samsung y ST Microelectronics.
- Empresas sin fábrica o “fables”, que diseñan y venden los circuitos y tercerizan su fabricación, como Qualcomm, NVIDIA y AMD.
- Fabricantes por cuenta de terceros o “foundries”, que manufacturan integrados diseñados por sus clientes, como TSMC y UMC.

Existen además empresas que venden sus diseños a fabricantes de circuitos integrados a cambio del pago de una licencia y de una participación en las ventas o “royalty”.

En la Ilustración 36. se presenta un esquema de la cadena de valor mundial de los semiconductores. Nótese que la fabricación se encuentra subdividida en dos actividades:



# UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)

INGENIERO EN ORGANIZACIÓN INDUSTRIAL

“front-end” que implica la transformación de la oblea de silicio en el “die”, el circuito de silicio que una vez encapsulado será un circuito integrado; y el “back-end” que comprende básicamente la colocación de las conexiones, el encapsulado y el testeo de los chips terminados.

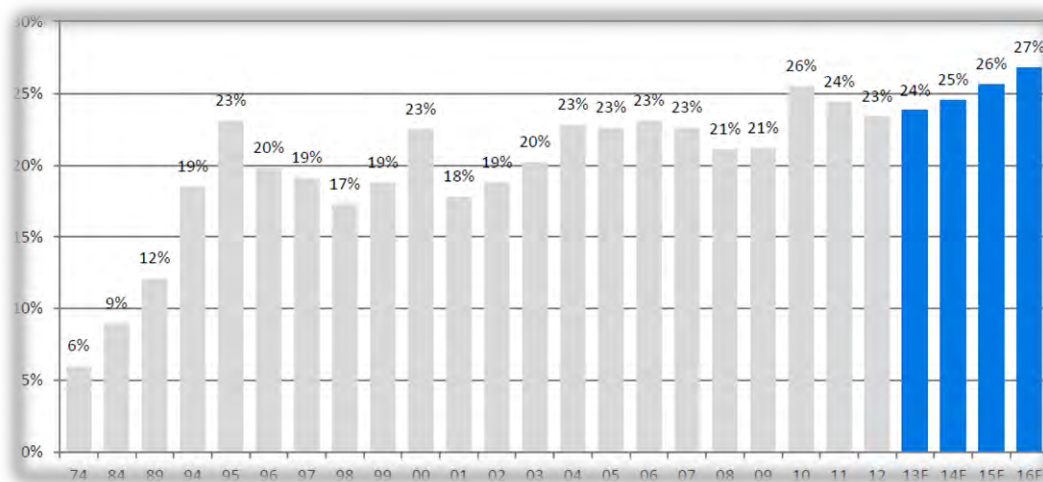


Gráfico 10. Contenido de semiconductores en sistemas electrónicos (en valor). Años 2013 en adelante: cifras proyectadas. Fuente: IC Insights.

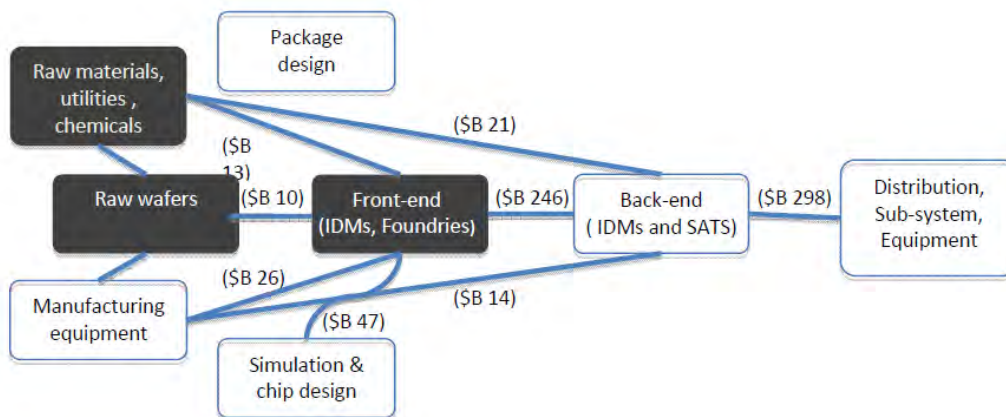


Ilustración 39. Cadena de valor mundial de los semiconductores. Año 2010, incluye ventas internas.

Fuente: Millard et al. 2012.

NOTA: \$ B corresponde a miles de millones de dólares estadounidenses.

El mercado de semiconductores lleva muchos años de crecimiento sostenido a altas tasas y se espera que continúe de la misma manera impulsado por aplicaciones tradicionales que hacen un uso cada vez más intensivo de la tecnología electrónica (comunicaciones, consumo, procesamiento de datos) así como otras que se encuentran en etapas preliminares



# UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)

INGENIERO EN ORGANIZACIÓN INDUSTRIAL

como trazabilidad de productos, tarjetas inteligentes, monitoreo en línea de pacientes, conducción automática de vehículos, etc. (gráfico 10.). En la literatura de negocios actual se habla de “internet de las cosas”, que se refiere a la tendencia hacia la intercomunicación a través de internet de miríadas de equipos, desde maquinaria industrial y bienes de consumo hasta la infraestructura de servicios. Cisco, una de las mayores empresas fabricantes de equipos para redes, pronostica que en 2015 habrá 25 mil millones de dispositivos conectados a internet y en 2020 esa cifra se elevará a 50 mil millones (Cisco, 2013). El mercado de la computación personal y el de la telefonía móvil se encuentran limitados por el número de habitantes de la Tierra, pero las cosas, mucho más numerosas que la gente, presentan un escenario de crecimiento mucho más amplio. De allí el interés que despierta en los mayores fabricantes de integrados del mundo el mercado de los sistemas embebidos, es decir sistemas electrónicos, eventualmente compuestos por un único chip, que forman parte de sistemas mecánicos, eléctricos, químicos, etc. de mayor tamaño, como electrodomésticos, automóviles y maquinarias del más diverso tipo.



Gráfico 11. . Ventas mundiales de semiconductores. Años 2013 en adelante proyectados.

*Fuente: IC Insights.*

Las actividades de “front-end” se encuentran fuertemente concentradas en empresas pertenecientes a países de América del Norte, el Este de Asia y Europa, principalmente Estados Unidos, Japón, Taiwán, Corea del Sur, China, Alemania, Francia, Países Bajos e Italia. Las de





# UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)

INGENIERO EN ORGANIZACIÓN INDUSTRIAL

“back-end”, en cambio, presentan una mayor dispersión y se afincan en un conjunto más amplio de países entre los que se cuentan China, Taiwán, Singapur, Malasia, y Filipinas.

El mercado “fables” alcanzó en 2011 los US\$ 65 mil millones y se encuentra dominado por empresas de Estados Unidos (Tabla 16.). En cambio, la mayoría de las “foundries” que manejan el estado del arte actual se encuentran en Asia. Entre las mayores empresas sólo fundidoras (“pure-play foundries”) se encuentran TSMC y UMC (ambas de Taiwán), Chartered Semiconductor (Singapur) y Tower Semiconductor (Israel) y entre las más nuevas Anam (Corea del Sur) y WSMC (Taiwán). En 2012 TSMC resultó tercera en el ranking mundial de ventas de semiconductores. Para el funcionamiento de este esquema resulta esencial el compromiso de confidencialidad que asume la “foundry” sobre los detalles de diseño de los dispositivos que fabrica.

2011 Rank	2010 Rank	2009 Rank	Company	Headquarters	2009 (\$M)	2010 (\$M)	% Change	2011 (\$M)	% Change
1	1	1	Qualcomm	U.S.	6,409	7,204	12%	9,910	38%
2	2	3	Broadcom	U.S.	4,271	6,589	54%	7,160	9%
3	3	2	AMD	U.S.	5,403	6,494	20%	6,568	1%
4	6	5	Nvidia	U.S.	3,151	3,575	13%	3,939	10%
5	4	6	Marvell	U.S.	2,690	3,592	34%	3,445	-4%
6	5	4	MediaTek	Taiwan	3,500	3,590	3%	2,969	-17%
7	7	7	Xilinx	U.S.	1,699	2,311	36%	2,269	-2%
8	8	10	Altera	U.S.	1,196	1,954	63%	2,064	6%
9	9	8	LSI Corp.	U.S.	1,422	1,616	14%	2,042	26%
10	10	11	Avago	Singapore	858	1,187	38%	1,341	13%
11	13	12	MStar	Taiwan	838	1,065	27%	1,220	15%
12	11	13	Novatek	Taiwan	819	1,149	40%	1,198	4%
13	15	16	CSR	Europe	601	801	33%	845	5%
14	12	9	ST-Ericsson*	Europe	1,263	1,146	-9%	825	-28%
15	16	15	Realtek	Taiwan	615	706	15%	742	5%
16	17	17	HiSilicon	China	572	652	14%	710	9%
17	27	67	Spreadtrum	China	105	346	230%	674	95%
18	19	19	PMC-Sierra	U.S.	496	635	28%	654	3%
19	18	14	Himax	Taiwan	693	643	-7%	633	-2%
20	21	—	Lantiq	Europe	0	550	N/A	540	-2%
21	33	30	Dialog	Europe	218	297	36%	527	77%
22	22	21	Silicon Labs	U.S.	441	494	12%	492	0%
23	29	20	MegaChips	Japan	445	337	-24%	456	35%
24	23	24	Semtech	U.S.	254	403	59%	438	9%
25	24	23	SMSC	U.S.	283	397	40%	415	5%
<b>Top 25 Total</b>					<b>38,242</b>	<b>47,733</b>	<b>25%</b>	<b>52,076</b>	<b>9%</b>
<b>Non-Top 25 Fables</b>					<b>11,091</b>	<b>14,781</b>	<b>33%</b>	<b>12,811</b>	<b>-13%</b>
<b>Total Fables</b>					<b>49,333</b>	<b>62,514</b>	<b>27%</b>	<b>64,887</b>	<b>4%</b>

\*Represents the 50% share not accounted for by ST.

Fuente: IC Insights.

Tabla 14. Principales empresas “fables” del mercado mundial. Año 2013.

Existen además “foundries” de tamaño reducido que abastecen al mercado de productos menos masivos o diferenciados (“specialties”). La oferta de las “specialty foundries” se concentra en procesos distintos al CMOS7 y abarca un amplio espectro en el que se



# UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)

INGENIERO EN ORGANIZACIÓN INDUSTRIAL

---

encuentran por ejemplo los integrados analógicos y de señal mixta para clientes del sector de la automoción y de comunicaciones. En algunos productos como amplificadores de potencia para altas tensiones o integrados especializados en radiofrecuencia, las prestaciones son superiores si se obtienen con los métodos menos costosos y más antiguos. Se trata de un sector conformado por empresas de dimensiones relativamente modestas (ventas que rara vez superan los 100 millones de US\$ al año) en el que la competencia está regida más por calidad que por precio (Arensman, 2005).

El coste de desarrollo de circuitos integrados ha crecido exponencialmente en los últimos años, reflejando el incremento en la complejidad y número de los requerimientos a satisfacer por los diseñadores, impuestos por niveles crecientes de integración. Los costos de diseño superan ampliamente los de fabricación de “chips”. La justificación de estos altos costos de desarrollo requiere la venta de un número de unidades muy elevado que no siempre es posible alcanzar. A su vez, los cortos ciclos de vida de los productos finales acortan los tiempos disponibles para el desarrollo de nuevos dispositivos y la posibilidad de llegar a los niveles de producción requeridos para repagar las inversiones.

Las cuestiones señaladas están modificando los criterios de diseño actuales respecto de los utilizados hace unos años. En las nuevas circunstancias, se hace cada vez más difícil justificar el desarrollo completo de nuevos integrados a la medida de los clientes (ASICs) y a la vez aprovechar las tecnologías de proceso más avanzadas. De esta forma muchos diseños nuevos no utilizan esas tecnologías por razones de costo. Por las mismas razones, se hace mayor uso del “software embebido”, de ASICs estructurados<sup>8</sup> y de circuitos lógicos programables del tipo FPGA.

El diseño de los circuitos integrados puede concretarse dentro de una empresa integrada o por empresas especializadas en esta etapa de la cadena de valor de los semiconductores. El diseño requiere una inversión en capital fijo pequeña en comparación con las otras etapas (front-end y back-end). Los recursos principales son estaciones de trabajo, software especializado (EDA<sup>9</sup>) y personal calificado. Sin embargo, el desarrollo de un “chip” implica una inversión considerable, ya que deben adelantarse los recursos necesarios para solventar el trabajo de los ingenieros. La parte del mercado de diseño de circuitos integrados atendido por firmas especializadas ha crecido considerablemente en los últimos años. Las principales se concentran en Estados Unidos y Taiwán, China e India. En menor medida se encuentran en Europa e Israel. Las empresas especializadas en diseño pueden cumplir la función de integrar bloques provistos por otras empresas y ajustar el diseño general a las necesidades del cliente.

Otra función posible es la de desarrollar bloques de circuitos especializados por encargo de la empresa “integradora” reteniendo la propiedad intelectual sobre los diseños (firmas IP). El mercado IP, con una dimensión que supera 2.000 millones de US\$ (2012), se encuentra en franca expansión. Por ejemplo ARM, una empresa IP, ha cobrado gran notoriedad en los últimos años gracias a su hegemonía en el mercado de los procesadores para



# UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)

INGENIERO EN ORGANIZACIÓN INDUSTRIAL

---

telefonía móvil. El crecimiento de las actividades “fables” e IP se vinculan fuertemente con la tendencia a integrar varios módulos en un mismo “chip”. Conocida en la jerga como “system on a chip” o por su sigla SOC, esta configuración permite reducir costes de producción, reducir el tamaño y dificultar la copia del sistema por parte de la competencia, las fuerzas impulsoras de la integración de los circuitos, desde los tiempos de los transistores discretos.

Debido a la creciente complejidad de la tarea, el diseño de un circuito integrado específico ya no es manejado exclusivamente por una empresa sino que un conjunto de empresas están involucradas y aportan en sus segmentos de especialidad. Se ha generado así una red de diseño transnacional que vincula distintas empresas de diseño, licenciarios de derechos de propiedad de bloques funcionales (IP), proveedores del servicio de diseño, “foundries”, proveedores de programas de diseño, departamentos de diseño de grandes empresas fabricantes de sistemas electrónicos con marca propia, etc. Todos ellos contribuyen en alguna medida a la solución final (Trends, 2007).

### **5.2.3.2 I + D en semiconductores**

Más que cualquier otra industria, el negocio de los semiconductores se define por el rápido cambio tecnológico. Como resultado, un nivel constante y elevado de la inversión en I + D es esencial para la competitividad de los proveedores de semiconductores.

La Tabla 15. muestra la clasificación 2013 de IC Insights de las compañías de semiconductores por el gasto de I + D. Intel continúa liderando frente al resto de empresas de primer orden en el gasto de I + D en 2013 que representó el 37% del gasto entre las 10 principales empresas y el 19% del gasto total de I + D en semiconductores a nivel mundial. El I + D de Intel fue 3 veces superior al de Qualcomm que ocupa el segundo lugar y que muestra un fuerte aumento del 28% en el gasto en I + D en el año 2013 y se consolidó en la posición como la segunda mayor empresa en inversión en investigación y desarrollo, liderazgo que obtuvo por primera vez en 2012. Samsung ocupó el tercer lugar. El presupuesto de I + D se ha mantenido relativamente estable en \$ 2.8 mil millones desde 2011.

Dos de las más grandes de la industria -Intel y Samsung- seguirá haciendo hincapié en la capacidad de producción interna de circuitos integrados avanzados en fábricas de obleas de vanguardia. Sin embargo, el gasto en programas de los dos gigantes del IC de I + D ha estado creciendo a un ritmo diferente en los últimos años, en parte debido a la capacidad de Samsung para sujetar algunos costos al participar en la Plataforma Común alianza desarrollo conjunto de IBM, que también incluye GlobalFoundries como un socio de investigación y desarrollo. La alianza de IBM ha ayudado a Samsung para mantener sus actividades de I + D a las ventas proporción inferior al 10% en los últimos años.





# UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS

## ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)

### INGENIERO EN ORGANIZACIÓN INDUSTRIAL

Mientras tanto, Intel-el pionero de la industria en muchas tecnologías tuvo un gasto en I + D salto del 22% de sus ventas de semiconductores en 2013, en comparación con 21% en 2012 y 17% en 2011. En I + D de la compañía alcanzó un récord de 10,6 mil millones dólares en 2013, pero fue sólo un 5% por encima de 2012 el gasto.

2013 Rank	2012 Rank	Company	Region/Country	Type	2012 Sales (\$M)	2012 R&D (\$M)	R&D/Sales	2013 Sales (\$M)	2013 R&D (\$M)	R&D/Sales	13/12 R&D
1	1	Intel	Americas	IDM	49,114	10,148	21%	48,321	10,611	22%	5%
2	3	Qualcomm	Americas	Fabless	13,177	2,655	20%	17,211	3,395	20%	28%
3	2	Samsung	South Korea	IDM	32,251	2,765	9%	34,378	2,820	8%	2%
4	5	Broadcom	Americas	Fabless	7,793	2,318	30%	8,219	2,486	30%	7%
5	4	ST	Europe	IDM	8,364	2,413	29%	8,044	1,816	23%	-25%
7	9	TSMC	Taiwan	Foundry	16,951	1,370	8%	19,850	1,623	8%	18%
6	8	Toshiba	Japan	IDM	11,217	1,710	15%	11,958	1,560	13%	-9%
8	7	TI	Americas	IDM	12,081	1,877	16%	11,475	1,522	13%	-19%
9	13	Micron	Americas	IDM	8,002	909	11%	14,433	1,487	10%	64%
10	6	Renesas	Japan	IDM	9,314	1,901	20%	7,975	1,343	17%	-29%
—	—	<b>Top 10 Total</b>	—		<b>168,264</b>	<b>28,066</b>	<b>16.7%</b>	<b>181,864</b>	<b>28,663</b>	<b>15.8%</b>	<b>2%</b>

Source: Company reports, IC Insights

**Tabla 15. Clasificación 2013 de IC Insights de las compañías de semiconductores por el gasto de I + D.**

Otro hecho interesante sobre el ranking de gasto en I + D es que las 10 empresas gastan casi un punto porcentual menos en I + D como porcentaje de las ventas de semiconductores que el promedio de todas las empresas de primera línea en el año 2013 (15,8% versus 16,7%). Esa es la primera vez que la relación I + D / ventas de las top-10 se situó en una tasa inferior a la tasa global de la industria desde IC Insights comenzaron a reportar las tendencias detallada de investigación Semiconductores en 2005. El gasto total en I + D por parte del top 10 superó el gasto total por el resto de las compañías de semiconductores (28.7 mil millones dólares en comparación con \$ 26.0 millones de dólares) en 2013, algo que no ha dejado de ser cierto desde 2005 y probablemente mucho antes de eso.

Cinco de las diez principales empresas tienen su sede en los EE.UU., mientras que dos se encuentran en Japón, dos en la región de Asia-Pacífico, y uno en Europa. Dos de las diez, Qualcomm y Broadcom son empresas de semiconductores sin fábrica.

Un resultado de la creciente tendencia sin fábrica y fab-lite es que, en 2010, por primera vez en la historia, una fundición de pure-play se unió al grupo de los primeros 10 semiconductor gastan en I + D. TSMC, el mayor de la fundición de la industria, el aumento de



# UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)

INGENIERO EN ORGANIZACIÓN INDUSTRIAL

---

su actividad de I + D de pasar un considerable 44% en 2010, moviéndose entre el 18 y el 10º lugar en el ranking de I + D en un año. En I + D de la compañía ha seguido aumentando desde entonces con 2013 I + D crece un 18% hasta alcanzar un poco más de 1,6 millones de dólares.

## 5.2.4 EL MERCADO DE LA BIOMEDICINA

---

El sector de la biotecnología y la biomedicina y los diferentes ámbitos de actividad que lo conforman, como las tecnologías médicas, están caracterizados por una composición multidisciplinar de sus conocimientos y un elevadísimo nivel de capacitación formativa en cuanto a los recursos humanos.

Los principales ámbitos de actividad de la biotecnología son el agroalimentario, el de la salud, que contempla la industria biofarmacéutica, la investigación en biomedicina y las tecnologías médicas; y el de la producción y biotecnología industrial, que abarca las actividades que generan productos y procesos industriales más eficientes y energías más limpias y sostenibles. [ABBB13]

### 5.2.4.1 Resumen económico

En 2010 la facturación de las compañías españolas del sector biotecnológico superó los 60.121 millones de euros, lo que supone un incremento del 11% respecto al año anterior. La cantidad facturada por estas empresas supone el 5,73% del total del PIB español. El gasto en I + D en biotecnología superó los 568 millones de euros en el año 2010, lo que supuso un incremento de aproximadamente el 11% respecto al año anterior. [ABBB13]

En cuanto a los datos más relevantes en relación con la biomedicina son:

- 1.715 empresas desarrollan actividades relacionadas con la biomedicina (incremento anual de 12,8%)
- En 2010, 969 empresas españolas realizaron actividades de I + D en biomedicina (incremento del 13% respecto al año 2009)
- El gasto en I + D superó los 568 M€ en 2010 (incremento 11% respecto al 2009)
- El 85% de las empresas de I + D establece colaboraciones para realizar proyectos de investigación.



## UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)

INGENIERO EN ORGANIZACIÓN INDUSTRIAL

---

- La solicitud de patentes por parte de las empresas biomédicas se ha incrementado en un 17,3%

### **5.2.4.2 Proyección futura**

El futuro de la biotecnología y la biomedicina está marcado irremediamente por el cambio de modelo productivo en España, girando hacia una economía de alto valor añadido basada en el conocimiento y la I + D. Esto ha comportado numerosos esfuerzos públicos para crear una red empresarial, de universidades y de infraestructuras que revertirá en un fuerte desarrollo futuro del sector biotecnológico. El entramado biotecnológico, conformado ahora por pequeñas y medianas empresas, irá aumentando y aparecerán medianas y grandes.

### **5.2.4.3 Principales ámbitos de actividad del sector**

#### **Ámbito de la salud**

Este ámbito incluye la parcela de conocimiento que englobaría las siguientes disciplinas y sectores económicos: sector biofarmacéutico, de investigación biomédica y de tecnologías médicas.

#### **Industria biofarmacéutica**

La industria farmacéutica es un sector con una larga tradición de inversión en investigación y un elevado impacto económico, que en España se encuentra principalmente en Cataluña, donde se produce el 49,5% de todo el volumen de negocio de la industria farmacéutica española. Además, en el 2010 en Cataluña el sector farmacéutico empleaba en I+D a 4.576 personas.

Ahora bien, en los últimos años, la empresa farmacéutica se ha acercado a la biotecnología para sacar nuevas ideas terapéuticas que complementen la investigación propia. Así, la inversión de las empresas farmacéuticas en biotecnología fue de más de 190 millones de euros en el 2008.



# UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)

INGENIERO EN ORGANIZACIÓN INDUSTRIAL

---

## **Investigación en biomedicina**

La biomedicina engloba el conocimiento y la investigación comunes en los campos de la medicina y las ciencias biológicas, fundamentalmente aplicadas a la salud. La actividad en biomedicina está orientada principalmente a la investigación básica, principalmente en centros universitarios públicos y hospitales. Es decir, dentro de la I+D+i, se focalizan en la investigación, aunque a menudo pueden incidir en la innovación de procesos y nuevas tecnologías, y no tanto en el desarrollo de nuevos productos.

El gasto español en I+D de las empresas biotecnológicas del Estado español se estimaba en 793 millones de euros en 2009, con un incremento del 11,5% respecto el 2008 (INE Biotec 2009).

El colectivo de investigadores/as en España dedicados a la biotecnología era de 13.708 personas (2009), de las que un 53,6% eran mujeres. Un 22,9% de los investigadores/as trabaja en el sector privado. (INE Biotec 2009).

## **Tecnologías médicas**

El concepto tecnología médica comprende un amplio abanico de áreas y especialidades en el que se entrelaza, además, la biotecnología. Podríamos definir el ámbito de las tecmed, tal y como por lo común se nombra a las tecnologías médicas, como aquel conformado por dispositivos médicos herramientas para desarrollar la telemedicina o e-health, pruebas diagnósticas biotecnológicas y otros que afectan al tratamiento, diagnóstico, investigación y praxis clínica y médica.

El mercado global se estima que produce un volumen de negocio de 187.000 millones de euros, del cual los Estados Unidos concentran el 42% y Europa el 33%, con una tasa de crecimiento anual del 5%. Cataluña representa el 40% del mercado español, con un volumen de negocio de unos 1.200 millones de euros.

Las principales características que definen este sector son el crecimiento sostenido durante los últimos años, una alta rentabilidad y un ritmo de innovación muy elevado. Habitualmente, el tiempo de llegada al mercado de un producto es de entre tres y cinco años y las inversiones entre uno y cinco millones de euros.

Según Eucomed, en Europa hay más de 11.000 entidades legales que se dedican a la tecnología médica, las cuales suponen unos 435.000 puestos de trabajo globales. Este sector es punto de encuentro para profesionales provenientes de formaciones muy diferentes, que colaboran con profesionales del mundo de la salud para desarrollar productos innovadores. [ABBB13]



# UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)

INGENIERO EN ORGANIZACIÓN INDUSTRIAL

---

## **Producción y biotecnología industrial**

El sector de la biotecnología comprende desde el biorefinado de materiales orgánicos para obtener combustibles, los llamados biocombustibles, hasta la obtención de biodetergentes no contaminantes, o la valorización de productos residuales de síntesis químicas u orgánicas.

El objetivo es conseguir productos y energías más limpias y duraderas y procesos más eficientes y sostenibles. Hay un gran potencial en este sector, en el que se crearán numerosas empresas en el futuro y, en consecuencia, un gran número de puestos de trabajo derivados en los próximos años. En España, solo el 12%7 de las empresas que se dedican a la biotecnología tienen aplicación en el ámbito industrial. No obstante, cada vez más está creciendo el interés por esta tecnología.

El impacto de la biotecnología industrial es creciente y las perspectivas de futuro se superan año tras año. Así, en el 2010 se llegará a una cifra de más de 80.000 millones de euros en producción biotecnológica de productos químicos, lo que supone un 10% del total de la producción química. [ABBB13]

### **5.2.4.4 Datos económicos**

- En el Estado español, un total de 1.715 empresas afirman que han desarrollado actividades relacionadas con la biotecnología (lo que supone un incremento anual de 12,8%). De éstas, 617 manifiestan que la biotecnología es su actividad principal y/o exclusiva (esta cifra representa un incremento anual de más del 30%). Por su parte, 209 empresas apuntan que la biotecnología es una línea de negocio secundaria, y 889 indican que la biotecnología es una herramienta necesaria para la producción.
- Cataluña es la comunidad autónoma con una mayor concentración de empresas que utilizan la biotecnología. Efectivamente, aproximadamente el 20% de las empresas españolas que utilizan biotecnología están ubicadas en Cataluña. Sin embargo, que si se toman en consideración sólo las empresas biotec, este porcentaje se reduce hasta el 15% (en este caso, la comunidad autónoma de Madrid supera a la catalana). En concreto, y según el estudio Bicat 2011, la BioRegión de Cataluña cuenta con 481 empresas, de las que 91 son biotecnológicas, 71 farmacéuticas, 106 de tecnologías médicas, 29 de química fina, 45 de alimentación y 9 de bioinformática.
- El año 2010 la facturación de las compañías españolas se incrementó un 11% respecto a 2009, superando el 60.121 millones de euros. Esta cantidad supone



# UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS

## ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)

### INGENIERO EN ORGANIZACIÓN INDUSTRIAL

---

el 5,73% del PIB español. Sin embargo, con estos niveles de facturación, no todas las empresas tienen beneficios.

- Aunque las empresas biotecnológicas catalanas representan el 20% del total estatal, su peso económico es proporcionalmente superior, ya que generaron una facturación total de unos 15.600 millones, lo que supone un 26% del total estatal.
- EEUU supone sólo el 10% del mercado para las empresas catalanas, cuando este país representa el 50% del mercado global farmacéutico, que se estima llegará a 1,1 billones de dólares en 2014.
- En cuanto a la distribución sectorial de las empresas con actividades tecnológicas, hay un predominio de las aplicaciones en el ámbito alimentario (53%) y de las asociadas a la salud humana (31%). Tienen un peso menos destacado los ámbitos de la agricultura y la producción forestal, las aplicaciones medioambientales y las a industriales. Si se toman en consideración sólo las empresas dedicadas exclusivamente a la biotecnología, la mayoría se orientan a la salud humana (54%) y también a la alimentación.
- El 2010, había 969 empresas españolas que realizaban actividades de I + D en biotecnología, lo que supone un incremento del 13% respecto al año 2009. El 58% de las empresas biotecnológicas catalanas centran su actividad en la I + D y sólo un tercio tienen actividades a lo largo de toda la cadena de valor.
- El gasto en I + D en biotecnología superó los 568 millones de euros en el año 2010, lo que supone un incremento de, aproximadamente, el 11% respecto al año anterior. En lo que respecta al origen de los fondos, cabe apuntar que se ha producido una reducción de los fondos propios y los procedentes de universidades, por el contrario, se han incrementado los fondos que proceden de las administraciones públicas (tanto españolas como de la UE). En cualquier caso, cabe apuntar que hay un mayor crecimiento de los fondos procedentes del extranjero (programas de la UE y de otros países) que los nacionales (fondos propios, de las administraciones públicas, de universidad, etc.).
- Un 13% de las empresas biotecnológicas han solicitado patentes biotecnológicas a lo largo del 2010. El número total de patentes solicitadas se ha elevado hasta 643, lo que supone un incremento del 17,3% respecto al año anterior.
- El 85% de las empresas de I + D establece colaboraciones para realizar proyectos de investigación. [ABBB13]





#### 5.2.5 EL MERCADO DEL PATRIMONIO CULTURAL: ARTE Y ARQUEOMETRÍA

---

El patrimonio cultural constituye indudablemente una fuente de riqueza y generación de empleo para diversos sectores. Directamente genera importantes actividades económicas relacionadas con su identificación, protección, conservación, restauración, gestión y puesta en valor.

Recogiendo algunos datos clave, según estadísticas de 2008 del Ministerio de Cultura, el PIB correspondiente a patrimonio, que incluye las actividades ligadas a la gestión y explotación de elementos del patrimonio cultural, tales como los monumentos históricos, los museos y los yacimientos arqueológicos, generada como consecuencia de su apertura al uso público, creció desde el año 2000 a un fuerte ritmo, con una tasa media de crecimiento anual del 13,3%, muy superior a la observada en el conjunto de la economía española, del 7,1%.

De manera directa, la conservación del patrimonio cultural da empleo a numerosos profesionales tanto en el sector público (museos, instituciones, centros de formación...) como en el sector privado (fundaciones, profesionales independientes, empresas especializadas en conservación de bienes muebles, empresas de la construcción que trabajan en la conservación de bienes inmuebles, empresas y laboratorios especializados en estudios o en productos y tecnologías para la conservación, etc.). [PNICPC]

##### 5.2.5.1 Inversión en I + D

Las inversiones en la investigación en conservación del patrimonio, no deben ser vistas, como tradicionalmente se ha hecho hasta ahora, a modo de una inversión que no genera beneficio, sino como una inversión a corto, medio y largo plazo, ligada a importantes sectores económicos, motor de desarrollo y empleo.

Por tanto, existe una gran interacción positiva entre investigación en conservación y crecimiento económico, de modo que se establece un ciclo en el que la investigación da lugar a una mejor conservación del patrimonio cultural, que a su vez, tiene un gran impacto en el crecimiento económico, que revierte de nuevo en un aumento de los recursos en investigación.

La conclusión de todo esto podría resumirse con una cita al El estudio llevado a cabo por la Fundación COTEC, que pone de manifiesto que *“La innovación en este sector [...] no es una opción para optimizar los recursos disponibles, sino una acuciante necesidad para hacer viable la correcta preservación de toda nuestra herencia cultural”*.



# UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)

INGENIERO EN ORGANIZACIÓN INDUSTRIAL



**Ilustración 40. Engranaje entre conservación, investigación y crecimiento económico.**

*Fuente: Instituto del Patrimonio cultural de España, Plan Nacional De Investigación En Conservación De Patrimonio Cultural*

En cuanto a la dotación económica con la que cuenta este sector para invertir en investigación, podemos afirmar los siguientes valores obtenidos del Plan Nacional de Investigación en Patrimonio (Tabla 16)

	ANUAL (€)	PERIODO DE EJECUCIÓN DEL PLAN (9 AÑOS) (€)
MINISTERIO DE CULTURA	1.000.000,00	9.000.000
MINISTERIO DE CIENCIA E INNOVACIÓN	1.000.000,00	9.000.000,00
COMUNIDADES AUTÓNOMAS	1.000.000,00	9.000.000,00
FONDOS PROCEDENTES DE LA UNIÓN EUROPEA	300.000,00	2.700.000,00
FUNDACIONES, ASOCIACIONES, ADMIN. LOCAL, EMPRESAS	700.000,00	6.300.000
<b>TOTAL</b>	<b>4.000.000,00</b>	<b>36.000.000,00</b>

**Tabla 16. Fuentes de Financiación para la ejecución del Plan Nacional de Investigación en Patrimonio.**

*Fuente: Instituto del Patrimonio cultural de España, Plan Nacional De Investigación En Conservación De Patrimonio Cultural*



# UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)

INGENIERO EN ORGANIZACIÓN INDUSTRIAL

---

Como se puede observar en la tabla 16, el Ministerio de Cultura, a través del Instituto del Patrimonio Cultural de España, invertirá anualmente un millón de euros, esfuerzo que responde al compromiso de este Ministerio con el PNIC.

Otros organismos de la administración estatal, como el Ministerio de Ciencia e Innovación, cuentan con una gran capacidad de inversión en investigación. Su aportación para este tema específico en el marco de sus programas nacionales es equiparable a la inversión del Ministerio de Cultura, y por tanto, un millón de euros.

Se puede estimar que la inversión de las Comunidades Autónomas, en su conjunto, sea, al menos, equiparable a la de un Ministerio. Esta aportación sería de mínimos, considerando la situación económica actual. No obstante, hay que reseñar la enorme capacidad de inversión en investigación de las Comunidades Autónomas en su conjunto, especialmente a través de sus universidades y de su participación en proyectos de I+D+i. Por tanto, su aportación anual es de un millón de euros, lo que supone una media de inversión anual por Comunidad Autónoma en torno a los 60.000,00 €.

Finalmente, la inversión procedente de Fundaciones, Asociaciones, empresas y entidades locales, a la que debería unirse la procedente de los fondos europeos dedicados a investigación, suma una cantidad semejante a la aportación de cada una de las administraciones, esto es, un millón de euros. Esta aportación es de mínimos, considerando que la inversión empresarial en I+D+i en nuestro país es pobre, y en particular, en el sector de la investigación en patrimonio, muy deficiente. [PNICPC]

## 5.2.6 MAGNITUD DEL MERCADO POTENCIAL

---

A continuación se realizara un resumen de las claves económicas más importantes por las que se debe llevar a cabo el presente proyecto y que refuerzan aún más si cabe el potencial que tiene el acelerador Tandem.

### 5.2.6.1 *A nivel global*

De los 15 sectores que más invierten en I+D, 9 de ellos son de vital importancia para el presente estudio, pues estos sectores representan el 100% de la demanda del acelerador que se presenta. Tan solo 3 de los 9 sectores citados anteriormente acumulan más del 50% de la inversión en I+D y además, cabe destacar que los 6 primeros sectores representan más del 70% de inversión en I+D.



# UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)

INGENIERO EN ORGANIZACIÓN INDUSTRIAL

---

Por todo lo anterior podemos decir que el potencial de mercado global asciende a 360 billones de euros con un crecimiento anual del 6,65 %, superior a la media mundial. El potencial que le corresponde al mercado europeo es de 130 billones de euros con un crecimiento anual del 6,3% en 3 años.

## **5.2.6.2 A nivel nacional**

España ocupa el puesto 19, el quinto presupuesto para inversión más bajo de toda la OCDE, CON 1,33% del PIB en 2011 (1.046.327 Millones de euros).

En cuanto a los gastos en I+D por sectores de actividad, las empresas invirtieron un 0,70% de PIB, la enseñanza superior 0,38% y las administraciones publicas 0,26% del PIB.

En 2013, los créditos iniciales de la PG46 fueron 5.932,23 millones de euros. El programa de gasto que recibe más financiación pública es el de Investigación y desarrollo tecnológico industrial (37,82%), seguido de Fomento y coordinación de la investigación científica y técnica (23,79%). En la desagregación por departamentos ministeriales, es el Ministerio de Economía y Competitividad (que incluye a la Secretaría de Estado de I+D+I) el que recibe una proporción mayor de los créditos iniciales de la I+D+I (76,72%).

En 2011, el gasto en I+D supone 14.184,3 millones de euros, y representa un 1,33% del PIB. El gasto en I+D es la suma de los gastos de los siguientes sectores: empresas, enseñanza superior, administración pública y las Instituciones Privadas sin Fines de Lucro (IPSFL).

En relación al gasto por sectores de financiación, la administración pública representa el 48,5% del gasto en I+D, las empresas el 44,3%, la inversión extranjera el 6,7% y las Instituciones Privadas sin Fines de Lucro (IPSFL) el 0,6%. En la distribución por comunidades autónomas, las que en 2011 muestran un nivel de gasto en I+D en relación al PIB por encima de la media nacional son el País Vasco (2,10%), Navarra (2,05%), Madrid (1,99%), y Cataluña (1,55%).

En relación al gasto por sectores de financiación, la administración pública representa el 48,5% del gasto en I+D, las empresas el 44,3%, la inversión extranjera el 6,7% y las Instituciones Privadas sin Fines de Lucro (IPSFL) el 0,6%. En la distribución por comunidades autónomas, las que en 2011 muestran un nivel de gasto en I+D en relación al PIB por encima de la media nacional son el País Vasco (2,10%), Navarra (2,05%), Madrid (1,99%), y Cataluña (1,55%).



### **5.2.6.3 A nivel de aplicaciones potenciales de la instalación**

#### **Ciencia de materiales: Semiconductores**

De la gran diversidad de componentes utilizados por la industria electrónica en sus etapas finales, los semiconductores constituyen el grupo de mayor relevancia debido a su peso relativo, no sólo en valor (43,7% de las ventas mundiales de componentes corresponden a semiconductores) sino también por su dinámica tecnológica.

El valor de los semiconductores contenidos en los sistemas supera en promedio el 20% y presenta una tendencia creciente.

Cisco, una de las mayores empresas fabricantes de equipos para redes, pronostica que en 2015 habrá 25 mil millones de dispositivos conectados a internet y en 2020 esa cifra se elevará a 50 mil millones (Cisco, 2013).

Las ventas de semiconductores en 2013 fueron de 483 Billones de dólares con un crecimiento esperado en el periodo 2012-2017 de un 8,7%.

El mercado IP, con una dimensión que supera 2.000 millones de US\$ (2012), se encuentra en franca expansión.

Intel continúa liderando frente al resto de empresas de primer orden en el gasto de I + D en 2013 que representó el 37% del gasto entre las 10 principales empresas y el 19% del gasto total de I + D en semiconductores a nivel mundial.

El gasto total en I + D por parte del top 10 superó el gasto total por el resto de las compañías de semiconductores (28.7 mil millones dólares en comparación con \$ 26.0 millones de dólares) en 2013, algo que no ha dejado de ser cierto desde 2005 y probablemente mucho antes de eso.

#### **Biomedicina**

En 2010 la facturación de las compañías españolas del sector biotecnológico superó los 60.121 millones de euros, lo que supone un incremento del 11% respecto al año anterior. La cantidad facturada por estas empresas supone el 5,73% del total del PIB español. El gasto en I + D en biotecnología superó los 568 millones de euros en el año 2.010, lo que supuso un incremento de aproximadamente el 11% respecto al año anterior.



# UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)

INGENIERO EN ORGANIZACIÓN INDUSTRIAL

---

En cuanto a los datos más relevantes en relación con la biomedicina son:

- 1.715 empresas desarrollan actividades relacionadas con la biomedicina (incremento anual de 12,8%)
- En 2010, 969 empresas españolas realizaron actividades de I + D en biomedicina (incremento del 13% respecto al año 2009)
- El gasto en I + D superó los 568 M€ en 2010 (incremento 11% respecto al 2009)
- El 85% de las empresas de I + D establece colaboraciones para realizar proyectos de investigación.
- La solicitud de patentes por parte de las empresas biomédicas se ha incrementado en un 17,3%

### **Patrimonio cultural: Arte y Arqueometría**

En cuanto a la dotación económica con la que cuenta este sector para invertir en investigación, podemos afirmar el siguiente valor obtenido del Plan Nacional de Investigación en Patrimonio y con el que el mismo está dotado para su ejecución en un periodo de nueve años, la cuantía económica asciende a 36.000.000 Euros.





### 5.3 ANÁLISIS DE LA OFERTA

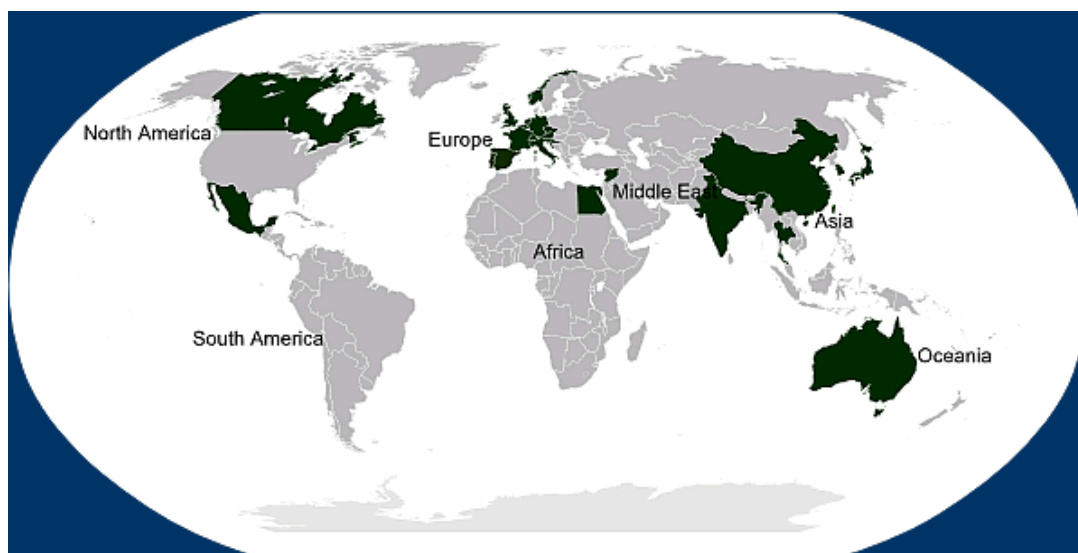
El propósito que se persigue mediante el análisis de la oferta es determinar o medir las cantidades y condiciones en que una economía puede y quiere poner a disposición del mercado un bien o un servicio. La oferta, al igual que la demanda, es función de una serie de factores, como son los precios en el mercado del producto, los apoyos gubernamentales a la producción, etc.

Aquí también es necesario conocer los cuantitativos y cualitativos que influyen en la oferta.

#### 5.3.1 ACELERADORES TANDEM EN TODO EL MUNDO

En la actualidad existen 163 aceleradores electrostáticos de baja energía distribuidos por todo el mundo.

En la imagen que a continuación se muestra, aparece en color verde los países en los que existen en la actualidad aceleradores de tipo Tandem. En total ascienden 35 aceleradores.



**Ilustración 41. Distribución geográfica de los 35 aceleradores tipo Tandem en todo el mundo.**

Fuente: International Atomic Energy Agency (IAEA) (<http://www.iaea.org/>)

En la tabla que se presenta a continuación, se puede observar una lista de los 35 aceleradores tipo tándem existente en todo el mundo de baja energía, de los cuales tan solo



# UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)

INGENIERO EN ORGANIZACIÓN INDUSTRIAL

tres de ellos, están en un rango de energía entre los 5 MV y los 6 MV. Uno de ellos en Francia, otro en Holanda y el español del CMAM.

## Lista de Aceleradores tipo Tandem en todo el Mundo

Nº	País	Organización	Ciudad	Voltaje
1	Australia	<u>Australian Nuclear Science and Technology Organisation</u>	Sydney	2 MV
2	Austria	<u>Johannes Kepler Universität</u>	Linz	400 kV
3	Belgium	<u>University of Namur</u>	Namur	2 MV
4	Canada	<u>McMaster University</u>	Hamilton-Ontario	1.25 MV
5	China	<u>Institute of Earth Environment, Chinese Academy of Sciences</u>	Xian	3 MV
6	Croatia	<u>Ruder Boskovic Institute</u>	Zagreb	1 MV
7	Czech Republic	<u>Nuclear Physics Institute</u>	Rez	3 MV
8	Egypt	<u>Atomic Energy Authority of Egypt</u>	Inshas	3 MV
9	France	<u>CEREGE-Univ. Aix-Marseilles III</u>	Aix-en-Provence	5 MV
10	France	<u>Commissariat à l'Energie Atomique</u>	Fontenay-aux-Roses	2 MV
11	Germany	<u>University of Jena</u>	Jena	3 MV
12	India	<u>Indian Institute of Technology</u>	Kanpur	1.7 MV
13	India	<u>IGCAR</u>	Kalpakkam	1.7 MV
14	India	National Centre for Compositional Characterisation of Materials (NCCCM)	Hyderabad	3 MV
15	Italy	<u>Instituto Nazionale di Fisica Nucleare</u>	Florence	3 MV
16	Italy	<u>University of Lecce</u>	Lecce	3 MV
17	Italy	<u>CNR-IMM</u>	Bologna	1.7 MV
18	Japan	<u>National Institute of Radiation Studies (NIRS)</u>	Chiba	2 MV
19	Japan	Research Centre for Nuclear Science and Technology, University of Tokyo	Tokyo	1 MV
20	Japan	<u>Kyoto University Institute of Advanced Energy</u>	Kyoto	1.7 MV
21	Korea	<u>Korea Institute of Geoscience &amp; Mineral Resources (KIGAM)</u>	Taejon	1 MV
22	Korea	Seoul National University	Seoul	3 MV
23	Mexico	Mexican Nuclear Research Institute (ININ)	Mexico City	2 MV
24	Netherlands	<u>AMS/IBA system, University of Utrecht</u>	Utrecht	6 MV
25	Norway	<u>Norwegian University of Science and Technology</u>	Trondheim	1 MV
26	Portugal	<u>Instituto Tecnológico e Nuclear</u>	Lisbon	3 MV
27	Slovenia	<u>Josef Stefan Institute</u>	Ljubljana	2 MV
<b>28</b>	<b>Spain</b>	<b><u>Centro Nacional de Aceleradores</u></b>	<b>Seville</b>	<b>1 MV</b>
<b>29</b>	<b>Spain</b>	<b><u>CMAM University of Madrid</u></b>	<b>Madrid</b>	<b>5 MV</b>



# UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)

INGENIERO EN ORGANIZACIÓN INDUSTRIAL

30	Switzerland	<u>INFN Pisa / Paul Scherrer Institute</u>	Zurich	1 MV
31	Switzerland	<u>Ecole d'Ingénieurs de l'Arc Jurassien</u>	Le Locle	1.7 MV
32	Syria	<u>Atomic Energy Commission</u>	Damascus	3 MV
33	Thailand	Chiang Mai University	Chiang Mai	1.7 MV
34	UK	<u>University of Surrey</u>	Guildford	2 MV
35	UK	<u>Research Lab for Archaeology and History of Art, University of Oxford</u>	Oxford	3 MV

Tabla 17. Lista de Aceleradores tipo Tandem en todo el Mundo.

Fuente: International Atomic Energy Agency (IAEA) (<http://www.iaea.org/>)

## 5.3.2 ACELERADORES TANDEM EN ESPAÑA



Ilustración 42. Infraestructura de aceleradores en España.

Fuente: España Education And Training In Accelerator Science In Spain. CIEMAT

En la ilustración 39 podemos observar toda la infraestructura de aceleradores existente en España, dentro de este mapa podemos distinguir dos instalaciones similares a la que aquí se presente y que forman parte de oferta tecnológica existente en el panorama nacional, estas dos instalaciones son el CMAM (Madrid) y el CNA (Sevilla) que a continuación se estudiarán más detalladamente. Antes de nada se debe hacer notar que ninguna de estas instalaciones tiene el potencial entre terminales que posee la nuestra, 6 MV, en comparación con las anteriores que tiene 5 MV y 3 MV respectivamente. Por lo que el acelerador Tandem



de 6 MV presenta una clara ventaja frente a las otras dos, su energía y la posibilidad de realizar penetraciones de más decenas de micras y una mayor energía para realizar investigaciones que así lo requieran.

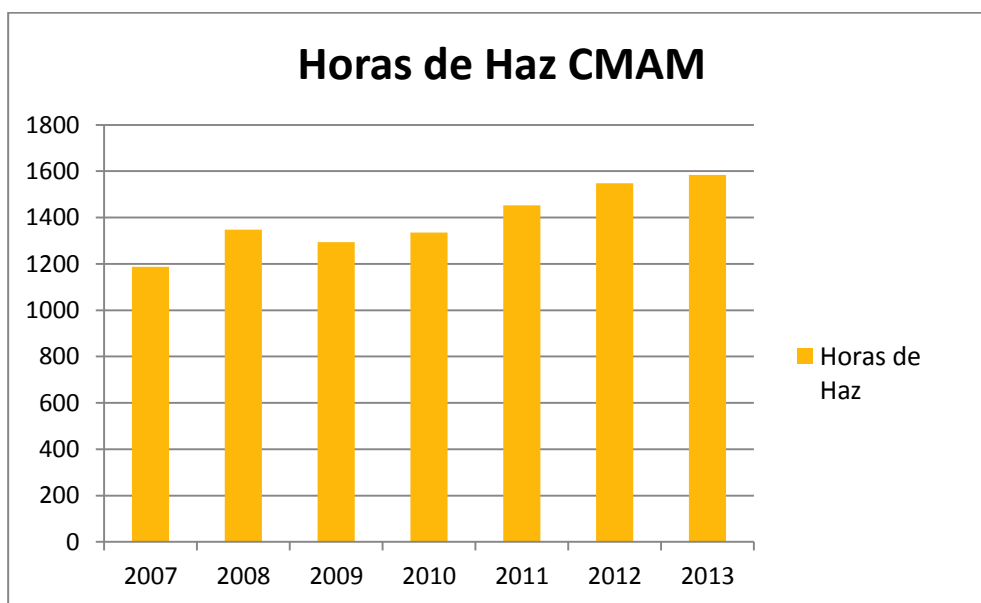
### 5.3.2.1 Centro de Micro Análisis de Ateriales (CMAM), Madrid

Antes de comenzar cabe destacar que el CMAM es la principal competencia a nivel nacional del acelerador Tandem de 6 MV que aquí se presenta, ya sea por las características de su acelerador o por las líneas de investigación que en él se llevan a cabo. Bien es cierto que el modelo de negocio que aquí se presenta es totalmente diferente al que presenta el CMAM en la actualidad, no tan enfocado a la empresa privada como el del objeto de este proyecto.

#### Instalación

El equipamiento principal de un acelerador electrostático tipo tándem, con una tensión máxima en el terminal de 5MV, diseñado y construido por High Voltage Engineering Europe (HVVE). Cuenta con siete líneas de haz para diferentes aplicaciones.

#### Disponibilidad



**Gráfico 12. Horas de haz disponibles al año.**

Fuente: CMAM, Activity Report 2010



# UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)

INGENIERO EN ORGANIZACIÓN INDUSTRIAL

El CMAM ofrece una disponibilidad de tiempo de haz de entorno a las 1.600 horas al año, en 2013.

## Tarifas generales para 2012

### Parque Científico de Madrid

SERVICIO	TARIFA 2012
MICROANÁLISIS DE MATERIALES	
Hora de tiempo de haz	138 €
Hora de análisis de datos	173 €

Tabla 18. Tarifas aplicables desde el 1 de Junio de 2012.

Fuente: Tarifas Generales para 2012 CMAM, Parque Científico de Madrid (<http://www.fpcm.es/>)

### 5.3.2.2 Centro Nacional de Aceleradores (CNA), Sevilla

#### Instalación

El primer acelerador en el CNA fue un Tándem de tipo Pelletron, modelo 9SDH-2, de National Electrostatics Corporation (NEC). Este acelerador está principalmente dedicado a la caracterización y modificación de materiales mediante el uso de técnicas IBA. Con este acelerador se puede obtener un voltaje máximo de tres millones de voltios (3 MV), manteniendo una estabilidad del orden de 150 voltios.

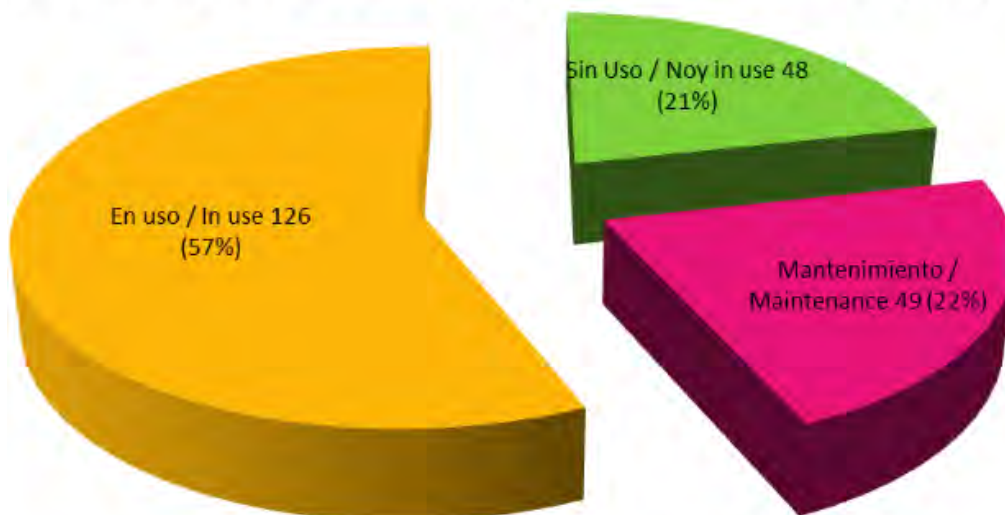
#### Disponibilidad

Según el *Research Report 2011-2012 del CNA*, en el año 2012, este acelerador tuvo la siguiente disponibilidad:

- Días laborables útiles: 223
- Días en uso: 126 (57%)
- Días de mantenimiento: 49 (22%)
- Días sin uso: 48 (21%)



**Estadísticas Tándem 3 MV (2012) / 3 MV Tandem Statistics (2012)**



**Gráfico 13. Porcentaje de disponibilidad del acelerador Tandem del CNA.**

Fuente: Centro Nacional de Aceleradores, CNA, Research Report 2011-2012

**Tarifas Generales para 2012**

Servicio medidas rutinarias / Existing services	Grupo 1 / Group 1	Grupo 2 / Group 2	Grupo 3 / Group 3
RBS con He <sup>2+</sup> / RBS with He <sup>2+</sup>	33 €	55 €	110 €
PIXE con H <sup>+</sup> / PIXE with H <sup>+</sup>	33 €	55 €	110 €
NRA (C, N, O)	33 €	55 €	110 €
Canalización con RBS / RBS Channeling	100 €	330 €	550 €
ERDA (H)	50 €	110 €	165 €
PIXE y RBS con microsonda / PIXE and RBS with microprobe	100 €	330 €	550 €
Uso de acelerador Tándem por día / Day of use of Tandem Accelerator	400 €	600 €	700 €
Hora dedicada al tratamiento de datos / €/hour for data processing	15,60 €	31,20 €	41,60 €

**Tabla 19. Tarifas de uso del Acelerador Tandem del CNA.**

Fuente: Centro Nacional de Aceleradores, CNA, Research Report 2011-2012





# UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)

INGENIERO EN ORGANIZACIÓN INDUSTRIAL

## Notas:

- Las tarifas de grupo 1 se refieren a Centros de la Universidad de Sevilla, Centros del CSIC y de la Junta de Andalucía.
- Las tarifas del grupo 2, a otros Organismos Públicos de Investigación.
- Las tarifas del grupo 3, son para empresas y otros organismos privados.  
[CNARR12]

### 5.3.3 ANÁLISIS DE LA COMPETENCIA

A continuación se presentan dos tablas comparativas de los servicios ofrecidos por la competencia directa dentro de España y los servicios ofrecidos por la instalación objeto de este estudio.

<b>Análisis de la Competencia - Tiempo de Haz</b>			
	<b>Tandem 6 MV</b>	<b>CMAM</b>	<b>CNA</b>
<b>Producto</b>	Tiempo de Haz	Tiempo de Haz	Tiempo de Haz
<b>Precio</b>	150 €/hora	140 €/hora	90 €/hora
<b>Potencial en Terminal</b>	6 MV	5 MV	3 MV
<b>Campo de Aplicación</b>	Análisis de alta resolución	Análisis de alta resolución	Análisis superficial
<b>Límite cuantitativo</b>	ppt (10-12)	ppt (10-12)	ppm (10-6)
<b>Calidad</b>	ISO 9001:2008	ISO 9001:2008	ISO 9001/ISO 27001
<b>Servicio</b>	Excelente	Bueno	Medio
<b>Experiencia</b>	La del personal	11 años	17 años
<b>Ubicación</b>	Excelente	Excelente	Media
<b>Publicidad</b>	Específica	Ninguna	Ninguna

Tabla 20. Análisis de la competencia directa para tiempo de haz.



# UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)

INGENIERO EN ORGANIZACIÓN INDUSTRIAL

<b>Análisis de la Competencia – Análisis de Datos</b>			
	<b>Tandem 6 MV</b>	<b>CMAM</b>	<b>CNA</b>
<b>Producto</b>	Análisis de datos	Análisis de datos	Análisis de datos
<b>Precio</b>	185 €/hora	175 €/hora	45 €/hora
<b>Campo de Aplicación</b>	Análisis de alta resolución	Análisis de alta resolución	Análisis superficial
<b>Límite cuantitativo</b>	ppt (10-12)	ppt (10-12)	ppm (10-6)
<b>Calidad</b>	ISO 9001:2008	ISO 9001:2008	ISO 9001/ISO 27001
<b>Servicio</b>	Excelente	Bueno	Medio
<b>Experiencia</b>	La del personal	11 años	17 años
<b>Ubicación</b>	Excelente	Excelente	Media
<b>Publicidad</b>	Específica	Ninguna	Ninguna

Tabla 21. Análisis de la competencia directa para el procesamiento de los datos.

### Conclusión:

Se presenta una buena posición frente a la competencia, aunque la instalación objeto de estudio ofrece sus servicios por un precio mayor, la precisión, la energía y la calidad lo justifican. A demás, a diferencia del resto de instalaciones de la competencia el modelo de negocio que aquí se presenta, se centra tanto en la empresa como en las instituciones e instalaciones científicas al igual que en instituciones del estado y universidades. Abarcando todas las facetas de la investigación e innovación en todo su espectro tanto en España como en el resto del mundo que quieran adquirir los servicios que aquí se presentan.



## **Capítulo 6 Estudio Económico**

### **6.1 INTRODUCCIÓN**

---

El estudio económico que se presenta, pretende determinar cuál es el total de los recursos económicos necesarios para la realización del proyecto, cuál será el coste total de operación de la instalación, así como otra serie de indicadores que servirán de base para la parte final y definitiva, la evaluación económica.

### **6.2 LA DEMANDA**

---

La demanda de los servicios que la empresa tendrá es, sin duda, el supuesto más importante de todos. La demanda, al fin y al cabo, es la previsión de ingresos que la empresa va a tener a lo largo de los años que el estudio abarque, que en este caso son quince.

Para la estimación de la demanda, habitualmente se usa una mezcla de diversas medidas. Se suele hacer en base a los datos económicos, en base a muestras obtenidas mediante observación directa o mediante la observación de instalaciones similares pertenecientes a competidores. El método que se ha planteado es el de observación de instalaciones similares de la competencia, en este caso la instalación que se ha estudiado es la de *Jyväskylän Yliopist, Universidad de Jyväskylä, Finlandia*, de la cual se obtenido los siguientes datos de demanda, gráfico 13. En el cual se puede observar las horas de haz y de análisis de datos demandadas por los usuarios al año.

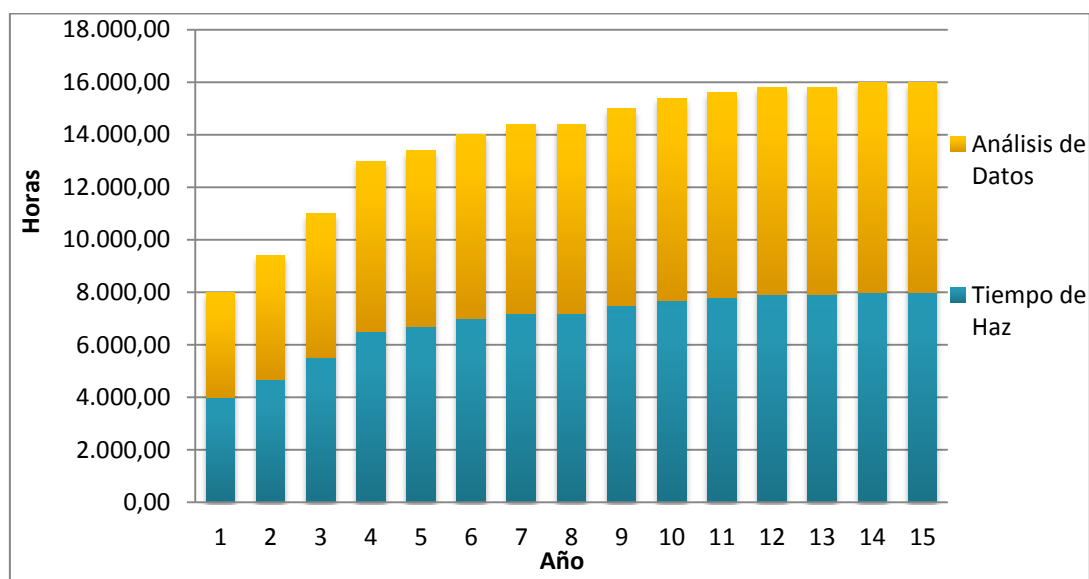


Gráfico 14. Demanda de horas de haz y de análisis de datos al año.

La demanda que se presenta en la gráfico 13, más a delante, será segmentada según corresponda a horas de uso o análisis por parte de los socios de la instalación o por parte de clientes externos al acelerador. El tipo de socio y el número se estudiará más adelante en el apartado de financiación.

A parte del supuesto de la demanda, es básico hacer referencia a los costes necesarios que hay que cubrir para dar servicio a los clientes. Estos costes se dividirán en costes fijos y variables

### 6.3 DETERMINACIÓN DE COSTES

Son costes de producción todos aquellos que se encuentran directamente relacionados con dar servicio a los clientes. Podemos subdividirlos en costos directos de y costos indirectos.

#### 6.3.1 COSTES DIRECTOS

Son costos directos los derivados de los elementos que permiten dar el servicio a los clientes o forman parte de él, suministros, mano de obra directa, insumos, etc.



# UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)

INGENIERO EN ORGANIZACIÓN INDUSTRIAL

---

## 6.3.1.1 *Suministros*

En la tabla 22, se puede observar la relación de costes relativos a los suministros necesarios para poder operar con el acelerador. Como se puede observar estos son los referentes a la electricidad y a las fuentes de iones. El acelerador en sí, no tiene un elevado consumo eléctrico, más bien es bastante bajo en relación con el consumo que supone la climatización de la sala del acelerador, ya que hay que mantenerla a una humedad y a una temperatura determinadas. Por otro lado están los suministros de diferentes metales, metales líquidos, gases, tierras raras, etc. con los que se generan los iones necesarios para utilizar como proyectiles en el acelerador. El precio de los mismos así como el resto de la información anterior fueron datos facilitados por el CMAM vía telefónica, debido a la dificultad de encontrar dichos precios y proveedores.

También se ha calculado el crédito de proveedores debido a que los pagos se harán efectivos a noventa días, por lo menos los cinco primeros años de puesta en funcionamiento de la instalación. Este plazo de pago será debidamente negociado con los proveedores correspondientes.



# UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)

INGENIERO EN ORGANIZACIÓN INDUSTRIAL

SUMINISTROS		AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5	AÑO 6	AÑO 7	AÑO 8	AÑO 9	AÑO 10	AÑO 11	AÑO 12	AÑO 13	AÑO 14	AÑO 15
Electricidad	Kwh	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000
	Precio (€/Kwh)	0,0955	0,0974	0,0994	0,1013	0,1034	0,1054	0,1075	0,1097	0,1119	0,1141	0,1164	0,1187	0,1211	0,1235	0,1260
	Costes	9.550	9.741	9.936	10.135	10.337	10.544	10.755	10.970	11.189	11.413	11.641	11.874	12.112	12.354	12.601
Fuente de Iones	Unidades	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
	Precio	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
	Costes	30.000	30.000	30.000	30.000	30.000	30.000	30.000	30.000	30.000	30.000	30.000	30.000	30.000	30.000	30.000
TOTAL COSTES		39.550	39.741	39.936	40.135	40.337	40.544	40.755	40.970	41.189	41.413	41.641	41.874	42.112	42.354	42.601

Crédito de Proveedores (días)	90
-------------------------------	----

Crédito de Proveedores	9.752	9.799	9.847	9.896	9.946	9.997	10.049	10.102	10.156	10.211	10.268	10.325	10.384	10.443	10.504
------------------------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------

Tabla 22. Coste de los Suministros





# UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)

INGENIERO EN ORGANIZACIÓN INDUSTRIAL

---

## 6.3.1.2 *Mano de obra*

En la tabla 23 se observa los costes de la mano de obra. La plantilla estará compuesta por científicos, técnicos de laboratorio y personal administrativo. El personal necesario se ha calculado en función de las horas de demanda obtenidas con anterioridad y tomando como base de cálculo que cada empleado trabajará un máximo de 1.740 horas de trabajo efectivo al año, respetando siempre la ley de los trabajadores, en la cual se indica que un trabajador no podrá trabajar más de 1.826 horas y 27 minutos al año [CCOOTTD13], de esta manera las necesidades de mano de obra que requiere la instalación son las siguientes, teniendo en cuenta que solo es necesario para operar con el acelerador un mínimo de dos personas por cada turno.

La contratación de personal se realizara de forma progresiva cubriendo las necesidades de la instalación en todo momento e íntimamente relacionada con el incremento de la demanda, por ello los cinco primeros años son los de máximo crecimiento de la demanda y es ahí donde se realizaran las contrataciones de personal más importantes en cuanto a número. Una vez superado este tiempo no se realizara más contratación aunque en algunos picos de demanda podría plantearse la opción de contrataciones temporales a tiempo parcial para cubrir diferentes necesidades. A partir del año sexto no se tiene previsto contratar a más personal, debido a que la instalación ya estaría funcionando a pleno rendimiento con todo el personal necesario para ello.

La instalación comenzará su puesta en funcionamiento con un administrativo, tres técnicos y dos científicos para terminar con una contratación máxima en el año 5 de un administrativo, cinco técnicos y cuatro científicos. Sus salarios brutos anuales irán desde los 18.000 €/año que percibirá un administrativo, hasta los 45.000 €/año de un científico, pasando por los 35.000 €/año con los que será retribuido un técnico de laboratorio. Todos estos salarios han sido corregidos al alza con un 2% anual ya que la estimación que se ha realizado en base a los datos históricos del IPC, obtenidos del INE, es que este vaya a subir entorno a un 2% en los próximos quince años.

Finalmente con toda la información aportada anteriormente los gastos de personal se han calculado según indica el banco BBVA, en su página web, donde propone una guía para el cálculo de todos los gastos de personal que deberá soportar la empresa. Como bien se indica en esta guía, el gasto más importante es la Seguridad Social a cargo de la empresa. Este gasto tiene un porcentaje que oscila entre el 31% al 35% del salario bruto mensual incluyendo las pagas extras [BBVA12]. En este caso, el valor utilizado es el del 31% del salario bruto mensual. Todo esto se puede ver resumido en la tabla 23.



# UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)

INGENIERO EN ORGANIZACIÓN INDUSTRIAL

PERSONAL	DATOS	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5	AÑO 6	AÑO 7	AÑO 8	AÑO 9	AÑO 10	AÑO 11	AÑO 12	AÑO 13	AÑO 14	AÑO 15
Salario Técnico Laboratorio	35.000	105.000	109.242	148.569	151.541	193.214	197.078	201.020	205.040	209.141	213.324	217.591	221.942	226.381	230.909	235.527
Salario Científico	45.000	90.000	93.636	95.509	146.128	198.735	202.709	206.763	210.899	215.117	219.419	223.807	228.284	232.849	237.506	242.256
Salario Administrativo	18.000	18.000	18.727	19.102	19.484	19.873	20.271	20.271	20.271	20.271	20.271	20.271	20.271	20.271	20.271	20.271
Incremento Salarial Anual	2%															
Nº de Administrativos	1															
Nº de técnicos año 1	3															
Nº de científicos año 1	2															
Nº de técnicos año 2	3															
Nº de científicos año 2	2															
Nº de técnicos año 3	4															
Nº de científicos año 3	2															
Nº de técnicos año 4	4															
Nº de científicos año 4	3															
Nº de técnicos año 5	5															
Nº de científicos año 5	4															
% Coste Seguridad Social	31%	27.900	29.027	29.608	45.300	61.608	62.840	64.097	65.379	66.686	68.020	69.380	70.768	72.183	73.627	75.099
<b>Total Costes de Personal</b>		<b>240.900</b>	<b>250.632</b>	<b>292.787</b>	<b>362.452</b>	<b>473.430</b>	<b>482.898</b>	<b>492.151</b>	<b>501.589</b>	<b>511.215</b>	<b>521.034</b>	<b>531.049</b>	<b>541.265</b>	<b>551.685</b>	<b>562.313</b>	<b>573.154</b>

Tabla 23. Costes de la Mano de Obra



#### 6.3.2 COSTES INDIRECTOS

---

Son costos indirectos aquellos sin los cuales se pararía el servicio, tales como seguros, amortizaciones, mantenimiento, etc. Los que se han contemplado para realizar los cálculos han sido los que se muestran en la tabla 24, los cuales también han sido revisados al alza, como ya se ha explicado anteriormente, debido al incremento del 2% del IPC analizado en base a la serie histórica del mismo obtenida del INE y proyectado para el periodo de estudio.

Dentro de esta partida se ha considerado los costes mensuales de electricidad para las oficinas e instalaciones anexas al acelerador, los costes de internet y teléfono, el material de oficina, la limpieza de las instalaciones, los seguros que serán necesarios para el funcionamiento de la instalación, el mantenimiento que corresponderá a un 5% de parte del hardware, en el cual se incluirá futuros desarrollos de I+D de líneas y del acelerador, por lo tanto se puede decir que es un mantenimiento-I+D. Este se empezara a realizar a partir del año cuarto, donde la inversión en I+D de la instalación para el desarrollo de nuevas técnicas y de líneas habrá finalizado y lo necesario a partir de entonces en cuanto a desarrollo, será llevado a cabo a través del mantenimiento. El acelerador en sí, no necesita un gran mantenimiento y este puede realizarse en la mayoría de los casos sin parar el funcionamiento del mismo. Sí que es verdad que el acelerador tiene un mantenimiento fuerte después de algunos años de funcionamiento, para ello se ha previsto la subcontratación de una empresa que lo realice con la mayor brevedad posible o también, se podría contratar mediante un contrato de fin de obra a especialistas en el tema en cuestión, para así acortar los tiempos de mantenimiento intensivo del acelerador, suponiendo una menor parada del acelerador, lo cual repercutirá positivamente a los benéficos de la empresa. Todo ellos esta contabilizado y explicado con claro detalle en la tabla que continuación se presenta, tabla 24.



# UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)

INGENIERO EN ORGANIZACIÓN INDUSTRIAL

COSTES INDIRECTOS	MES	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5	AÑO 6	AÑO 7	AÑO 8	AÑO 9	AÑO 10	AÑO 11	AÑO 12	AÑO 13	AÑO 14	AÑO 15
Electricidad	500	6.000	6.120	6.242	6.367	6.495	6.624	6.757	6.892	7.030	7.171	7.314	7.460	7.609	7.762	7.917
Teléfono + Internet	300	3.600	3.672	3.745	3.820	3.897	3.975	4.054	4.135	4.218	4.302	4.388	4.476	4.566	4.657	4.750
Material de Oficina	200	2.400	2.448	2.497	2.547	2.598	2.650	2.703	2.757	2.812	2.868	2.926	2.984	3.044	3.105	3.167
Limpieza	200	2.400	2.448	2.497	2.547	2.598	2.650	2.703	2.757	2.812	2.868	2.926	2.984	3.044	3.105	3.167
Seguros	1.000	12.000	12.240	12.485	12.734	12.989	13.249	13.514	13.784	14.060	14.341	14.628	14.920	15.219	15.523	15.834
Mantenimiento(5% Hardware)	2.604					31.250	31.875	32.513	33.163	33.826	34.503	35.193	35.896	36.614	37.347	38.094
Otros	1.000	12.000	12.240	12.485	12.734	12.989	13.249	13.514	13.784	14.060	14.341	14.628	14.920	15.219	15.523	15.834
Incremento medio anual en %	2%															
<b>TOTAL COSTES INDIRECTOS</b>		<b>38.400</b>	<b>39.168</b>	<b>39.951</b>	<b>40.750</b>	<b>72.815</b>	<b>74.272</b>	<b>75.757</b>	<b>77.272</b>	<b>78.818</b>	<b>80.394</b>	<b>82.002</b>	<b>83.642</b>	<b>85.315</b>	<b>87.021</b>	<b>88.762</b>

Tabla 24. Cálculo de los costes indirectos referentes al periodo de estudio



#### **6.4 DETERMINACIÓN DE LA INVERSIÓN TOTAL INICIAL**

---

La inversión inicial comprende la adquisición de todos los activos fijos o tangibles y diferidos o intangibles necesarios para iniciar las operaciones de la empresa, con excepción del capital de trabajo.

Se entiende por activo tangible o fijo, los bienes de los que la empresa no puede desprenderse fácilmente sin que ello ocasione problemas a sus actividades productivas; terrenos, maquinaria, edificios.

Se entiende por activo intangible el conjunto de bienes propiedad de la empresa necesarios para su funcionamiento, y que pueden ser, activos de mercado, activos de propiedad intelectual, activos humanos y activos de infraestructura.

Por lo tanto, en la tabla 25, se presenta las inversiones y el plan de inversiones que realizará la empresa en los quince años de estudio, donde se puede ver la inversión en activos fijos, de los cuales podemos decir que son los activos que corresponden a bienes y derechos que no son convertidos en efectivo por una empresa en el año, y permanecen en ella durante más de un ejercicio. No varían durante el ciclo de explotación de la empresa (o el año fiscal).

Analizando la tabla 25, se observa que el mayor coste de inversión es la del acelerador, el cual lleva incluidas las fuentes de alimentación de alta estabilidad y bajo rizado, fundamentales para el buen funcionamiento del acelerador. El coste del acelerador no es elevado ya que es un acelerador de fabricación estándar y supone un desembolso de 3.000.000 euros. Lo siguiente de mayor cuantía económica son las líneas de transferencia o líneas de haz, en las cuales se realizara durante los cuatro primeros años de funcionamiento de la instalación, una fuerte I+D para finalmente alcanzar los requerimientos del cliente. Esta supondrá un 10% de hardware. Esto puede parecer poco coherente, pero todas las instalaciones de características similares realizan el mismo procedimiento, pues se tardan varios años en desarrollar una línea el acelerador puede seguir funcionando.

En equipos informáticos se realizará una inversión inicial de 30.000 euros, los cuales serán renovados al cabo de ocho años por ordenadores más potentes y en mayor número.

Finalmente, entre la construcción del edificio y el mobiliario, se estima que el coste total será de 600.000 euros. Las necesidades de espacio del edificio son pequeñas pero su construcción es elevada debido a las medidas de seguridad que debe de tener ya que se trata de una instalación radiológica y contará con muros de tres metros de anchura y puertas especiales.

Por último la inversión total asciende a 4.355.000 euros, con una planificación de inversiones de 100.000 euros anuales hasta el cuarto año y una inversión en equipos



# UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)

INGENIERO EN ORGANIZACIÓN INDUSTRIAL

---

informáticos en el año ocho para su renovación de 50.000 euros. Todo lo anteriormente expuesto puede verse resumido en la tabla 25 de la página siguiente.



# UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)

INGENIERO EN ORGANIZACIÓN INDUSTRIAL

INVERSIONES	INICIO ACTIVIDAD	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5	AÑO 6	AÑO 7	AÑO 8	AÑO 9	AÑO 10	AÑO 11	AÑO 12	AÑO 13	AÑO 14	AÑO 15	VIDA ÚTIL	(%) Amort
<b>ACTIVO NO CORRIENTE</b>																		
Acelerador + Fuentes de Alimentación	3.000.000																15	7%
Líneas de transmisión + Imanes	625.000																15	7%
Equipos informáticos	30.000								50.000								8	13%
Mobiliario	200.000																20	5%
Construcciones	400.000																60	2%
I+D (10% hardware) + Inst.Aux	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000												15	7%
<b>TOTAL INVERSIÓN</b>	<b>4.355.000</b>	<b>100.000</b>	<b>100.000</b>	<b>100.000</b>	<b>100.000</b>				<b>50.000</b>									

Tabla 25. Inversión inicial y planificación de inversiones futuras





## **6.5 AMORTIZACIONES**

---

Desde el punto de vista contable se entiende por Amortización la representación contable de la pérdida de valor o depreciación de carácter irreversible que experimenta el activo no corriente o activo fijo, constituido por el inmovilizado material, el inmovilizado intangible o inmaterial y las inversiones inmobiliarias.

Supone una distribución sistemática del valor amortizable, que se materializa en el criterio valorativo del coste histórico o coste, menos su valor residual, ya que se realiza a lo largo de su vida útil, según van siendo consumidos los beneficios económicos futuros del activo.

El análisis de las diversas causas por las que un elemento de activo fijo puede depreciarse va en correspondencia con la descripción de los factores que pueden incidir a lo largo de la vida productiva del inmovilizado en una empresa en concreto.

Este periodo estimado en función de un criterio racional, la vida útil, supone un determinado número de ejercicios de uso, esto es, de utilización y por tanto de producción de rendimientos normales. En la tabla 25 se puede observar la vida útil de cada activo fijo, según la legislación vigente obtenidos de las *tablas de coeficientes de amortización* [RD1777/2004].

El método que se ha seguido para el cálculo de la amortización del activo fijo ha sido el método lineal, donde cada año se asigna la misma cuota de amortización, dicho porcentaje se puede ver calculado en la parte derecha de la tabla 25 (% Amort.), el cual ha sido calculado de la siguiente manera teniendo en cuenta la vida útil de activo correspondiente.

$$\% \text{ Amort.} = \frac{100}{\text{Vida Útil (Años)}}$$

Una vez calculado el porcentaje anual de amortización (% Amort.), se multiplica por el valor del activo fijo, obteniéndose así la tabla de dotación de amortizaciones y finalmente la tabla de amortizaciones acumuladas, como se puede observar más claramente resumido todo lo anterior en las tablas 27 y 28.



# UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)

INGENIERO EN ORGANIZACIÓN INDUSTRIAL

TOTAL ACTIVO FIJO	INICIO	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5	AÑO 6	AÑO 7	AÑO 8	AÑO 9	AÑO 10	AÑO 11	AÑO 12	AÑO 13	AÑO 14	AÑO 15
Acelerador + Fuentes de Alimentación	3.000.000	3.000.000	3.000.000	3.000.000	3.000.000	3.000.000	3.000.000	3.000.000	3.000.000	3.000.000	3.000.000	3.000.000	3.000.000	3.000.000	3.000.000	3.000.000
Líneas de transmisión + Imanes	625.000	625.000	625.000	625.000	625.000	625.000	625.000	625.000	625.000	625.000	625.000	625.000	625.000	625.000	625.000	625.000
Equipos informáticos	30.000	30.000	30.000	30.000	30.000	30.000	30.000	30.000	80.000	80.000	80.000	80.000	80.000	80.000	80.000	80.000
Mobiliario	200.000	200.000	200.000	200.000	200.000	200.000	200.000	200.000	200.000	200.000	200.000	200.000	200.000	200.000	200.000	200.000
Construcciones	400.000	400.000	400.000	400.000	400.000	400.000	400.000	400.000	400.000	400.000	400.000	400.000	400.000	400.000	400.000	400.000
I+D (10% hardware) + Inst.Aux	100.000	200.000	300.000	400.000	500.000	500.000	500.000	500.000	500.000	500.000	500.000	500.000	500.000	500.000	500.000	500.000
<b>TOTAL</b>	<b>4.355.000</b>	<b>4.455.000</b>	<b>4.555.000</b>	<b>4.655.000</b>	<b>4.755.000</b>	<b>4.755.000</b>	<b>4.755.000</b>	<b>4.755.000</b>	<b>4.805.000</b>	<b>4.805.000</b>	<b>4.805.000</b>	<b>4.805.000</b>	<b>4.805.000</b>	<b>4.805.000</b>	<b>4.805.000</b>	<b>4.805.000</b>

Tabla 26. Total activo fijo



# UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)

INGENIERO EN ORGANIZACIÓN INDUSTRIAL

DOTACIÓN AMORTIZACIONES	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5	AÑO 6	AÑO 7	AÑO 8	AÑO 9	AÑO 10	AÑO 11	AÑO 12	AÑO 13	AÑO 14	AÑO 15
Acelerador + Fuentes de Aliment.	200.000	200.000	200.000	200.000	200.000	200.000	200.000	200.000	200.000	200.000	200.000	200.000	200.000	200.000	200.000
Líneas de transmisión + Imanes	41.667	41.667	41.667	41.667	41.667	41.667	41.667	41.667	41.667	41.667	41.667	41.667	41.667	41.667	41.667
Equipos informáticos	3.750	3.750	3.750	3.750	3.750	3.750	3.750	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000
Mobiliario	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000
Construcciones	6.667	6.667	6.667	6.667	6.667	6.667	6.667	6.667	6.667	6.667	6.667	6.667	6.667	6.667	6.667
I+D (10% hardware) + Inst.Aux	13.333	20.000	26.667	33.333	33.333	33.333	33.333	33.333	33.333	33.333	33.333	33.333	33.333	33.333	33.333
<b>TOTAL</b>	<b>275.417</b>	<b>282.083</b>	<b>288.750</b>	<b>295.417</b>	<b>295.417</b>	<b>295.417</b>	<b>295.417</b>	<b>301.667</b>	<b>301.667</b>	<b>301.667</b>	<b>301.667</b>	<b>301.667</b>	<b>301.667</b>	<b>301.667</b>	<b>301.667</b>

Tabla 27. Dotación de amortizaciones



# UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)

INGENIERO EN ORGANIZACIÓN INDUSTRIAL

AMORTIZACIÓN ACUMULADA	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5	AÑO 6	AÑO 7	AÑO 8	AÑO 9	AÑO 10	AÑO 11	AÑO 12	AÑO 13	AÑO 14	AÑO 15
Acelerador + Fuentes de Alimentación	200.000	400.000	600.000	800.000	1.000.000	1.200.000	1.400.000	1.600.000	1.800.000	2.000.000	2.200.000	2.400.000	2.600.000	2.800.000	3.000.000
Líneas de transmisión + Imanes	41.667	83.333	125.000	166.667	208.333	250.000	291.667	333.333	375.000	416.667	458.333	500.000	541.667	583.333	625.000
Equipos informáticos	3.750	7.500	11.250	15.000	18.750	22.500	26.250	30.000	33.750	37.500	41.250	45.000	48.750	52.500	56.250
Mobiliario	10.000	20.000	30.000	40.000	50.000	60.000	70.000	80.000	90.000	100.000	110.000	120.000	130.000	140.000	150.000
Construcciones	6.667	13.333	20.000	26.667	33.333	40.000	46.667	53.333	60.000	66.667	73.333	80.000	86.667	93.333	100.000
I+D (10% hardware) + Inst.Auxiliares	13.333	33.333	60.000	93.333	126.667	160.000	193.333	226.667	260.000	293.333	326.667	360.000	393.333	426.667	460.000
<b>TOTAL</b>	<b>275.417</b>	<b>557.500</b>	<b>846.250</b>	<b>1.141.667</b>	<b>1.437.083</b>	<b>1.732.500</b>	<b>2.027.917</b>	<b>2.329.583</b>	<b>2.631.250</b>	<b>2.932.917</b>	<b>3.234.583</b>	<b>3.536.250</b>	<b>3.837.917</b>	<b>4.139.583</b>	<b>4.441.250</b>

Tabla 28. Amortización acumulada



## **6.6 FINANCIACIÓN**

El modelo de financiación que se plantea es el siguiente. La idea es que las empresas que puedan necesitar el acelerador compren una participación del mismo que le dé derecho al uso de un número de horas proporcional al capital invertido y las horas sobrantes serán alquiladas a otras empresas. Mediante este sistema se pretende recaudar un 40% de la inversión inicial (1.742.000 €), por ejemplo, si entrasen a participar 20 empresas, el capital aportado por cada una de ellas sería de 87.100 €.

Estas empresas contarán con unas ventajas tarifarias, por las cuales solo tendrán que pagar la luz consumida en el uso del acelerador y en cuanto al análisis de datos, se les aplicará un descuento del 40% en la tarifa normal, ya que el análisis de datos puede llevar horas como meses de duración.

El otro 40% de la inversión inicial será financiado a través de subvenciones a fondo perdido como son las subvenciones proporcionadas por los fondos FEDER (Fondo Europeo de Desarrollo Regional), el cual cuenta con 400.000.000 € para acciones innovadoras, llegando a financiar hasta un 80 % en las regiones del objetivo nº 1 y hasta un 50%, o incluso un 60 % cuando el interés comunitario de las acciones innovadoras así lo justifica, en las regiones del objetivo nº 2. [FEDER14]. Existen otras muchas subvenciones que se pueden conseguir, bien sea por parte de las comunidades autónomas o del gobierno central, debido a que es un proyecto de innovación y de investigación que contribuye al desarrollo del ámbito empresarial del país como social del mismo, suponiendo un bien social.

Finalmente los socios aportarán el restante 20% del capital necesario para cubrir la totalidad de la inversión inicial, lo cual supone un montante de 871.000 €.

Por lo tanto el capital proveniente de recursos propios asciende a 2.613.000 €, aportado por los socios (20%) y a través de participaciones (40%). Y como ya se ha comentado, el capital restante hasta llegar a los 4.355.000 €, será aportado a través de las subvenciones pudiéndose conseguir más de una, lo cual suma un total de 1.742.000 €.

El plan de inversiones propuesto con anterioridad, será autofinanciado con los recursos propios de la empresa, una vez puesta en funcionamiento. A continuación se muestra en la tabla 30, un resumen de todo lo comentado con anterioridad.

<b>Participación</b>	<b>%</b>
<b>Socios</b>	<b>20%</b>
<b>Participaciones</b>	<b>40%</b>
<b>Subvenciones</b>	<b>40%</b>

**Tabla 29. Porcentajes de participación en la financiación de la inversión inicial**



**UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS**  
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)  
INGENIERO EN ORGANIZACIÓN INDUSTRIAL

---

<b>FINANCIACIÓN</b>	<b>INICIO ACTIVIDAD</b>	<b>AÑO 1</b>	<b>AÑO 2</b>	<b>AÑO 3</b>	<b>AÑO 4</b>
RECURSOS PROPIOS	2.613.000	100.000	100.000	100.000	100.000
Subvención	1.742.000				
<b>TOTAL FINANCIACIÓN</b>	<b>4.355.000</b>	<b>100.000</b>	<b>100.000</b>	<b>100.000</b>	<b>100.000</b>

Tabla 30. Financiación de la inversión inicial y el plan de inversiones futuras



# UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)

INGENIERO EN ORGANIZACIÓN INDUSTRIAL

## 6.7 INGRESOS

En este apartado se tratan los ingresos provenientes de la prestación de servicios, ya sean horas de haz como análisis de datos. Los precios de los servicios se han estimado en referencia a los precios del mercado con los que trabajan instalaciones como el CMAM o el CNA. [PCM12]. En tabla 31 y 32 se presenta las tarifas de la instalación objeto de este proyecto.

SERVICIOS	TARIFAS
Hora de tiempo de haz	150 €
Hora de análisis de datos	185 €

Tabla 31. Tarifas generales para usuarios del acelerador

SERVICIOS	TARIFAS
Hora de tiempo de haz	75 €
Hora de análisis de datos	111 €

Tabla 32. Tarifas en exclusividad para socios de acelerador

En referencia a la tabla 32, a los socios del acelerador se refiere a las empresas que han comprado participaciones y que les dan derecho al uso de la instalación de manera proporcional al capital invertido, el cual será destinado a la financiación inicial de la inversión total.

En cuanto a las horas de tiempo de haz que les corresponde a usuarios o clientes generales de la instalación y a los socios, el reparto se ha realizado de la siguiente manera. Mediante a los cálculo de la demanda realizados anteriormente, conocemos las horas totales demandadas, partes de estas horas son demandadas por las empresas asociadas, en total les corresponde un 40% de las horas disponibles ya que su aportación de capital es proporcional a este valor. El resto de horas, un 60%, se pondrán a disposición de usuarios o clientes generales externos a la instalación del acelerador y se les aplicaran las tarifas anteriormente comentadas y que aparecen comentadas en las tablas 31 y 32.

El número de horas que les corresponde a socios y a clientes del acelerador en cuanto a las horas de análisis de datos es muy diferente que para el tiempo de haz. En este caso y debido a que muchas de las investigaciones y desarrollos que se llevaran a cabo por parte de las empresas utilizando para ello el acelerador, tienen carácter privado y por ello la mayoría de los clientes externos de la instalación solo requerirán del servicio de análisis de datos en un porcentaje del 20%, por el contrario los socios del acelerador harán un uso más intensivo de este servicio, el cual se ha estimado que ocupará el 80% de las horas de análisis de datos del acelerador.





Gráfico 15. Reparto de horas de tiempo de haz demandadas anualmente

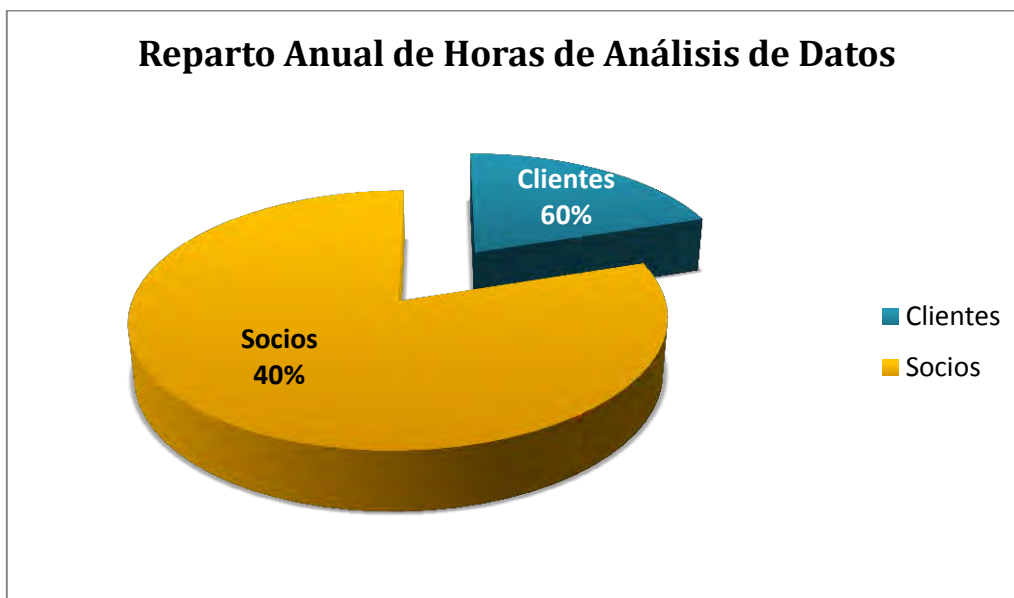


Gráfico 16. Reparto de horas de análisis de datos demandadas anualmente

Una vez estudiado como se realizara el reparto de horas demandadas anualmente, se pasara a determinar cuantitativamente cuantas horas exactamente corresponden tanto a socios como a clientes según la demanda prevista. Todo esto se puede ver en los siguientes gráficos.



# UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)

INGENIERO EN ORGANIZACIÓN INDUSTRIAL

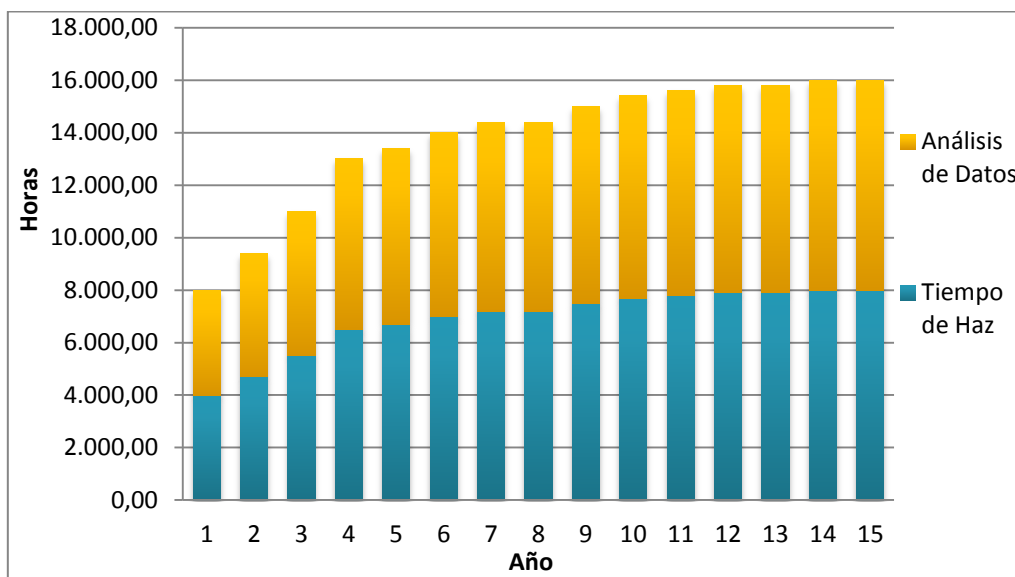


Gráfico 17. Demanda total de horas de haz y de análisis de datos al año.

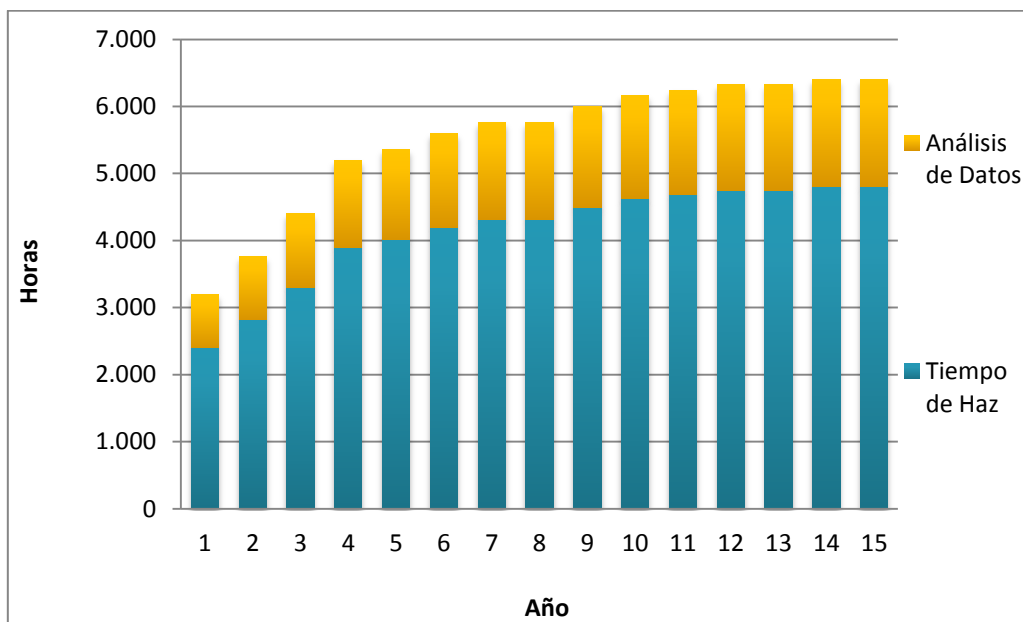


Gráfico 18. Horas de tiempo de haz y análisis de datos demandadas anualmente por los clientes



# UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)

INGENIERO EN ORGANIZACIÓN INDUSTRIAL

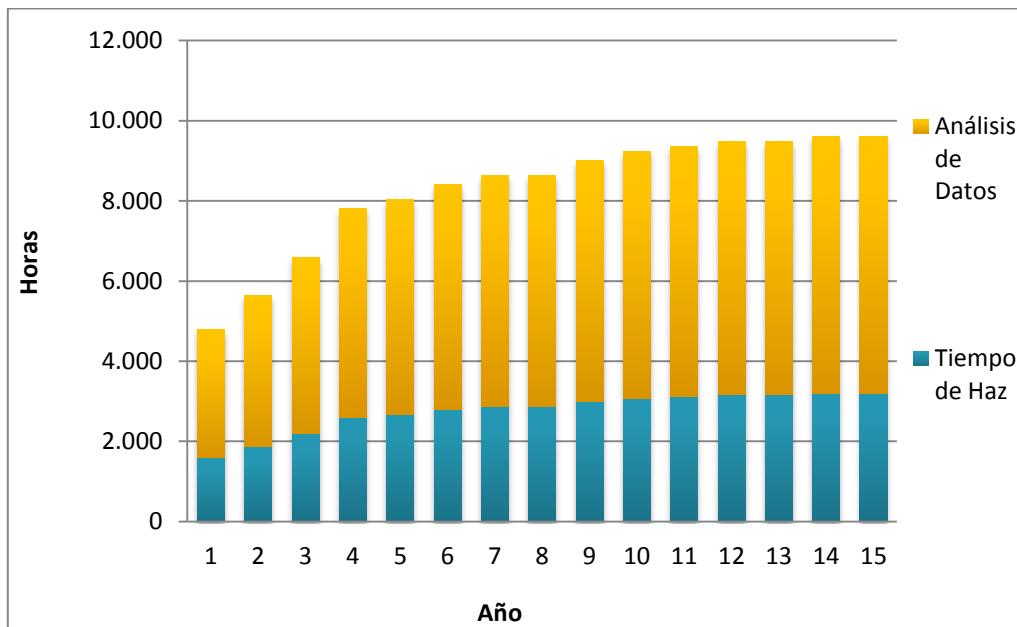


Gráfico 19. Horas de tiempo de haz y análisis de datos demandadas anualmente por los socios

Una vez conocido todos los datos necesarios para realizar el cálculo de los ingresos, se procederá al cómputo de los mismos como se indica a continuación en la tabla 33, donde se pueden observar los ingresos por cada una de las partidas especificadas anteriormente así como los ingresos totales. Como en todos los datos económicos anteriores y como ya se ha explicado, aquí también se realiza una revisión de precios según e IPC del 2% al alza. Además, se ha estimado que el periodo de cobro será de 30 días y en consecuencia se ha calculado el crédito a clientes como se muestra en la tabla 33.

Hay que tener en cuenta que las empresas socias, permiten a la instalación cubrir las expectativas de ingresos iniciales al ser clientes cautivos del acelerador.



# UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)

INGENIERO EN ORGANIZACIÓN INDUSTRIAL

Tabla 33. Ingresos anuales en euros

INGRESOS		AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5	AÑO 6	AÑO 7	AÑO 8	AÑO 9	AÑO 10	AÑO 11	AÑO 12	AÑO 13	AÑO 14	AÑO 15
Tiempo De Haz Clientes	Horas	2.400	2.820	3.300	3.900	4.020	4.200	4.320	4.320	4.500	4.620	4.680	4.740	4.740	4.800	4.800
	Precio	150	153	156	159	162	166	169	172	176	179	183	187	190	194	198
	Ingresos	360.000	431.460	514.998	620.807	652.707	695.571	729.753	744.348	790.870	828.199	855.734	884.039	901.720	931.397	950.025
Análisis De Datos Clientes	Horas	800	940	1.100	1.300	1.340	1.400	1.440	1.440	1.500	1.540	1.560	1.580	1.580	1.600	1.600
	Precio	185	189	192	196	200	204	208	213	217	221	226	230	235	239	244
	Ingresos	148.000	177.378	211.721	255.221	268.335	285.957	300.010	306.010	325.135	340.482	351.802	363.438	370.707	382.908	390.566
Horas De Haz Socios	Horas	1.600	1.880	2.200	2.600	2.680	2.800	2.880	2.880	3.000	3.080	3.120	3.160	3.160	3.200	3.200
	Precio	75	77	78	80	81	83	84	86	88	90	91	93	95	97	99
	Ingresos	120.000	143.820	171.666	206.936	217.569	231.857	243.251	248.116	263.623	276.066	285.245	294.680	300.573	310.466	316.675
Análisis De Datos Socios	Horas	3.200	3.760	4.400	5.200	5.360	5.600	5.760	5.760	6.000	6.160	6.240	6.320	6.320	6.400	6.400
	Precio	111	113	115	118	120	123	125	128	130	133	135	138	141	144	146
	Ingresos	355.200	425.707	508.131	612.529	644.004	686.297	720.023	734.424	780.325	817.156	844.324	872.252	889.697	918.978	937.358
<b>TOTAL INGRESOS</b>		<b>983.200</b>	<b>1.178.365</b>	<b>1.406.517</b>	<b>1.695.492</b>	<b>1.782.614</b>	<b>1.899.681</b>	<b>1.993.037</b>	<b>2.032.898</b>	<b>2.159.954</b>	<b>2.261.904</b>	<b>2.337.105</b>	<b>2.414.409</b>	<b>2.462.697</b>	<b>2.543.748</b>	<b>2.594.623</b>

Revisión IPC	2%
Periodo Medio De Cobro (Días)	30

	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5	AÑO 6	AÑO 7	AÑO 8	AÑO 9	AÑO 10	AÑO 11	AÑO 12	AÑO 13	AÑO 14	AÑO 15
Crédito A Clientes	80.811	96.852	115.604	139.356	146.516	156.138	163.811	167.088	177.530	185.910	192.091	198.445	202.413	209.075	213.257



## **6.8 CUENTA DE RESULTADOS**

---

La Cuenta de Resultados o Cuenta de Pérdidas y Ganancias es el documento que informa del resultado de la gestión de la empresa como consecuencia de las operaciones ordinarias (ingresos y gastos) que realizada de forma continuada, y de las cuales se obtiene un resultado.

Así la cuenta de resultados es la parte de los estados financieros de una empresa que indica cómo los ingresos (dinero recibido de la venta de productos y servicios) se transforma en el beneficio o utilidad (el resultado después de que todos los ingresos y gastos se hayan contabilizado, también conocidos como el Beneficio Neto o utilidad neta). Muestra los ingresos de un período determinado, y el coste y los gastos con cargo a estos ingresos, incluyendo y los impuestos.

Para el cálculo de la cuenta de resultados que aparecen en la tabla 35, se ha considerado los siguientes ítems:

**Ventas Netas:** las cuales recogen los ingresos derivados de la actividad de la empresa, obtenidos por la prestación de servicios y reflejados a los precios que figuran en las tablas 31 y 32, una vez deducidos los descuentos, bonificaciones y rebajas.

**Costes de las Ventas:** Recogen la totalidad del importe que la empresa ha de pagar a los suministradores, por los materiales consumidos cuando se da el servicio, así como el resto de gastos proporcionales de comercialización imputables directamente a las ventas.

**Margen Bruto sobre Ventas:** Es la diferencia entre la cifra de ventas y los gastos variables, y se convierte en el primer escalón del cálculo del beneficio. La empresa debe conseguir, siempre, un margen bruto suficiente para superar el resto de gastos (los de explotación, financieros y excepcionales), y alcanzar así, los objetivos propuesto de rentabilidad.

**Gastos de Explotación:** Son aquellos gastos provocados por la estructura de la empresa y no imputables de una manera directa al volumen de ventas. Se les llama con frecuencia gastos fijos, en contraposición a los gastos variables que si dependen de dicho volumen de ventas.

Entre los mismos podemos destacar los siguientes:

***Gastos de Personal:*** retribuciones al personal, cualquiera que sea la forma y el concepto por el que se satisfacen, cuotas a la Seguridad Social y demás gastos de carácter social, como: sueldos y salarios, seguros sociales a cargo de la empresa, etc.



# UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)

INGENIERO EN ORGANIZACIÓN INDUSTRIAL

**Tributos:** son todos aquellos impuestos, tasas y contribuciones especiales que recaen sobre la empresa.

**Suministros:** recogen los consumos de materias energéticas y cualquier otro abastecimiento que no tenga naturaleza de almacenable y sea aplicable al proceso de dar servicio, tales como: electricidad, agua, etc.

**Primas de Seguros:** cantidades abonadas a terceros por la cobertura de determinados riesgos sobre las personas y sobre los bienes integrantes del patrimonio empresarial.

**Mantenimiento, Reparaciones y Conservación:** cantidades destinadas a subsanar las averías que se produzcan en los elementos de inmovilizado material (reparaciones), o a realizar trabajos destinados a evitarlas (conservación).

**Otros Servicios:** incluye los no comprendidos en los conceptos anteriores, como por ejemplo: gastos de viajes del personal de la empresa: manutención, alojamiento y transporte (dietas); y los de oficina, tal como material de oficina fungible utilizado para la administración de la empresa.

**Dotación de Amortizaciones del Inmovilizado:** refleja la depreciación efectiva y sistemática que se produce en los elementos de inmovilizado, como consecuencia de su utilización en el proceso productivo.

**Impuestos sobre Beneficios:** Es el impuesto que grava periódicamente los rendimientos empresariales (el resultado positivo de la actividad). Aunque se trata de un tributo, es distinto al resto, por eso no pertenece al grupo de los gastos estructurales.

Tipo de gravamen	Primeros 300.000 €	Restante
Tipo general	30%	30%
Entidades con cifra de negocio < 10 millones de euros	25%	30%
Entidades con cifra de negocio < 5 millones de euros	20%	25%
Entidades de nueva creación	15%	20%

Tabla 34. Tabla resumen de los tipos de gravámenes actuales (I.S) [AT12/13]

Con carácter **general** el tipo de gravamen es del **30%** sobre la base imponible. Este gravamen es el que se ha considerado a efecto de los cálculos realizados en la tabla 35.

**Resultado Neto (B.D.I):** En el supuesto de que el resultado antes de impuestos sea positivo, correspondería al resultado obtenido una vez deducido el impuesto sobre beneficios.

Todo lo anteriormente explicado se puede observar calculado en la tabla 35.



# UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)

INGENIERO EN ORGANIZACIÓN INDUSTRIAL

Impuesto de Sociedades	30%
------------------------	-----

CUENTA DE RESULTADOS	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5	AÑO 6	AÑO 7	AÑO 8	AÑO 9	AÑO 10	AÑO 11	AÑO 12	AÑO 13	AÑO 14	AÑO 15
Ventas	983.200	1.178.365	1.406.517	1.695.492	1.782.614	1.899.681	1.993.037	2.032.898	2.159.954	2.261.904	2.337.105	2.414.409	2.462.697	2.543.748	2.594.623
Aprovisionamiento	39.550	39.741	39.936	40.135	40.337	40.544	40.755	40.970	41.189	41.413	41.641	41.874	42.112	42.354	42.601
<b>Margen</b>	<b>943.650</b>	<b>1.138.624</b>	<b>1.366.581</b>	<b>1.655.357</b>	<b>1.742.277</b>	<b>1.859.137</b>	<b>1.952.282</b>	<b>1.991.928</b>	<b>2.118.765</b>	<b>2.220.491</b>	<b>2.295.463</b>	<b>2.372.535</b>	<b>2.420.586</b>	<b>2.501.394</b>	<b>2.552.022</b>
Gastos de personal	240.900	250.632	292.787	362.452	473.430	482.898	492.151	501.589	511.215	521.034	531.049	541.265	551.685	562.313	573.154
Otros gastos	38.400	39.168	39.951	40.750	72.815	74.272	75.757	77.272	78.818	80.394	82.002	83.642	85.315	87.021	88.762
<b>EBITDA</b>	<b>664.350</b>	<b>848.824</b>	<b>1.033.842</b>	<b>1.252.155</b>	<b>1.196.032</b>	<b>1.301.967</b>	<b>1.384.374</b>	<b>1.413.067</b>	<b>1.528.732</b>	<b>1.619.063</b>	<b>1.682.412</b>	<b>1.747.628</b>	<b>1.783.586</b>	<b>1.852.060</b>	<b>1.890.107</b>
Amortizaciones	275.417	282.083	288.750	295.417	295.417	295.417	295.417	301.667	301.667	301.667	301.667	301.667	301.667	301.667	301.667
Subvención	116.133	116.133	116.133	116.133	116.133	116.133	116.133	116.133	116.133	116.133	116.133	116.133	116.133	116.133	116.133
<b>BAI</b>	<b>505.067</b>	<b>682.874</b>	<b>861.226</b>	<b>1.072.871</b>	<b>1.016.748</b>	<b>1.122.684</b>	<b>1.205.091</b>	<b>1.227.534</b>	<b>1.343.199</b>	<b>1.433.530</b>	<b>1.496.879</b>	<b>1.562.095</b>	<b>1.598.053</b>	<b>1.666.527</b>	<b>1.704.573</b>
I.S	151.520	204.862	258.368	321.861	305.025	336.805	361.527	368.260	402.960	430.059	449.064	468.628	479.416	499.958	511.372
<b>B.D.I</b>	<b>353.547</b>	<b>478.012</b>	<b>602.858</b>	<b>751.010</b>	<b>711.724</b>	<b>785.879</b>	<b>843.564</b>	<b>859.274</b>	<b>940.239</b>	<b>1.003.471</b>	<b>1.047.815</b>	<b>1.093.466</b>	<b>1.118.637</b>	<b>1.166.569</b>	<b>1.193.201</b>

Tabla 35. Cuenta de Resultados

**EBITDA:** Earnings before interests, taxes, depreciations and amortizations. En español equivale a Beneficios antes de amortizaciones, provisiones, intereses e impuestos.

**BAI:** Beneficios antes de impuestos.

**BDI:** Beneficios después de impuestos





## 6.9 CASH FLOW

---

El flujo de caja o flujo de fondos (en inglés cash flow) son los flujos de entradas y salidas de caja o efectivo, en un período dado.

El flujo de caja es la acumulación neta de activos líquidos en un periodo determinado y, por lo tanto, constituye un indicador importante de la liquidez de una empresa.

El estudio de los flujos de caja dentro de una empresa es utilizado para determinar:

- Problemas de liquidez. El ser rentable no significa necesariamente poseer liquidez. Una compañía puede tener problemas de efectivo, aun siendo rentable. Por lo tanto, permite anticipar los saldos en dinero.
- Para analizar la viabilidad de proyectos de inversión, los flujos de fondos son la base de cálculo del Valor actual neto y de la Tasa interna de retorno, VAN y TIR, respectivamente.
- Para medir la rentabilidad o crecimiento de un negocio cuando se entienda que las normas contables no representan adecuadamente la realidad económica.

El cálculo de la tesorería se ha realizado a partir del beneficio sumando los cobros y pagos no incluidos en la cuenta de resultados. Los ejercicios corresponden a años completos a partir del inicio de la actividad. Todo ellos lo podemos ver en la tabla 36 y en el grafico 19.

Como se observa en ambos gráficos, la recuperación de la inversión y el inicio de la generación de beneficios es muy rápido, y transcurre dentro de los tiempos normales que tiene cualquier inversión rentable hoy en día. Así se puede afirmar una clara recuperación de la inversión desde el año uno hasta el año cinco donde se termina de recuperar todo el capital invertido y la instalación empieza a generar beneficios de forma creciente debido al extenso potencial que tiene el acelerador dentro de unos mercados tan exigentes y con tantas necesidades de innovación y desarrollo para permitir a las empresas que en él participan seguir siendo competitivas.



# UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)

INGENIERO EN ORGANIZACIÓN INDUSTRIAL

	AÑO 0	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5	AÑO 6	AÑO 7	AÑO 8	AÑO 9	AÑO 10	AÑO 11	AÑO 12	AÑO 13	AÑO 14	AÑO 15
<b>B.D.I</b>		353.547	478.012	602.858	751.010	711.724	785.879	843.564	859.274	940.239	1.003.471	1.047.815	1.093.466	1.118.637	1.166.569	1.193.201
Saldo inicial		-2.613.000	-2.271.229	-1.743.261	-1.086.491	-279.900	603.997	1.559.588	2.574.814	3.566.398	4.681.781	5.862.461	7.089.685	8.362.388	9.662.648	11.008.148
Amortizaciones		275.417	282.083	288.750	295.417	295.417	295.417	295.417	301.667	301.667	301.667	301.667	301.667	301.667	301.667	301.667
Subvención	1.742.000	-116.133	-116.133	-116.133	-116.133	-116.133	-116.133	-116.133	-116.133	-116.133	-116.133	-116.133	-116.133	-116.133	-116.133	-116.133
Crédito de proveedores		9.752	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	59	60	61
Crédito a clientes		-80.811	-16.041	-18.752	-23.751	-7.161	-9.622	-7.673	-3.276	-10.443	-8.379	-6.181	-6.354	-3.969	-6.662	-4.182
Inversiones	-4.355.000	-100.000	-100.000	-100.000	-100.000				-50.000							
<b>F.C.</b>	<b>-2.613.000</b>	<b>2.271.229</b>	<b>1.743.261</b>	<b>1.086.491</b>	<b>-279.900</b>	<b>603.997</b>	<b>1.559.588</b>	<b>2.574.814</b>	<b>3.566.398</b>	<b>4.681.781</b>	<b>5.862.461</b>	<b>7.089.685</b>	<b>8.362.388</b>	<b>9.662.648</b>	<b>11.008.148</b>	<b>12.382.763</b>

Tabla 36. Tesorería al final de cada año

**F.C.:** Flujo de caja después de impuestos

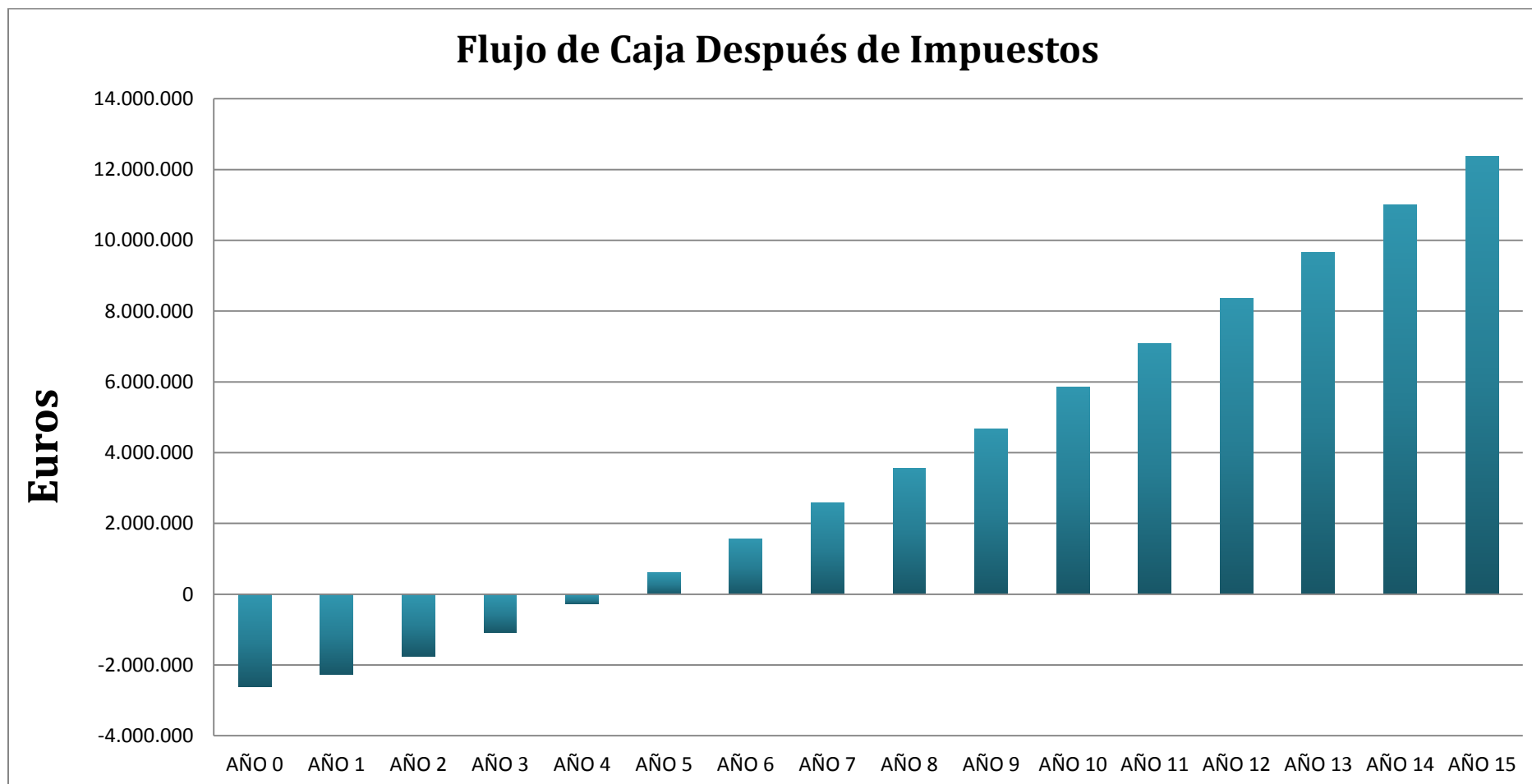


Gráfico 20. Evolución del Cash Flow a lo largo del periodo de estudio



# UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)

INGENIERO EN ORGANIZACIÓN INDUSTRIAL

---

## **6.10 BALANCE**

---

El Balance general, Balance de situación o estado de situación patrimonial es un informe financiero contable que refleja la situación de una empresa en un momento determinado.

El estado de situación financiera se estructura a través de tres conceptos patrimoniales, el activo, el pasivo y el patrimonio neto, desarrollados cada uno de ellos en grupos de cuentas que representan los diferentes elementos patrimoniales.

El activo incluye todas aquellas cuentas que reflejan los valores de los que dispone la empresa. Todos los elementos del activo son susceptibles de traer dinero a la empresa en el futuro, bien sea mediante su uso, su venta o su cambio. Por el contrario, el pasivo: muestra todas las obligaciones ciertas del ente y las contingencias que deben registrarse. Estas obligaciones son, naturalmente, económicas: préstamos, compras con pago diferido, etc.

En la tabla que se muestra a continuación, aparece el Balance previsional que tendrá la empresa a lo largo de los quince años de estudio.



# UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)

INGENIERO EN ORGANIZACIÓN INDUSTRIAL

BALANCE PREVISIONAL	INICIO	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5	AÑO 6	AÑO 7	AÑO 8	AÑO 9	AÑO 10	AÑO 11	AÑO 12	AÑO 13	AÑO 14	AÑO 15
<b>ACTIVO</b>																
Inmovilizado	4.355.000	4.455.000	4.555.000	4.655.000	4.755.000	4.755.000	4.755.000	4.755.000	4.805.000	4.805.000	4.805.000	4.805.000	4.805.000	4.805.000	4.805.000	4.805.000
Amortizaciones		275.417	557.500	846.250	1.141.667	1.437.083	1.732.500	2.027.917	2.329.583	2.631.250	2.932.917	3.234.583	3.536.250	3.837.917	4.139.583	4.441.250
<b>TOTAL ACTIVO NO CORRIENTE</b>	<b>4.355.000</b>	<b>4.179.583</b>	<b>3.997.500</b>	<b>3.808.750</b>	<b>3.613.333</b>	<b>3.317.917</b>	<b>3.022.500</b>	<b>2.727.083</b>	<b>2.475.417</b>	<b>2.173.750</b>	<b>1.872.083</b>	<b>1.570.417</b>	<b>1.268.750</b>	<b>967.083</b>	<b>665.417</b>	<b>363.750</b>
Cientes		80.811	96.852	115.604	139.356	146.516	156.138	163.811	167.088	177.530	185.910	192.091	198.445	202.413	209.075	213.257
Tesorería						603.997	1.559.588	2.574.814	3.566.398	4.681.781	5.862.461	7.089.685	8.362.388	9.662.648	11.008.148	12.382.763
<b>TOTAL ACTIVO CORRIENTE</b>		<b>80.811</b>	<b>96.852</b>	<b>115.604</b>	<b>139.356</b>	<b>750.513</b>	<b>1.715.726</b>	<b>2.738.625</b>	<b>3.733.485</b>	<b>4.859.312</b>	<b>6.048.371</b>	<b>7.281.776</b>	<b>8.560.833</b>	<b>9.865.062</b>	<b>11.217.224</b>	<b>12.596.019</b>
<b>TOTAL ACTIVO</b>	<b>4.355.000</b>	<b>4.260.394</b>	<b>4.094.352</b>	<b>3.924.354</b>	<b>3.752.689</b>	<b>4.068.430</b>	<b>4.738.226</b>	<b>5.465.708</b>	<b>6.208.902</b>	<b>7.033.062</b>	<b>7.920.454</b>	<b>8.852.192</b>	<b>9.829.583</b>	<b>10.832.145</b>	<b>11.882.640</b>	<b>12.959.769</b>

Tabla 37. Balance previsional (Activo)



# UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)

INGENIERO EN ORGANIZACIÓN INDUSTRIAL

PASIVO	INICIO	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5	AÑO 6	AÑO 7	AÑO 8	AÑO 9	AÑO 10	AÑO 11	AÑO 12	AÑO 13	AÑO 14	AÑO 15
Recursos propios	2.613.000	2.713.000	2.813.000	2.913.000	3.013.000	3.013.000	3.013.000	3.013.000	3.013.000	3.013.000	3.013.000	3.013.000	3.013.000	3.013.000	3.013.000	3.013.000
Reservas		353.547	831.558	1.434.416	2.185.426	2.897.150	3.683.029	4.526.593	5.385.866	6.326.105	7.329.576	8.377.391	9.470.858	10.589.495	11.756.064	12.949.265
Resultados negativos																
Subvención	1.742.000															
<b>TOTAL NO CORRIENTE</b>	<b>4.355.000</b>	<b>3.066.547</b>	<b>3.644.558</b>	<b>4.347.416</b>	<b>5.198.426</b>	<b>5.910.150</b>	<b>6.696.029</b>	<b>7.539.593</b>	<b>8.398.866</b>	<b>9.339.105</b>	<b>10.342.576</b>	<b>11.390.391</b>	<b>12.483.858</b>	<b>13.602.495</b>	<b>14.769.064</b>	<b>15.962.265</b>
Proveedores		9.752	9.799	9.847	9.896	9.946	9.997	10.049	10.102	10.156	10.211	10.268	10.325	10.384	10.443	10.504
Tesorería negativa		2.271.229	1.743.261	1.086.491	279.900											
<b>TOTAL CORRIENTE</b>		<b>2.280.981</b>	<b>1.753.060</b>	<b>1.096.338</b>	<b>289.796</b>	<b>9.946</b>	<b>9.997</b>	<b>10.049</b>	<b>10.102</b>	<b>10.156</b>	<b>10.211</b>	<b>10.268</b>	<b>10.325</b>	<b>10.384</b>	<b>10.443</b>	<b>10.504</b>
<b>TOTAL PASIVO</b>	<b>4.355.000</b>	<b>5.347.528</b>	<b>5.397.619</b>	<b>5.443.754</b>	<b>5.488.222</b>	<b>5.920.096</b>	<b>6.706.026</b>	<b>7.549.642</b>	<b>8.408.968</b>	<b>9.349.262</b>	<b>10.352.787</b>	<b>11.400.659</b>	<b>12.494.183</b>	<b>13.612.878</b>	<b>14.779.507</b>	<b>15.972.769</b>

Tabla 38. Balance previsional (Pasivo)



## 6.11 PUNTO DE EQUILIBRIO

El análisis del punto de equilibrio es una técnica útil para estudiar las relaciones entre los costes fijos, los costes variables y los beneficios. El punto de equilibrio es el nivel de producción en el que son exactamente iguales los ingresos por ventas a la suma de los costes fijos y los variables. Esta no es una técnica para evaluar la rentabilidad de una inversión. Sin embargo, se ha calculado el punto mínimo de servicios que deben darse para no incurrir en pérdidas, sin que esto signifique que aunque haya ganancias éstas sean suficientes para hacer rentable el proyecto.

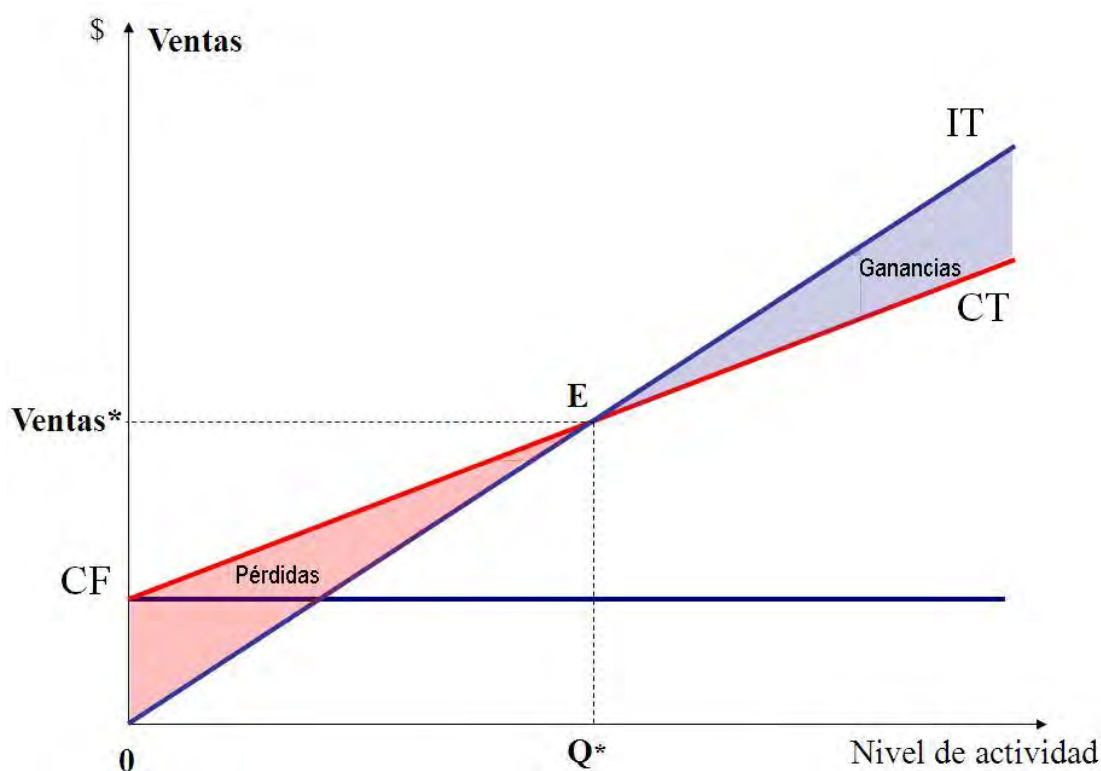


Ilustración 43. Punto de equilibrio.

*Fuente:* Alejandro Chambergo García, Blog Finanzas

Como se puede observar en la tabla 39, el margen sobre ventas es muy amplio debido a que los costes variables son relativamente bajos. Por lo tanto el punto de equilibrio resulta siempre estar por debajo de las ventas, lo cual indica que la empresa siempre se encuentra en la zona de beneficios como se observa en la ilustración 41.





# UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)

INGENIERO EN ORGANIZACIÓN INDUSTRIAL

**Tabla 39. Calculo del punto de equilibrio**

PUNTO DE EQUILIBRIO	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5	AÑO 6	AÑO 7	AÑO 8	AÑO 9	AÑO 10	AÑO 11	AÑO 12	AÑO 13	AÑO 14	AÑO 15	LIMITES
Ventas (V)	983.200	1.178.365	1.406.517	1.695.492	1.782.614	1.899.681	1.993.037	2.032.898	2.159.954	2.261.904	2.337.105	2.414.409	2.462.697	2.543.748	2.594.623	
Coste variables (C)	39.550	39.741	39.936	40.135	40.337	40.544	40.755	40.970	41.189	41.413	41.641	41.874	42.112	42.354	42.601	
Margen (M)	943.650	1.138.624	1.366.581	1.655.357	1.742.277	1.859.137	1.952.282	1.991.928	2.118.765	2.220.491	2.295.463	2.372.535	2.420.586	2.501.394	2.552.022	>CF
% Margen s/ventas	96%	97%	97%	98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%	
Costes fijos (CF)	369.300	383.436	428.247	549.331	744.980	759.879	774.672	789.760	805.149	820.847	836.858	853.190	869.849	886.840	904.171	<M
Punto de Equilibrio	384.778	396.819	440.762	562.650	762.228	776.451	790.843	806.003	820.802	836.156	852.040	868.249	884.982	901.856	919.265	<V

**Margen** = Ventas - Costes Variables

**% Margen Sobre Ventas** = (Margen X 100)/ Ventas

**Punto de Equilibrio:** Ventas mínimas para no obtener pérdidas. **P.E.**= Costes Fijos/%Margen



#### **6.12 ANÁLISIS DEL BALANCE**

---

El análisis de estados financieros comienza por el análisis del Balance. El Balance presenta la situación patrimonial de la empresa, y por lo tanto su estudio nos permitirá evaluar los siguientes aspectos:

**La situación de liquidez o capacidad de pago.** Nos interesa conocer si la estructura patrimonial existente permitirá atender las obligaciones de pago no sólo a corto sino también a largo plazo. La capacidad de pago se denomina solvencia, y puede analizarse desde una perspectiva a corto y a largo plazo, en el presente estudio se ha realizado desde una perspectiva a corto plazo a través del ratio de liquidez, el cual nos indica la capacidad para hacer frente a las obligaciones a corto basándose en la realización del activo circulante, es conveniente que esté por encima de 1,5 y en el estudio que se presenta en la tabla 40, se pudo observar como los cuatro primeros años está por debajo de este valor pero los siguientes años el ratio se recupera con fuerza sobrepasando con creces las expectativas e indicando que a partir del año quinto la empresa puede hacer frente a sus obligaciones a corto con solvencia.

**Prueba Ácida:** es una prueba de liquidez y es un índice financiero, que nos indica o mide la capacidad inmediata que tenemos para pagar las deudas u obligaciones a corto plazo.

Se considera aceptable un valor entre 0,8 y 1. Un valor por debajo del 0,8 nos situará técnicamente en suspensión de pagos y por encima de 1 nos alerta sobre excesivos activos líquidos en la empresa. En la tabla 40 podemos ver como en los cuatro primeros años la empresa se encuentra en suspensión de pagos y a partir del quinto año la empresa pasa a una situación de exceso de liquidez lo que indica que la empresa tiene la necesidad de reinvertir para rebajar el exceso de liquidez, porque un exceso de liquidez tampoco es bueno para la empresa, por lo tanto, la empresa deberá prever planes de inversión en su infraestructura pudiendo realizar inversiones en I+D sobre las líneas de haz, núcleo principal de la instalación y seguir compitiendo en el más alto nivel de tecnología ofreciendo así a sus clientes las técnicas más adecuadas para cada experimento.

**El Fondo de Maniobra** es el resultado de la diferencia entre el Activo Circulante y el Exigible a Corto Plazo.

El Fondo de Maniobra permite hacer frente a los desfases entre los cobros y los pagos que debe realizar la empresa, es decir, garantiza la liquidez a corto plazo. Ahora bien, este ha de estar adecuadamente dimensionado ya que de lo contrario estaríamos ante una situación de exceso de liquidez a corto y por lo tanto ante recursos ociosos. Como se muestra en la tabla 40, existe un exceso de recursos ociosos, por lo que se hace imprescindible que después del quinto año de operación, se realice un plan de reinversión de recursos para evitar este exceso de liquidez y seguir generando beneficios a través de este exceso de liquidez.



# UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)

INGENIERO EN ORGANIZACIÓN INDUSTRIAL

---

Debido a que contar con un Fondo de Maniobra adecuado proporcionará a la empresa solvencia y estabilidad financiera. El estudio del Fondo de Maniobra resulta fundamental en el análisis financiero, ya que permite conocer la estructura patrimonial que más conviene a una determinada empresa. Y como se observa en la tabla 40, se cuenta con un fondo de maniobra suficiente lo que garantiza estabilidad al ser la parte del activo circulante financiada con recursos permanentes.



**UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS**  
**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)**  
**INGENIERO EN ORGANIZACIÓN INDUSTRIAL**

**Tabla 40. Análisis del Balance**

	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5	AÑO 6	AÑO 7	AÑO 8	AÑO 9	AÑO 10	AÑO 11	AÑO 12	AÑO 13	AÑO 14	AÑO 15	LIMITES
<b>ANÁLISIS DEL BALANCE</b>																
Fondo de maniobra	-1.113.037	-352.942	538.666	1.585.093	2.592.233	3.673.529	4.812.509	5.923.450	7.165.355	8.470.493	9.819.975	11.215.108	12.635.411	14.103.647	15.598.515	>0
Tesorería	-2.271.229	-1.743.261	-1.086.491	-279.900	603.997	1.559.588	2.574.814	3.566.398	4.681.781	5.862.461	7.089.685	8.362.388	9.662.648	11.008.148	12.382.763	>0
Prueba Acida	0,04	0,06	0,11	0,48	75	172	273	370	478	592	709	829	950	1074	1199	>0,8
Ratio de Liquidez	0,04	0,06	0,11	0,48	75	172	273	370	478	592	709	829	950	1074	1199	>1,5



### **6.13 RENTABILIDAD ECONÓMICA**

---

El primero de los indicadores de rentabilidad económica que se ha considerado es el Valor Actualizado Neto (VAN) que, como su nombre indica, calcula el valor absoluto de la diferencia entre los Flujos Netos de Efectivo actualizados a una tasa de interés prefijado (coste del dinero o tasa de referencia) y las inversiones actualizadas a la misma tasa.

Un VAN positivo, como es el obtenido en los cálculos de la tabla 41, indica que la inversión en el proyecto produce beneficios superiores a los que podrían obtenerse invirtiendo la misma cantidad a la tasa de referencia. Su valor absoluto positivo es el incremento patrimonial actualizado que experimenta la empresa por acometer el proyecto, con lo que cuanto más alto sea, mejor será el proyecto que se pretende hacer y como se observa en la tabla 41, el valor del VAN es siempre positivo para cualquier tasa de rentabilidad exceptuando, si le exigimos al proyecto una tasa del 25% o 30%, que en este caso el VAN sería negativo, dado que el TIR es del 24%.

El segundo indicador es la TRI o tasa interna de retorno. Se calcula la tasa de descuento que iguala el valor acumulado de las inversiones con el valor actualizado de los flujos netos de efectivo esperados.

Con este indicador en lugar de descontar los flujos netos de efectivo a una tasa prefijada, se obtiene aquella tasa de descuento que iguala el valor actualizado de los flujos esperados con las inversiones.

Es una forma inversa de operar a como se hace con el VAN. Con éste se obtiene el incremento patrimonial actualizado, mientras que con la TRI se halla la tasa de descuento que hace el VAN = 0.

Económicamente hablando puede decirse que el presente proyecto, el cual tiene una TRI de un 24 % va a generar liquidez suficiente para:

- Remunerar al 24 % el capital invertido en el proyecto.
- Devolver el capital invertido.

Por lo tanto el proyecto que se presente es al menos tres veces más rentable que la rentabilidad que se nos puede ofrecer en una inversión financiera ya que actualmente la máxima remuneración que se puede obtener es del 8%. Por lo tanto la TIR está muy por encima del coste de oportunidad.



# UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)

INGENIERO EN ORGANIZACIÓN INDUSTRIAL

<b>VAN</b>	59.360.790,11	30.413.831,17	15.171.701,59	6.842.644,74	2.143.490,63	-578.980,18	-2.189.028,44
<b>Rentabilidad Exigida (r)</b>	0,00%	5,00%	10,00%	15,00%	20,00%	25,00%	30,00%
<b>TIR</b>	24%						

Tabla 41. Cálculo del VAN y el TIR

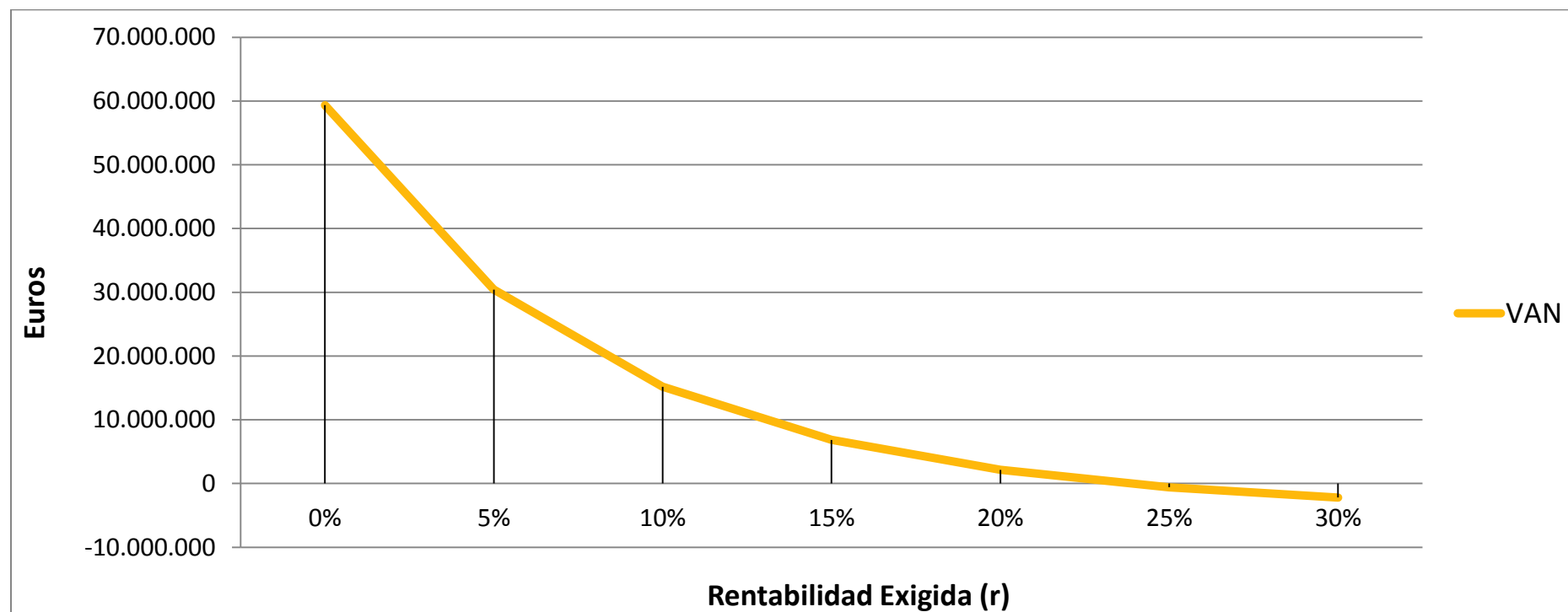


Gráfico 21. Evolución del VAN según la rentabilidad exigida (r)



## Capítulo 7 Conclusiones

Como ya se ha observado a lo largo de este trabajo, un haz de partículas es una herramienta muy útil. Si el haz de partículas tiene la energía correcta y la intensidad justa puede reducir un tumor, detectar un objeto sospechoso en carga, producir energía limpia, fabricar un neumático radial mejor, trazar proteínas, estudiar una explosión nuclear, limpiar el agua sucia para beberla, diseñar un nuevo medicamento, diagnosticar una enfermedad, reducir la basura nuclear, fabricar un cable automotriz resistente al calor, detectar la falsificación de arte, implantar iones en semiconductores, datar objetos arqueológicos o descubrir los secretos del universo.

Además, los haces producidos hoy día en aceleradores de partículas se orientan al estudio de los problemas de nuestra sociedad: energía, medio ambiente, empleos dignos y seguridad económica, salud, etc. La nueva generación de aceleradores tendrá un potencial aún mayor y contribuirá aún más a la salud, riqueza y seguridad de las naciones que los diseñan, producen y usan.

Por todo ello, el presente proyecto pretende arrojar más luz si cabe, a la viabilidad económica y técnica que esta tecnología ostenta, a través la clara oportunidad de negocio que el acelerador Tandem representa, tanto para quienes lo construyen como para aquellos que se benefician de él.

La metodología seguida para lograr el éxito del estudio que se presenta ha sido la más adecuada acorde a las características técnicas del mismo así como la especialización del proyecto. Seguidamente, el estudio de la viabilidad del proyecto se ha realizado en consecuencia a lo anterior, por lo que finalmente se concluye que la metodología seguida en los dos ámbitos, técnica y económica, ha sido la más adecuada para este tipo de proyectos.

De manera consecutiva se concluye que la oportunidad de negocio presenta a través de un modelo de oportunidad basado en 4 puntos principales:

### **1. Diferenciación**

El modelo de negocio se presenta con una propuesta diferencial en el panorama competitivo actual y futuro, ya que la mayor parte de los aceleradores para investigación se encuentran en instalaciones científicas donde en muchos casos es difícil conseguir el suficiente tiempo de haz para realizar experimentos que los diferentes sectores puedan requerir. Por esta razón, el proyecto que se presenta pretende acercar la tecnología de aceleradores a la industria, mediante un modelo de negocio que se diferencia del resto.

### **2. Especialización**





# UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)

INGENIERO EN ORGANIZACIÓN INDUSTRIAL

---

Una de las bondades de esta oportunidad de negocio radica en el número, escaso, de instalaciones semejantes a la que aquí se presenta. Es cierto que existen varias decenas de laboratorios con aceleradores de partículas prácticamente en todo el mundo, de los cuales, en operación se encuentra dentro de la ciencia, la industria y la salud solo 30.000. De todos ellos, 160 son del tipo Tandem con energías entre 1 y 5 MV y tan solo 54 de 6 MV o superiores distribuidos por todo el mundo. Más concretamente en España en la actualidad operan dos, el del CMAM de 5 MV que entró en operación hace 12 años y el del CNA de 1 MV que lleva más de 17 años en activo. Ninguno de ellos posee la energía ni todo lo que ello representa como el acelerador Tandem de 6 MV.

### 3. Versatilidad

El acelerador Tandem de 6 MV cuenta con el mayor porcentaje de aplicación dentro de la industria a través de dos de las aplicaciones con mayor importancia para 9 de los 15 sectores que más invierten en I+D del mundo que se exponen a continuación. Estas aplicaciones son, la implantación iónica (fundamental para el desarrollo de la electrónica) y el análisis con haces de iones.

### 4. Relevancia

Todo lo anteriormente expuesto, le permite al acelerador Tandem ser un pieza fundamental en el desarrollo e innovación de 9 de los 15 sectores que más invierten en I+D del mundo, a través de su amplio espectro de aplicaciones. Estos son:

1. Productos Farmacéuticos y Biotecnología
2. Tecnología Hardware y Equipos
3. Automóviles & Partes
4. Equipos Electrónicos y Eléctricos
5. Ingeniería Industrial
6. Aeroespacial y Defensa
7. General de Industria
8. Equipos para el Cuidado de la Salud
9. Productores de Petróleo y Gas

Tan solo 3 de los 9 sectores citados anteriormente acumulan más del 50% de la inversión en I+D mundial y además, cabe destacar que los 6 primeros sectores representan más del 70% de inversión en I+D a nivel mundial.

Por lo tanto, el potencial de mercado global asciende a 360 billones de euros con un crecimiento anual del 6,65 %, superior a la media mundial. El potencial que le corresponde al mercado europeo es de 130 billones de euros con un crecimiento anual del 6,3% en 3 años.

Finalmente tras realizar un exhaustivo análisis económico y siempre desde un escenario pesimista, se puede concluir que, económicamente hablando, el proyecto que se



# UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)

INGENIERO EN ORGANIZACIÓN INDUSTRIAL

---

presenta como una clara y rentable oportunidad de negocio, definitivamente lo es, a raíz de los datos arrojados por el estudio económico.

De esta manera se cuantifica la inversión inicial en 4.355.000 euros, para la cual se ha considerado un modelo de financiación muy novedoso e interesante desde el punto de vista del negocio. El cual consiste en que las empresas que puedan necesitar el acelerador compren una participación del mismo que le dé derecho al uso de un número de horas proporcional al capital invertido. Y las horas sobrantes serán alquiladas a otras empresas. De esta manera no solo se consigue que los socios aporten el capital necesario para cubrir el 40% de la inversión, si no, que además, son clientes cautivos de la instalación a largo plazo, permitiendo cubrir las expectativas de ingresos iniciales.

Por lo tanto el modelo de financiación resultaría de la siguiente manera. La aportación de fondos propios representa un 60% del capital necesario para cubrir la inversión inicial. De este 60%, un 20% es aportado por los socios y el 40% restante, por las empresas interesadas a través de la compra de participaciones, de la forma que se ha comentado anteriormente. Por último, los fondos europeos y nacionales mediante subvenciones aportan un 40% del capital inicial, completándose de esta manera todo el modelo de financiación necesaria.

Las expectativas de ingresos son muy favorables, a pesar de haber enfocado el estudio desde la perspectiva más pesimista posible, aun así, el respaldo que aportan los socios es de vital importancia ya que esto permite cumplir con las expectativas de ingresos iniciales, al tratarse, como ya se ha comentado, de clientes cautivos a largo plazo y suponer un 40% de los ingresos por tiempo de haz y un 80% por análisis de datos. Asimismo, los clientes representarán el 60% de los ingresos por tiempo de haz y el 20% por análisis de datos, ya que lo habitual es que los clientes analicen los resultados obtenidos ellos mismos. De todo ellos se desprende que, la previsión del crecimiento de los ingresos se estima, en torno a un 6% anual.

Por último, se ha realizado un análisis económico del proyecto de inversión para obtener el VAN (valor actualizado neto de los flujos de caja del proyecto) y la TIR (Tasa interna de rentabilidad de la inversión).

La conclusión que se desprende del análisis económico del proyecto es que la rentabilidad que podemos obtener es muy superior a la media de estos proyectos, que suele ser del 8%. Para la inversión inicial prevista de 4.355.000 euros con la rentabilidad (r) del 8% obtendríamos un VAN de 20.000.000 euros. Por ello, la rentabilidad del nuestro proyecto (TIR) ascendería al 24%. Estos datos garantizan las inversiones y adhesiones necesarias al proyecto para su ejecución.



**UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS**  
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)  
INGENIERO EN ORGANIZACIÓN INDUSTRIAL

---



## Bibliografía

Debido a la dificultad técnica del proyecto, la bibliografía ha sido de vital importancia para su realización. A continuación se presentan las referencias bibliográficas.

- [HAMM13] Industrial Accelerators, Robert W. Hamm, R&M Technical Enterprises, Inc., Pleasanton, California, USA, May 15, 2013, IPAC-13, Shanghai, People's Republic of China.
- [FAOB] S. Falcon, M. Marco, D. Obradors, CIEMAT, España. *Education And Training In Accelerator Science In Spain*
- [DOE10] Department of Energy, EE.UU. *The Accelerators for America's Future workshop in 2010*
- [DIAZ09] José Díaz Medina. *La Física Nuclear Experimental en el mundo. Curso 2008-2009. Departament de Física Atòmica, Molecular i Nuclear, Facultat de Física - Universitat de València.*
- [JAAF03] Aceleradores en la investigación y la industria, 2003, Juan Andrés Aspiazu Fabiá, ININ.
- [BACH11] Diana Bachiller Perea, CMAM. *Montaje y caracterización de un sistema para la aplicación de la técnica PIGE (2011)*
- [TFICT09] Centro Nacional de Tecnologías para la Fusión, TechnoFusion. *Informe Científico – Técnico. (2009)*
- [UACM] Centro de Micro Análisis de Materiales de Madrid, Universidad Autónoma de Madrid. Líneas de investigación. (<https://www.cmam.uam.es/es/investigacion/>)
- [UACMAR10] Centro de Micro Análisis de Materiales de Madrid, Universidad Autónoma de Madrid, *Activity Report 2010*
- [ANDR] Juan Andrés Aspiazu, ININ, Aceleradores en la investigación y la industria
- [ECOMI13] European Commission. *The 2013 EU Industrial R&D Investment Scoreboard*
- [IDSECTI13] FECYT. *Indicadores Del Sistema Español De Ciencia, Tecnología E Innovación en 2013*



# UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)

INGENIERO EN ORGANIZACIÓN INDUSTRIAL

---

- [PAI13] Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva, Argentina. *Plan Argentina Innovadora 2020, Componentes Electrónicos, Agosto 2013.*
- [ICSMR13] IC Insights, *Semiconductor Market Research 2013*
- [ABBB13] Biotec, Ajuntament de Barcelona, Informe sectorial 2013, *Biotecnología y Biomedicina*
- [PNICPC] Instituto del Patrimonio cultural de España, *Plan Nacional De Investigación En Conservación De Patrimonio Cultural.*
- [PCM12] Tarifas Generales para 2012 CMAM, *Parque Científico de Madrid* (<http://www.fpcm.es/>)
- [CNARR12] Centro Nacional de Aceleradores, CNA, *Research Report 2011-2012*
- [CCOOTD13] CC.OO. Federación de sanidad y sectores sociales. *Tiempo de trabajo y descanso 2013.*
- [FEDER14] FEDER: Fondo Europeo de Desarrollo Regional, ([http://europa.eu/legislation\\_summaries/employment\\_and\\_social\\_policy/job\\_creation\\_measures/l60015\\_es.htm](http://europa.eu/legislation_summaries/employment_and_social_policy/job_creation_measures/l60015_es.htm))
- [RD1777/2004] Real Decreto 1777/2004, de 30 de julio, por el que se aprueba el Reglamento del Impuesto sobre Sociedades. *Publicado en: «BOE» núm. 189, de 06/08/2004. Entrada en vigor: 07/08/2004. Departamento: Ministerio de Economía y Hacienda. Referencia: BOE-A-2004-14600.*
- [AT12/13] Impuesto Sobre Sociedades. *Tipos de gravamen aplicables a períodos impositivos iniciados en el año 2012 y 2013.* (<http://www.agenciatributaria.es/>)
- [UNAMAPIIE] Aceleradores De Partículas: Irradiación Con Iones Y Electrones. *6ª Escuela Mexicana de Física Nuclear, 22 de junio al 3 de julio del 2009. Dr. Luis Rodríguez Fernández, Instituto de Física, UNAM.*
- [CNFTHCLF12] Fuente de Luz Sincrotrón, 1ª fase: Inyector LINAC, Línea de luz Sincrotrón para México, 2012. *Redes Temáticas CONACYT de Investigación, Red de Física de Altas Energías. Guillermo Contreras Nuño, Arturo Fernández Téllez, Gerardo Herrera Corral, Ricardo López Fernández.*
- [TIARAAS] TIARA, Accelerator for Society (<http://www.accelerators-for-society.org/>)
- [FNRS] Fakhra Nawaz . *5 MV Pelletron Tandem accelerator. Radiation safety.* Experimental Physic Labs (NCP) QAU
-



## Publicaciones Consultadas

**Aceleradores, Técnicas de Análisis, Laboratorios del CNA y sus Aplicaciones.** Centro Nacional de Aceleradores (CNA), Universidad de Sevilla-Junta de Andalucía-CSIC. Sergio David León Dueñas.

**Nuevas instalaciones del CNA para ensayos de irradiación en componentes.** Centro Nacional de Aceleradores (CNA), Universidad de Sevilla-Junta de Andalucía-CSIC. 24/Junio/2013.

**Research Report 2011-2012.** Centro Nacional de Aceleradores (CNA), Universidad de Sevilla-Junta de Andalucía-CSIC.

**Plan de Autoprotección, Marzo 2005.** Centro Nacional de Aceleradores (CNA), Universidad de Sevilla-Junta de Andalucía-CSIC.

**Aceleradores De Partículas.** Dr. Eduardo Andrade, Instituto De Física (UNAM).

**6MV KIST Tandem Ion Accelerator (KISTTIA),** 12th International Conf. on Accelerator & beam Utilization, Gyeongju, Korea (Sep.4-5, 2008). Won-Kook Choi, Korea Institute of Science of Technology, (D.H. Park, J.H. Song, K.H. Chae, K.T. Hong, K.J. Moon)

**Top 10 Semiconductor R&D Leaders Ranked for 2013,** Research Bulletin, February 25, 2014.

**Los Aceleradores de Iones y la Tecnología Nuclear.** A.J.Kreiner. CAC-GI&A, 3 de Junio, 2011.

**Aceleradores, Clasificación E Historia.**

**5 MV Pelletron Tandem Accelerator. Radiation Safety.** Fakhra Nawaz, Experimental Physics Labs (NCP) QAU.

**Semiconductors, Symmetry,** April 2013, Glenn Roberts Jr.

**Needs for Accelerator Scientists Report,** Burrows, P. (JAI, University of Oxford), 28 February 2013. The research leading to these results has received funding from the European Commission under the FP7-INFRASTRUCTURES-2010-1/INFRA-2010-2.2.11 project TIARA (CNI-PP).

**Mapa de Instalaciones Científicas y Tecnológicas Singulares,** 2010 ([www.micinn.es](http://www.micinn.es))

**New Trends In Accelerators Development,** Zbigniew ZIMEK, INCT, Warsaw, Poland, 8 to 12 April 2013 Institute of Nuclear Chemistry and Technology (INCT), Warsaw, Poland.

**The Linac Research Facility At The University Of Huelva,** Ismael Martel, Department of Applied Physics, University of Huelva (Spain).



# UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)

INGENIERO EN ORGANIZACIÓN INDUSTRIAL

---

**Accelerators in Industry**, Robert W. Hamm, PhD, R&M Technical Enterprises, Inc. Pleasanton, CA, USA. High Energy Physics Advisory Panel Bethesda, MD March 12, 2010.

**Introduction To The Beam Business**, Robert W. Hamm and Marianne E. Hamm, R&M Technical Enterprises, Inc., Pleasanton, CA 94566, USA.

**Accelerators AND Beams**, TOOLS of Discovery and innovation, Published by the Division of Physics of Beams of the American Physical Society.

**Task Force on Accelerator R&D commissioned by Jim Siegrist**, Associate Director High Energy Physics, Office of Science. Office of High Energy Physics Accelerator R&D Task Force Report. May 2012.

**Aplicaciones De Las Radiaciones**, (CSN, Informe anual 2008)

**Educating the Next Generation of Scientists & Engineers for America**, William A. Barletta, Director, United States Particle Accelerator School Dept. of Physics, MIT, Dept. of Physics and Astronomy, UCLA. US Particle Accelerator School.

**Current & Future Industrial Applications of Accelerators**, Robert W. Hamm, R&M Technical Enterprises, Inc., Pleasanton, California, USA, October 4, 2013, NA-PAC-13, Pasadena, California.

**Industrial Accelerators**, Robert W. Hamm, R&M Technical Enterprises, Inc., Pleasanton, California, USA, May 15, 2013, IPAC-13, Shanghai, People's Republic of China.

**Introduction To The Beam Business**, Robert W. Hamm, R&M Technical Enterprises, Inc., Pleasanton, California, USA.

**Medical and Industrial Accelerators**, Robert W. Hamm, R&M Technical Enterprises, Inc., Pleasanton, California, USA. Presented at TAMU REU Career Day – July 10, 2009

**Accelerators for America's Future**, Department of Energy, EE.UU., June 2010.

**Nuclear Science, A Guide to the Nuclear Science Wall Chart**, ©2003 Contemporary Physics Education Project (CPEP)

**Plan General Contable**, (<http://www.plangeneralcontable.com/>)

**Agencia Tributaria**, (<http://www.agenciatributaria.es/>)

**Guía de los Derechos de los Trabajadores, CC.OO**,  
([http://www.ccoo.es/microsites/menu.do?Guia\\_del\\_Trabajador](http://www.ccoo.es/microsites/menu.do?Guia_del_Trabajador))

**Costes de TechnoFusion**, M. Isabel Garcia Cortes, Centro Nacional de Tecnologías para la Fusión, TechnoFusion

---





## **Anexo I Sistema de Calidad**

Debido a la viabilidad del proyecto, se recomienda la implantación y puesta en marcha de un sistema de gestión de la calidad (SGC), según la **Norma Estándar Internacional ISO 9001:2008**.

Este sistema deberá tener como alcance el **Suministro de Haces de Iones** y se compondrá de tres procesos operativos fundamentales:

- **Asignación de tiempo de haz en el acelerador de iones tipo Tándem de 6 MV**
- **Suministro de haces de iones a usuarios del Acelerador Tándem**
- **Seguimiento del suministro de haz en el Acelerador de iones**

Por último, y en la búsqueda de mejora continua y satisfacción de los usuarios, el Sistema de Calidad del acelerador deberá contar también con una serie de procedimientos de gestión, procedimientos de apoyo e instrucciones técnicas que ayudarán a conseguir estos objetivos.

Además, se recomienda la implantación y puesta en marcha de un Sistema de Gestión Ambiental (SGA), según la **Norma Estándar Internacional ISO 14000**.

A continuación se describe una posible política de calidad para un acelerador tándem de forma general al igual que una política medioambiental.



# UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)

INGENIERO EN ORGANIZACIÓN INDUSTRIAL

---

## ***POLÍTICA DE CALIDAD***

---

Desde la Instalación del Acelerador Tándem de 6 MV, se entiende que la creación de valor para Clientes, empleados y sociedad debe alcanzarse por medio de la gestión excelente de todos los procesos y recursos.

Este modelo de creación de valor se soporta en un elevado nivel de autoexigencia, tanto interno como requerido a los *partners*, así como la optimización de procesos llevados a cabo en las instalaciones del acelerador.

Este planteamiento está fundamentado en los siguientes principios:

- CONOCER las expectativas de los Clientes, internos y externos y del grupos de interés, para entregar servicios de su entera satisfacción.
- IMPULSAR actividades de innovación y desarrollo para satisfacer o incluso superar las expectativas de los Clientes, empleados y otros grupos de interés.
- POTENCIAR la cultura de la mejora continua en la gestión de los procesos de la Compañía.
- PROMOVER la implicación de los empleados de la Compañía por medio de la fluidez informativa, la comunicación interna, la formación, el reconocimiento de los logros y la promoción permanente.
- FOMENTAR el trabajo en equipo como patrón de comportamiento en todos los niveles organizativos.
- VELAR por la mejora de los indicadores de crecimiento, rentabilidad, liderazgo, responsabilidad social, ambientales, seguridad y costes, para asegurar el éxito continuo de la Compañía.

Como reflejo de su compromiso y adhesión a la misma, la Dirección del acelerador definirá una organización con los recursos necesarios para la implantación y seguimiento del SGC.



### ***POLÍTICA MEDIOAMBIENTAL***

---

La Compañía define la política que rige los aspectos del Sistema de Gestión Ambiental (SGA) implicados en los servicios de suministro de haz de partículas que suple la Empresa. Esta política estipula los siguientes compromisos de acción:

- Controlar el impacto de nuestras actividades y de los servicios que se suplen, sobre aquellos aspectos relacionados con la protección del ambiente y prevención de la contaminación identificables por la empresa y en los que se puedan tener influencia.
- La compañía se apegará al estricto cumplimiento de las leyes, reglamentos y normas nacionales e internacionales relacionadas con el control y la protección del medio ambiente, en los requisitos que apliquen a la empresa.
- Buscar y mantener la satisfacción de los clientes y la de otras partes interesadas, al cumplir con los requisitos ambientales especificados y acordados en los proyectos que sean otorgados, y los aplicables que emanen de organismos competentes.
- Desarrollar planes de formación, entrenamiento y concientización del personal sobre las obligaciones y responsabilidades inherentes al ambiente o entorno que condiciona las circunstancias de vida de las personas y de la sociedad, y hacerlos partícipes del sistema y de la vigilancia para que estas políticas sobre el ambiente sean efectivas.
- Propiciar y mantener mejora continua del Sistema de Gestión Ambiental (SGA), de los procesos y del desempeño afectante del ambiente, a partir de hallazgos en auditorías, el análisis de estadísticas y datos, acciones correctivas y preventivas y otras fuentes de mejora.