

1/ Internacionalización de la ciencia

Alberto Ruiz Jimeno



Internacionalización de la ciencia

Colección FLORILOGIO #87



CONSEJO EDITORIAL

Dña. Silvia Tamayo Haya
*Presidenta. Secretaria General,
Universidad de Cantabria*

D. Vitor Abrantes
*Facultad de Ingeniería,
Universidad de Oporto*

D. Ramón Agüero Calvo
*ETS de Ingenieros Industriales
y de Telecomunicación,
Universidad de Cantabria*

D. Miguel Ángel Bringas Gutiérrez
*Facultad de Ciencias Económicas
y Empresariales, Universidad de
Cantabria*

D. Diego Ferreño Blanco
*ETS de Ingenieros de Caminos, Canales
y Puertos, Universidad de Cantabria*

Dña. Aurora Garrido Martín
*Facultad de Filosofía y Letras,
Universidad de Cantabria*

D. José Manuel Goñi Pérez
*Modern Languages Department,
Aberystwyth University*

D. Carlos Marichal Salinas
*Centro de Estudios Históricos,
El Colegio de México*

D. Salvador Moncada
*Faculty of Biology, Medicine and
Health, The University of Manchester*

D. Agustín Oterino Durán
*Neurología (HUMV), investigador del
IDIVAL*

D. Luis Quindós Poncela
*Radiología y Medicina Física,
Universidad de Cantabria*

D. Marcelo Norberto Rougier
*Historia Económica y Social Argentina,
UBA y CONICET (IIEP)*

Dña. Claudia Sagastizábal
*IMPA (Instituto Nacional de
Matemática Pura e Aplicada)*

Dña. Belmar Gándara Sancho
*DIRECTORA EDITORIAL,
Universidad de Cantabria*

Internacionalización de la ciencia

Alberto Ruiz Jimeno



Ruiz Jimeno, Alberto, autor

Internacionalización de la ciencia : 50 años de la Universidad de Cantabria, Ciencias Físicas / Alberto Ruiz Jimeno. – Santander : Editorial de la Universidad de Cantabria, 2022

121 páginas : ilustraciones. – (Florilogio ; 87)

1. Universidad de Cantabria. Facultad de Ciencias-Historia. 2. IFCA-Historia. 3. Universidad de Cantabria-Investigación. 4. Cooperación científica. 5. Política científica y técnica.

378.4:53(460.13)(091)
378.4(460.13):001.89
001.83

THEMA: PDM, JNM, 1DSE-ES-F

Esta edición es propiedad de la EDITORIAL DE LA UNIVERSIDAD DE CANTABRIA; cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública o transformación solo puede ser realizada con la autorización de sus titulares, salvo excepción prevista por la ley. Diríjase a CEDRO (Centro Español de Derechos Reprográficos, www.cedro.org) si necesita fotocopiar o escanear algún fragmento de esta obra.

Diseño de colección y fotografía de cubierta: Editorial Universidad de Cantabria por Gema Rodrigo

© Alberto Ruiz Jimeno (UC)
© Editorial de la Universidad de Cantabria
Avda. de los Castros, 52. 39005 Santander
Tlfno. y Fax: 942 201 087
ISNI: 0000 0005 0686 0180
www.editorial.unican.es

DOI: <https://doi.org/10.22429/Euc2022.038>

Hecho en España - *Made in Spain*
Maquetación: Dosgraphic s.l.
Santander, 2022

SUMARIO

Preámbulo	9
Movilidad y formación, interés docente, nuevas tecnologías y digitalización de la enseñanza superior	19
Plan Bolonia y programa ERASMUS	25
Las cotutelas	28
Internacionalización en la EUA	30
Bolonia y Erasmus en la Facultad de Ciencias de la UC	33
Globalización de la actividad científica, grandes colaboraciones, redes de investigación y transferencia	35
Opiniones de investigadores de la Facultad de Ciencias	35
Internacionalización del Grupo de Altas Energías del IFCA	40
Internacionalización de otros grupos del IFCA	61
Infraestructuras, necesidades financieras, soporte industrial e institucional	67
Red de cómputo del IFCA	68
SERCAMAT, SERMET	71
Otras infraestructuras del IFCA	75
Infraestructuras científicas externas	78
ILL, ESRF, ALBA, SIESTA, DIPC...	79
IPCC	84
Opiniones de investigadores acerca de grandes infraestructuras internacionales	86

Comunicación y lenguaje, barreras y oportunidades culturales, trabajo en equipo, cooperación internacional, diversidad	89
Lenguaje	89
Comunicación, aspectos culturales y sociales	90
Comunicación virtual	93
Trabajo en equipo	93
Transferencia, difusión del conocimiento	95
Diversidad	100
Retos y amenazas, enfrentamientos sociopolíticos, pandemias, guerra, digitalización	105
Reflexión final	113
Agradecimientos	115
Referencias	117

PREÁMBULO

El concepto «internacionalización» puede adquirir diversos significados, según la persona que lo defina y el contexto en que se quiera establecer. Según la Real Academia de la Lengua, internacionalizar significa «someter a la autoridad conjunta de varias naciones, o de un organismo que las represente, territorios o asuntos que dependían de la autoridad de un solo Estado». Evidentemente, esta definición es suficiente generalista para un contexto político, por ejemplo, pero no es muy clara cuando se trata de exponerlo en un contexto académico y científico, como el que me ocupa en la redacción de esta monografía, dedicada al quincuagésimo aniversario de la fundación de la actual Universidad de Cantabria (Universidad de Santander, en sus primeros años) y, más concretamente, a partir de las experiencias conocidas en el marco de la Facultad de Ciencias.

En el desarrollo de este texto, utilizaré mis propias ideas subjetivas, alimentadas por mi experiencia durante el transcurso de estos cincuenta años, en los que he estado ligado a la institución en la mayor parte de los mismos. No obstante, he pedido un breve resumen de sus ideas a varias personas ligadas de un modo u otro a la Facultad de Ciencias y al Instituto de Física de Cantabria, con el fin de ser más objetivo en cuanto al planteamiento, importancia, desarrollo y estrategia ligada a la internacionalización desde este centro y posición de observación.

También he utilizado mi propia experiencia en el campo de la formación, particularmente de la formación de nuevos investigadores, en los informes de la asociación europea de universidades (EUA) y del

foro doctoral de dicha asociación EUA-CDE¹ (EUA-CDE, 2022), del que he formado parte en los últimos doce años. El tema de la internacionalización y su relación con otros aspectos importantes de la construcción del Espacio Europeo de Educación Superior y del Espacio Europeo de Investigación es una parte fundamental de los foros de discusión y hay una amplia bibliografía al respecto.

Así, en 2013, la EUA emitió un informe con el título: *Internationalisation in European higher education: European policies, institutional strategies and EUA support*² (EUA, 2013) en el que se presentaron los resultados de las encuestas realizadas a 745 rectores y 620 oficinas internacionales de las universidades miembros de la EUA, a las que

¹ EUA-CDE es el foro para asuntos de doctorado de la asociación de universidades europeas EUA. Se definen a sí mismos como «La voz europea de la educación doctoral, que reúne a una comunidad de líderes académicos y profesionales». Se inició en 2008 y reúne a más de 260 instituciones de formación para la investigación de 36 países europeos. Nuestra Universidad de Cantabria se unió al foro en 2010, como parte de la preparación de la creación de la primera escuela de doctorado en España, en el contexto del Real Decreto para la formación doctoral RD 99-2011. Los principios de Salzburgo, establecidos en 2005 y revisados en 2010, que definen las características que se espera que siga la formación para la investigación en Europa, constituyen el nexo de unión entre el Espacio Europeo de Educación Superior y el Espacio Europeo de Investigación.

² La iniciativa de las universidades europeas surgió en la cumbre de los líderes de la UE, reunidos en Gotemburgo, en 2017. El Consejo Europeo propuso a los estados miembros, ese mismo año, la preparación de planes para la creación de redes académicas que permitieran, en 2024, la implantación de títulos combinados que incrementaran la competencia internacional de las instituciones europeas. Esas iniciativas fueron reforzadas en 2021, en el sentido del logro de la excelencia en la enseñanza superior, la investigación y la innovación, con criterios éticos, de igualdad e inclusión frente a la diversidad, por parte de todos los agentes implicados en la educación superior. La iniciativa forma parte del programa Erasmus+.

respondieron, aproximadamente, la cuarta parte, representando a 38 países (cabe destacar que España fue el país con mayor número de respuestas, 16, junto con Alemania).

Si bien la gran mayoría de las universidades tenían sus propias estrategias de internacionalización, que las consideraban positivamente, el estado de las mismas era variado y tenían gran interés en los programas de soporte derivados de las estrategias de internacionalización de la EU.

Los principales intereses indicados en las respuestas eran mejoras en el idioma de estudiantes y profesores, incremento de fondos y disminución de las trabas burocráticas. El índice de estudiantes extranjeros, en las universidades participantes, era superior al 10% en un tercio de las mismas, incluyendo estudiantes de grado, máster y doctorado. En la estrategia de internacionalización, era dominante el flujo de estudiantes adentro y afuera, pero otras acciones estratégicas eran importantes: movilidad del profesorado, cursos en inglés y mayor número de titulaciones conjuntas internacionales.

La colaboración internacional no se contemplaba como una prioridad de la estrategia de internacionalización, pero existía a nivel de grupos y departamentos, de forma natural, de abajo arriba. Este es un aspecto en el que se debería incidir más al establecer las estrategias institucionales, ya que hay cierta tendencia, en mi opinión, a actuar de arriba abajo, cuando es muy importante potenciar las colaboraciones, ya existentes a nivel internacional, entre grupos de investigación e individuos.

Los aspectos más apreciados, en el proceso de la estrategia europea para una mayor y mejor internacionalización de la enseñanza superior, eran flexibilidad y reducción de la burocracia en las ayudas

europeas para facilitar la movilidad y la cooperación, soporte y complementariedad de las estrategias de la UE con respecto a las estrategias particulares de las universidades y definición de objetivos y procedimientos para lograr la mayor calidad en la atracción de estudiantes e investigadores.

Entre los años 2012 y 2014 se desarrolló un marco de actuación para la internacionalización de la actividad doctoral, cuyo informe (FRINDOC)³ (EUA-CDE, 2015) se presentó en 2015.

La internacionalización, de acuerdo con los principios de Salzburgo (EUA, 2005; EUA-CDE, 2010; EUA-CDE, 2016), que definen el marco adecuado para el desarrollo de la formación investigadora en el contexto europeo, es fundamental para asegurar la calidad de dicha formación y debe ser una prioridad de las universidades. FRINDOC establece cuatro dimensiones, como se recogen en la figura 1 adjunta.

La capacidad y habilidad para la investigación debe estar sustentada por una supervisión de calidad, dedicada, con experiencia investigadora y formación de los supervisores para abordar los nuevos retos de la formación doctoral, establecidos por los principios de Salzburgo. Debe existir suficiente inversión en infraestructura y debe ser sostenible. Los resultados de la investigación deben ser abiertos y de impacto a la sociedad, no deben estar limitados por ataduras bibliométricas.

³ El proyecto FRINDOC para la internacionalización de la formación para la investigación fue un proyecto de la EUA, desarrollado entre 2012 y 2015 por un conjunto de seis universidades europeas.

Estuvo soportado por el programa Erasmus Mundus de la Comisión Europea. El proyecto definió aspectos estratégicos de buenas prácticas para la internacionalización, elaborando una aplicación virtual disponible para las universidades europeas, en términos de planificación, soporte y promoción de la movilidad en los programas doctorales.

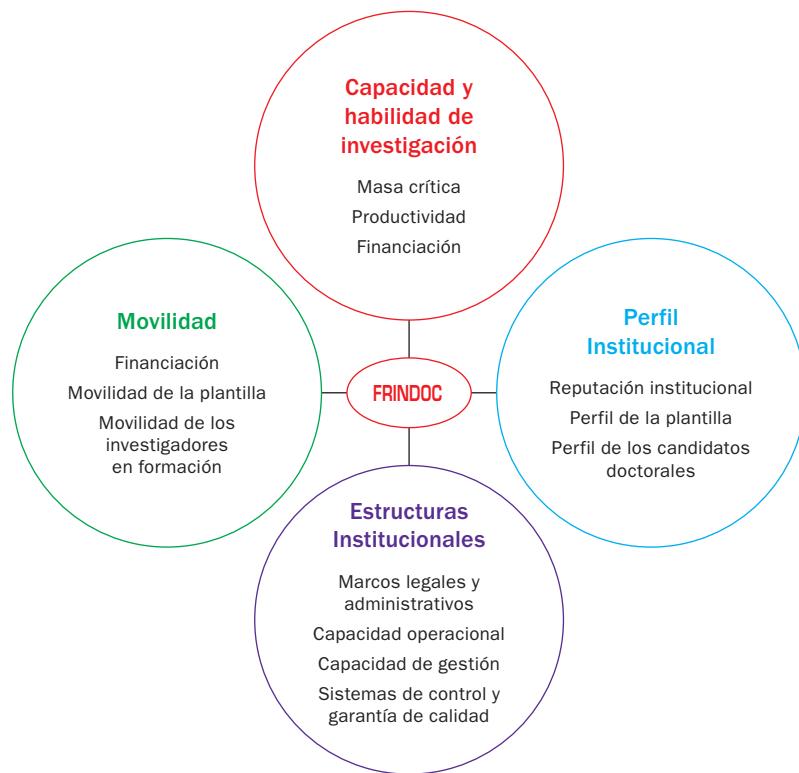


Figura 1. Esquema FRINDOC (adaptado del informe de la EUA).

La dimensión internacional implica la estrategia institucional, así como el perfil de los supervisores y de los investigadores en formación, tanto en la admisión como en las actividades propias del desarrollo de la formación doctoral, como participación en congresos y conferencias y estancias internacionales. La tercera dimensión, movilidad

de investigadores en formación y supervisores, debe estar sustentada por las instituciones. Finalmente, la cuarta dimensión, referida a las estructuras institucionales, abordan los aspectos administrativos y legales, los sistemas de garantía de la calidad y los métodos adecuados para la gestión.

El contexto de la internacionalización en ciencia y formación es poliédrico, tiene muchas vertientes. Además, sus aristas apuntan tanto hacia fuera, expandiéndose, como hacia dentro, retroalimentándose dinámicamente. Por ello, la experiencia adquirida en estos cincuenta años indica que es fundamental para asegurar la calidad, tanto de la formación superior, como de la actividad investigadora y de transferencia.

El buen hacer de nuestra Universidad se debe, en gran medida, al desarrollo y potenciación de la internacionalización. De la misma forma, una gran parte de las dificultades de crecimiento de nuestra institución está derivada de las trabas burocráticas y administrativas, todavía existentes, para atraer y retener estudiantes e investigadores de otros países. En este sentido hay, todavía, mucho que mejorar y supone un acicate para ello.

Asimismo, la transferencia está perjudicada por una falta de competitividad de nuestras empresas, la escasez de desarrollo empresarial tecnológico y la dependencia hacia otros países que eso conlleva, lo cual promueve asimismo una mayor necesidad de internacionalización en nuestros proyectos.

En las próximas secciones de esta monografía expondré mis ideas y experiencias, enriquecidas por las aportaciones de las personas que han colaborado conmigo y por las discusiones de la EUA, en aspectos tales como:

- Movilidad y formación, interés docente, nuevas tecnologías y digitalización de la enseñanza superior.
- Globalización de la actividad científica, grandes colaboraciones, masa crítica, complementariedad, redes de investigación y transferencia.
- Infraestructuras, necesidades financieras, soporte industrial e institucional.
- Comunicación, lenguaje, barreras y oportunidades culturales
- Trabajo en equipo, espíritu crítico, cultura del esfuerzo, diversidad, sinergia.
- Trabajos de cooperación internacional, desarrollo sostenible, problemas globales, magnitud humana.
- Calidad, impacto, crecimiento, nuevos métodos y técnicas, multidisciplinariedad.
- Retos y amenazas, ética, enfrentamientos sociopolíticos, pandemias, guerra.
- Burocracia, dificultades administrativas, contratación.
- Discusión acerca de la fuga de cerebros, obligatoriedad de la movilidad.
- Actividades relacionadas, revisión en revistas científicas y congresos, cursos.
- Evolución desde los inicios, ciencias y humanidades, futuro...

Aportaré algunos datos respecto a la evolución hacia la internacionalización que se ha producido, en la especialidad de Ciencias Físicas, en la Facultad de Ciencias de la Universidad de Cantabria y en el Instituto de Física de Cantabria, consciente de que la ciencia es internacional, común y compartida o no es. En el caso de otras especialidades, concretamente en el contexto de las Ciencias Exactas, la internacionalización es muy importante para el desarrollo del área

y promoción de sus estudiantes e investigadores. Sobre esto también hay consenso en el entorno de la UC. Sin embargo, siempre hay especificidades según la disciplina concreta. Las características de la internacionalización, en estas áreas, por ejemplo, tienen un contexto diferente en muchos aspectos. Así, no son frecuentes las grandes colaboraciones científicas internacionales, ni requieren, en general, grandes infraestructuras para la investigación.

En otros aspectos no difieren del área de Ciencias Físicas, como ocurre con la necesidad de difundir y discutir los resultados de sus investigaciones, para lo que se utilizan revistas internacionales de alto impacto, se participa en grandes conferencias y congresos internacionales, o se realizan, por parte de los investigadores, estancias en centros extranjeros para potenciar la formación o la investigación.

El grueso de mis consideraciones está, por lo tanto, más circunscrito a mi posición como observador participante en el ámbito de las Ciencias Físicas y en cuanto se refiere a datos o actividades correspondientes a grandes infraestructuras o colaboraciones internacionales, dónde puedo aportar mi experiencia de muchos años y mostrar mi sensibilidad a los cambios.

En mi caso concreto, la internacionalización ha sido una *actitud*, constante durante mi etapa formativa para la investigación y mi dedicación posterior a la docencia, investigación y transferencia. Ha supuesto una actitud hacia la apertura al mundo exterior a mi entorno local de la Facultad de Ciencias y del IFCA, por considerar que esta actitud abierta hacia el mundo es absolutamente necesaria para el desarrollo de una carrera investigadora en cualquier rama del conocimiento, y debe ser recíproca. Así, del exterior se adquiere una gran cantidad de conocimientos y se obtienen, en muchos casos, los elementos necesarios para desarrollar el conocimiento, bien sean

métodos o infraestructuras, o simples discusiones sobre los temas de investigación. Pero el desarrollo del conocimiento se obtiene también desde nuestra propia aportación hacia el exterior. Es un diálogo, en el que no se renuncia a lo local, sino que dicha aportación enriquece el conocimiento global, potenciando y dando visibilidad, a su vez, al entorno más cercano.

La ciencia es universal y su acceso debe ser abierto e indiscriminado. El carácter internacional de la ciencia es intrínseco a ella misma. No obstante, el camino para lograrlo no es fácil, hay impedimentos y dificultades que deben superarse en el camino. Así, la internacionalización es fundamental en la formación de los nuevos investigadores y en el desarrollo de la investigación. Pero hay otros aspectos que están muy conectados o relacionados, como son la interdisciplinariedad y la intersectorialidad. Los tres aspectos son importantes en una buena investigación científica, si bien con matices diferentes según el área de conocimiento.

MOVILIDAD Y FORMACIÓN, INTERÉS DOCENTE, NUEVAS TECNOLOGÍAS Y DIGITALIZACIÓN DE LA ENSEÑANZA SUPERIOR

Es evidente la transformación positiva que ha sufrido la educación superior en los últimos 50 años. En la Facultad de Ciencias de la Universidad de Cantabria, a comienzos de los años 70, el número de profesores era escaso y la infraestructura docente era muy limitada. Las clases eran, predominantemente, de carácter teórico, muy pobre la formación en laboratorios experimentales. El problema se derivaba, en parte, de que era una Facultad joven e inexperta, pero también de que la política científica sufría, todavía, del aislamiento de la sociedad española al exterior, provocada por la dictadura franquista y de la escasez de inversión en ciencia y tecnología.

El presupuesto dedicado a la investigación científica era muy escaso. Solo permitía, en parte, sufragar la movilidad de los físicos teóricos y matemáticos hacia el extranjero. Esto afectaba a la formación superior, muy teórica y poco práctica, en general, en toda España.

Los estudiantes de ciencias estaban abocados a desarrollar posteriormente su actividad profesional en la enseñanza, primariamente, con escasas posibilidades de lograr un puesto en las empresas. Esto era mucho más acusado en el caso de la denominada física fundamental, frente a los estudios de electrónica, más prácticos en cuanto al desarrollo de software aplicado, que capacitaba para salidas laborales en los departamentos de informática, telemática, etc. de grandes o medianas empresas.

Si bien los computadores para la investigación ya existían en las universidades y centros de investigación de los países desarrollados, apenas se estaban introduciendo aún en las universidades españolas. Las escasas prestaciones de las que disponíamos en la Facultad de Ciencias, nos obligaban a recurrir a ordenadores más potentes, centralizados en la sede del Instituto de Informática, ubicado en la calle Vitruvio, en Madrid. La utilización de dichas infraestructuras nos posibilitó avanzar en la investigación, pero nunca aplicar este tipo de recursos para labores docentes.

A comienzos de los años 80, tras el periodo de transición a la democracia, después de la dictadura franquista, la apertura internacional de España se hizo patente en diversos ámbitos de la política. Es muy destacable la implantación de la Ley Orgánica de Reforma Universitaria (LRU)⁴ (BOE, 1983), en 1982, bajo la responsabilidad del entonces

⁴ La Ley de Reforma Universitaria (LRU), promulgada en 1983, supuso la transición hacia la democracia en la planificación de los estudios universitarios, tras la herencia del franquismo. En su párrafo introductorio se resalta la necesidad de adaptarse a las sociedades avanzadas, abriéndose al mundo exterior y recogiendo la experiencia de los países del entorno. Tenía, por tanto, una clara intención internacionalizadora, particularmente europea, con el propósito de adaptarse al espacio europeo de educación superior, que se estaba perfilando. Movilidad de estudiantes y profesores, así como flexibilización de los títulos, fueron aspectos importantes a tratar en dicha ley.

Además, reconoce, de acuerdo con la Constitución, la autonomía de las universidades, siendo estas los agentes transformadores, no las comunidades autónomas. En 2001 fue sustituida por la Ley Orgánica de Universidades (LOU) (BOE, 2001), y luego modificada (BOE, 2007) en 2007, con la finalidad de adaptarla al plan Bolonia para el espacio europeo de educación superior. Se crea la Agencia Nacional de evaluación de la calidad y acreditación, organismo cuya función es la coordinación en dichos procesos de garantía de calidad y evaluación para la acreditación, siguiendo estándares internacionales. Además de la intención de

Ministro de Educación y Ciencia, José María Maravall. La vocación por la integración europea formaba parte sustancial de los objetivos de dicha ley, que indujeron, junto con las actuaciones políticas a favor de un desarrollo científico del que luego desarrollaré algunos aspectos, una transformación muy acusada de nuestra Facultad de Ciencias.

Los años 80 y 90 fueron particularmente decisivos en el desarrollo posterior de la Facultad, de su actividad docente e investigadora y de su proyección internacional. Las causas de dicha transformación

modernizar la universidad y acercarla al sistema productivo, la ley pretendía, asimismo, incrementar la movilidad y potenciar la proyección internacional de la universidad. Para ello se simplifica el acceso a la acreditación del profesorado, por parte de nacionales de otros estados miembros de la UE o de otros estados con los que existan tratados internacionales de la UE, ratificados por España. En la actualidad, ha sido aprobado por el Gobierno el proyecto de ley orgánica del sistema universitario (LOSU) (Ministerio Universidades, 2022).

El objetivo es adaptarla al cambio global de la sociedad, particularmente en los aspectos de transformación digital, información y comunicación. Asimismo, incide en aspectos éticos, de equidad e inclusión.

La internacionalización, en aspectos de docencia, investigación e innovación, así como difusión cultural, es un aspecto clave y lo trata en un título dedicado a ello. El proyecto de ley trata de paliar la escasez de movilidad de investigadores y docentes extranjeros hacia España y, en menor medida, de estudiantes extranjeros. Impone la movilidad como requisito para el acceso a las plazas de profesorado permanente. Promueve el incremento y reforzamiento de las alianzas internacionales de universidades, la creación de títulos conjuntos y la cooperación en proyectos de investigación y transferencia, así como proyectos de cooperación para el desarrollo. Trata de facilitar los procesos de homologación y atracción de talento internacional, simplificando los trámites, y utilizando recursos digitales. Y establece la posibilidad de crear centros en el extranjero.

Un aspecto importante es la intención de incrementar el presupuesto, acercándose a la media de la UE.

obedecen, por una parte, a estrategias político-científicas que responden a la planificación realizada a nivel nacional y europeo, concretamente a la implantación del plan Bolonia del espacio europeo⁵ (UE, 1999), pero también a otros aspectos ligados a la internacionalización, como es el programa Erasmus⁶ (UE, 1987) de movilidad de estudiantes y profesorado.

Además, el incremento del número de profesores y la mejora de las infraestructuras y técnicas docentes, así como su conexión más estrecha con la investigación de calidad y sus relaciones internacionales con otras instituciones extranjeras, han influido de forma notable a que los estudios de ciencias experimentales de la UC, canalizados ya por los grupos de la Facultad o en el IFCA, se coloquen,

⁵ El plan Bolonia se inició, en 1999, en una declaración conjunta de los ministros de educación de la UE, con el compromiso de fortalecer la cohesión y coordinación hacia el espacio europeo de educación superior. Se revisa periódicamente cada tres años, aproximadamente.

Para ello, promueve la movilidad de estudiantes y docentes e investigadores, el reconocimiento de títulos y la transparencia, con criterios de garantía de calidad. También promueve la utilización de tecnología digital con el fin de ampliar la oferta a un abanico más amplio de participantes, dentro y fuera de Europa.

El proceso es seguido, en la actualidad, por 48 países, es voluntario y ha atraído a otras regiones del mundo, por su éxito al reforzar los lazos de diálogo y cooperación.

⁶ El programa Erasmus+, que ha sido recientemente actualizado (Erasmus+, 2021), es un programa de la Comisión Europea destinado a los jóvenes, en todas las etapas educativas, para fomentar la internacionalización de la educación.

Responde, tanto a la movilidad, como a la cooperación institucional en educación. Si bien se concentra en Europa, extiende sus programas de movilidad y cooperación a otras regiones.

El nuevo programa apuesta por la digitalización, el desarrollo sostenible, la ética e integridad y la participación democrática de la ciudadanía, siempre con criterios de igualdad e inclusión (punto).

en la actualidad, en un nivel alto a escala mundial, como lo indican diferentes *rankings*.

La digitalización es, por otra parte, un reto y una oportunidad en la que la propia Facultad y el IFCA han sido pioneros y son muy activos en su desarrollo, particularmente desde el punto de vista investigador, pero afectando positivamente al desarrollo de técnicas innovadoras de enseñanza.

Por otra parte, el número de estudiantes extranjeros, si bien ha crecido notoriamente, dista mucho de lo deseable para una Facultad con ambición de internacionalidad. Las condiciones de la enseñanza superior en España, con excesivos centros dispersos por todas las autonomías, incluso por las diferentes provincias, dificulta la captación de alumnado de otras regiones, menos aún de alumnos extranjeros, dado que se suman, a ello, las dificultades administrativas y burocráticas. La creación de redes universitarias, como el proyecto EUNICE⁷ (EUNICE, 2022), actualmente en marcha, puede ser un revulsivo importante

⁷ EUNICE es una alianza interuniversitaria europea, a la que pertenece la Universidad de Cantabria, orientada a desarrollar una educación flexible y a medida de las necesidades de los estudiantes, que promueva el desarrollo social y económico. La constituyen siete universidades, de tamaño similar, repartidas por toda la geografía europea y está conectada con otros sectores industriales, culturales y artísticos.

Pretende promover el intercambio cultural y el multilingüismo, la equidad e inclusión, la cooperación en docencia, investigación e innovación y conexión entre ambas, así como la transferencia a la sociedad. También está entre sus objetivos la potenciación de la transformación digital.

Para ello ofertará cursos virtuales, titulaciones conjuntas, movilidad de estudiantes, doctorandos, personal de administración y servicios y profesores e investigadores. Facilitará el acceso de sus miembros a las instalaciones e infraestructuras, y creará una acreditación propia.

para dar un empujón a la internacionalización de nuestros estudios (Figura 2, EUNICE).

El desarrollo de técnicas de aprendizaje, evitar el estancamiento en el material docente, etc. está ligado a la existencia de contactos entre profesores de diversos países. No obstante, creo que nuestra situación en este sentido es precaria todavía, y que debe impulsarse más la colaboración internacional para la docencia de abajo hacia arriba, desde las colaboraciones ya existentes y fructíferas de los grupos de investigación, eliminando las barreras burocráticas que dificultan la existencia de estas redes de enseñanza.



Figura 2. ALIANZA EUNICE (cortesía Universidad de Cantabria).

PLAN BOLONIA Y PROGRAMA ERASMUS

He citado anteriormente el plan Bolonia. Instituido tras la declaración de los ministros europeos de educación, en su reunión de Bolonia de 1999, con el objetivo de la creación de un espacio europeo de educación superior (EEES), había sido precedido por la discusión entre cientos de rectores de universidades europeas que condujeron a la *Carta Magna de las Universidades Europeas* (Europeas, 1988), de 1988, que promovía la movilidad internacional de estudiantes e investigadores, en un marco de libertad e independencia, tanto para la investigación como para el desarrollo de la estrategia educativa. Justamente el año anterior, 1987, se había creado el programa Erasmus, propuesto por la asociación de estudiantes europeos y apoyado por la Comisión Europea de Educación (Figura 3).

El proceso de Bolonia tenía como objetivos el incremento de la calidad de la enseñanza universitaria y el reconocimiento de los títulos de enseñanza superior en el espacio europeo, lo cual suponía un reto muy importante de internacionalización. En un espacio de diez años, aproximadamente, se anunció el EEES, en 2010, continuando con el proceso de Bolonia, con la colaboración de la EUA como miembro consultivo y extendiendo el ámbito europeo a un mundo globalizado, enfatizando los aspectos de movilidad y formación, además de gobernanza y dimensión social e inclusión. Actualmente nos encontramos en ese punto.

En el año 2015 se lanzó, por parte de la EUA, una encuesta para la revisión del estado del programa Erasmus+ (EUA, 2015), en la que participaron 218 instituciones de 36 países, que ayudó a establecer recomendaciones para la continuación del mismo a partir del año 2020.

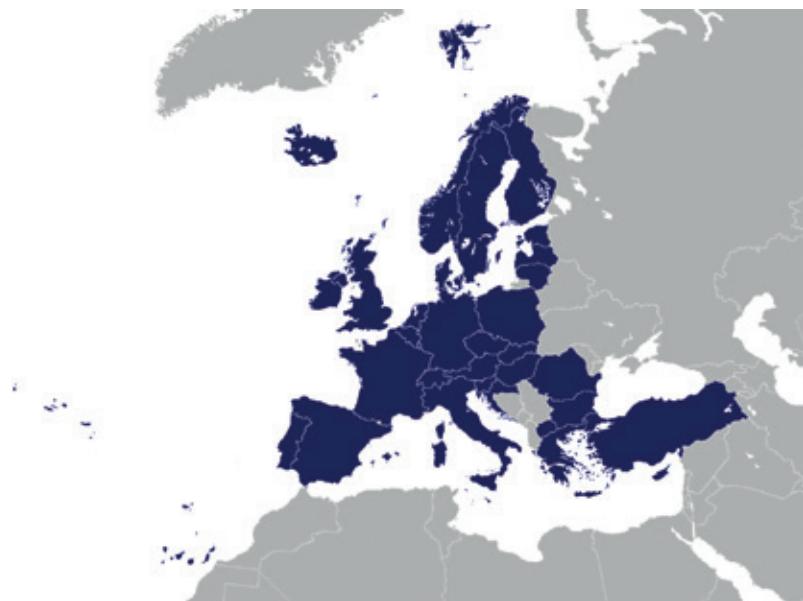


Figura 3. Países participantes en el programa ERASMUS (<https://commons.wikimedia.org/wiki/User:Fobos92>, 2017).

La experiencia general era que había mejorado respecto de programas anteriores de movilidad, pero no había reducido la burocracia y ciertas trabas administrativas, además de requerir la mejora de la equidad social entre individuos, en los costes de movilidad.

Dadas las diferencias culturales, sociales y económicas de los estados miembros, la organización del proyecto era compleja, y requería una mayor claridad en la normativa y una simplificación de los procesos, además de mayor financiación, en particular para soportar acciones encaminadas a superar las diversidades en aprendizaje

del lenguaje y otros problemas sociales, como es el caso especial de los refugiados.

Las discusiones continuaron, tratando de mejorar el proyecto. La cooperación para la innovación y el intercambio de buenas prácticas resultaban claves para el mismo, pero se requería mayor flexibilidad en la reglamentación de la inversión. Las alianzas para el avance del conocimiento, con énfasis en la colaboración con la industria eran muy apreciadas.

Una evaluación, por parte de la Comisión Europea, del programa Erasmus+ y anteriores fue publicada en 2018 (UE, 2018). En el informe se destaca que el programa, que es de hecho el más apreciado de la UE, ha beneficiado, solo en el periodo 2014-2016, a 1,4 millones de alumnos y 400.000 profesionales y ha satisfecho al 98 % de los mismos. Ello se deriva tanto del reconocimiento académico de los estudios en las estancias en el extranjero, como de la adquisición de valores culturales, el sentimiento de ciudadanía europea, la mayor disposición para viajar, incluso permanentemente y la mayor empleabilidad.

El conocimiento del programa, aunque hay margen de mejora, es extenso y bien alineado con las prioridades de la UE. El programa es más coherente con los objetivos de la UE, se ha simplificado respecto de programas previos y tiene carácter multidisciplinar al integrarse diferentes sectores. Pero, en algunos casos, se considera que se ha ido demasiado lejos, perdiendo la posibilidad de algunas prioridades nacionales, aún en el contexto de los objetivos de la UE. No es fácil tratar de dar garantías globales sin necesidad de homogeneizar el procedimiento, pero se trabaja en ello. Además de otros aspectos, el programa ha propiciado una mayor integración de los países pequeños y del Este de Europa e incluye acciones para mejorar la participación de grupos en desventaja, término que, no obstante, requiere una mayor clarificación.

Los resultados en este campo son, en general, muy positivos, añadiendo, a los ya citados anteriormente, el crecimiento en número y calidad de las redes y la utilización de recursos digitales, además de un mayor compromiso social. No obstante, los resultados positivos aún son más claros para los estudiantes que para los profesionales y aún requiere esfuerzo la sostenibilidad.

LAS COTUTELAS

Un aspecto particular, en este caso encuadrado en la etapa de formación doctoral, es el de los doctorados internacionales y las cotutelas. En ambos casos se persigue la internacionalización de la formación, mediante estancias de investigación en centros extranjeros. La reglamentación existente en España acerca de los doctorados internacionales, con su correspondiente mención en el Título de Doctor, exige una determinada movilidad de estancias (generalmente cortas) en centros extranjeros, junto con una garantía de la efectividad de dichas estancias por medio de informes de expertos, incluido el responsable de la supervisión en el centro de acogida.

En la UC, una parte muy notable de los doctorados actuales, no solo en ciencias experimentales, tienen dicha mención. No obstante, es un reto que admite clara mejoría, particularmente en algunas de las ramas de las ciencias sociales.

El tema de las cotutelas es diferente y de mayor calado, ya que exige estancias largas y un convenio de colaboración entre las dos instituciones, donde se fijen las características del proceso formativo, así como de la presentación última de la memoria de tesis, que es defendida en una única institución, adquiriendo los dos Títulos

correspondientes a las dos instituciones. Hay dos supervisores, uno en cada país.

La cotutela se debe diferenciar de los doctorados conjuntos internacionales, que son ofrecidos por diversas instituciones de diferentes países. Un documento reciente (EUA, 2022), elaborado por la EUA, en 2022, aborda este asunto. El estudio, realizado por 23 universidades de 15 países europeos, tiene un sentido práctico y, a la vez, se considera como una herramienta estratégica para promover la cooperación internacional entre diferentes instituciones.

Hay muchas ventajas derivadas de las cotutelas, además de la obtención del título de Doctorado por las dos universidades. Son las ventajas derivadas de la propia internacionalización, el conocimiento de entornos de investigación y procedimientos de trabajo diversos, el idioma y la complementariedad y posible utilización de infraestructura no disponible en uno de los centros; por lo tanto, sensibiliza en el preciso intercambio y comunicación internacional en el proceso de producción científica.

Además, se refuerzan enlaces de colaboración, muy importantes para la etapa postdoctoral. Para las instituciones es también muy importante para establecer redes de colaboración o reforzarlas, así como promover la atracción hacia futuros doctorandos y ser más competitivos en las convocatorias europeas de investigación. Los principales problemas, no obstante, son de índole administrativo, en muchos casos debido a diferencias entre las normativas de cada institución. La propia negociación del acuerdo de cotutela puede suponer cierto tiempo, por los requerimientos de la tramitación, pero puede solventarse con flexibilidad. Es fundamental una coordinación clara entre supervisores y que haya diálogo entre las partes, para asegurar que el proceso sea fluido y se atienda oportunamente a los

procesos de revisión incluidos en el programa de doctorado, así como los requerimientos de formación transversal y defensa de las Tesis y publicación.

Además, hay retos económicos que pueden ser difíciles de superar, para lo cual las instituciones, las naciones y la UE tienen convocatorias de movilidad. La capacidad económica de los diferentes países puede provocar desventajas, que deberían tratar de ser superadas.

INTERNACIONALIZACIÓN EN LA EUA

En este mismo contexto europeo, es interesante sintetizar los resultados de una encuesta realizada por la EUA (EUA, 2020), en 2020, sobre la situación de la internacionalización en las universidades miembros de la asociación, a la que respondieron 219 instituciones de 34 países (28 españolas, segundo país tras las 35 respuestas de Alemania). El personal docente e investigador extranjero es inferior al 5 % de la plantilla en el 60 % de las instituciones y solo era superior al 10 % en la cuarta parte de las mismas. Sin embargo, en la mayoría de las instituciones existen acciones de internacionalización, dominando la movilidad de los estudiantes e investigadores y los proyectos conjuntos de investigación.

Las colaboraciones son más frecuentes con instituciones similares en perfil o complementarias, en menor nivel con industrias extranjeras y aún menor con administraciones u otras organizaciones públicas o privadas. Dominan las colaboraciones de países europeos entre sí, seguidas de las mantenidas con USA, países de Europa no pertenecientes a la UE, Asia, Sudamérica y en menor medida, África, Medio Oriente, India y Australia y Oceanía.

Los programas principales de captación de fondos son Erasmus+ y Horizon2020, seguidos por otros programas nacionales o europeos como Interreg, COST, etc. Están en crecimiento iniciativas estratégicas conjuntas de internacionalización entre instituciones de diferentes países, predominantemente europeas, y se apoyan en las iniciativas de las universidades europeas. Un ejemplo de dichas iniciativas de la UE son las alianzas entre universidades europeas (como es el caso, actualmente, de la Universidad de Cantabria en EUNICE).

El foco de las colaboraciones internacionales es variable, desde aspectos generales institucionales hasta aspectos disciplinares específicos u otras motivaciones. Las áreas cubiertas están dominadas por el aprendizaje y la enseñanza, seguida por la investigación, la innovación y la difusión.

La movilidad de la plantilla viene determinada, prioritariamente, por actividades de investigación, sobre todo en proyectos europeos conjuntos.

Los beneficios esperados de estas iniciativas europeas son, sobre todo, en términos de mejora de la calidad de la docencia, el aprendizaje y la investigación, pero también mayor visibilidad, fortaleza de la relación entre educación, investigación e innovación.

Se espera de las iniciativas europeas la eliminación de los obstáculos a la internacionalización, ayudando a una mayor cohesión europea. Las iniciativas se enfrentan a retos diversos, no solo de inversión suficiente, sino de sostenibilidad, de urgencia y de eliminación de trabas burocráticas y administrativas, así como retos de gestión, de lenguaje, de incremento de las sinergias entre instituciones y de interés y compromiso por parte de todas las partes implicadas, estudiantes, docentes, administración y servicios.



Figura 4. Programa Erasmus en la Universidad de Cantabria.

BOLONIA Y ERASMUS EN LA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA UC

La Facultad de Ciencias está desarrollando todo el proceso de Bolonia con convicción y esfuerzo. Los frutos se están viendo ya, si bien entorpecidos por los problemas de gestión y de presupuesto, a los que se añade el envejecimiento del profesorado, consecuencia de una deficiente política estatal de recursos humanos en el pasado, que aún está lejos de resolverse.

No obstante, tras 50 años de evolución, nuestros estudiantes disponen de unas infraestructuras adecuadas para una formación teórica y aplicada, programas de movilidad internacional que se han mostrado muy eficientes, y un índice de empleabilidad cercano al 100 %, en actividades muy extendidas que van desde la enseñanza e investigación hasta desarrollos de control de calidad, desarrollo software y hardware en empresas públicas o privadas y administraciones. Su competitividad, a nivel internacional, es buena. Se manifiesta en la tasa de éxito en cuanto al acceso a programas internacionales, particularmente en investigación predoctoral y en las primeras etapas investigadoras postdoctorales.

El éxito se manifiesta, asimismo, en la alta demanda de entrada en las carreras que componen los estudios de grado y postgrado de la Facultad de Ciencias, habiendo logrado un aumento espectacular desde los primeros años de existencia de los mismos hasta la actualidad. Una buena parte de este éxito es debido a los programas de movilidad internacional de estudiantes y profesores, que es necesario seguir potenciando en el futuro.

En la actualidad hay convenios con una veintena de universidades europeas para el desarrollo del programa Erasmus (Figura 4), incluyendo Francia, Alemania, Reino Unido, Noruega, Países Bajos,

Suiza, Italia, Portugal, Irlanda, Finlandia, Bélgica y Austria. Se espera aumentar el número e intensidad del programa con la nueva red europea de universidades EUNICE, de la que forma parte la UC.

El flujo de estudiantes de nuestra Facultad de Ciencias se dirige, sobre todo, a Noruega, Reino Unido, Bélgica, Portugal e Italia, y recibimos, regularmente, estudiantes de Alemania, Irlanda, Francia e Italia. Además, tenemos convenios con universidades hispanoamericanas, de Chile y Méjico, si bien el flujo de alumnos es bajo. También existe intercambio regular con la Universidad de Brown, y hay, asimismo, intercambios con otras universidades de EEUU y Canadá, como Princeton, UCF (Orlando), Austin, Oregón, Tulsa (Oklahoma) y Rhode Island. También hay cierto intercambio con África, Egipto en particular.

En los últimos cinco años, se han beneficiado 65 estudiantes de los programas de movilidad (55 a Europa, 10 a EEUU y Méjico) y en torno a 35 estudiantes extranjeros han venido a nuestra Facultad. Hay que tener en cuenta que la pandemia ha reducido el flujo en ambos sentidos, en los dos últimos años, situación que se está volviendo a normalizar en la actualidad.

GLOBALIZACIÓN DE LA ACTIVIDAD CIENTÍFICA, GRANDES COLABORACIONES, REDES DE INVESTIGACIÓN Y TRANSFERENCIA

OPINIONES DE INVESTIGADORES DE LA FACULTAD DE CIENCIAS

Consultados diversos investigadores e investigadoras de ciencias y matemáticas de la UC la opinión sobre la fuerte relación existente entre investigación científica e internacionalización es recurrente.

En algunos casos se ha destacado asimismo la importancia sobre la formación. Un resumen de las opiniones puede dar una idea más clara de lo que significa la internacionalización en la carrera investigadora de los científicos de la Facultad de Ciencias y del IFCA: «Nuestro trabajo es 100 % internacional... los análisis, las reuniones, las discusiones, los trabajos de colaboración... Por tanto, mi trabajo es internacional desde el primer momento y espero que lo sea los años que nos quedan de trabajo»; «desde el principio de mi carrera científica... siempre ha sido algo consustancial al trabajo desarrollado. Siempre hemos trabajado en colaboraciones internacionales, que han ido creciendo con el tiempo dada la necesidad de desarrollar cada vez detectores y experimentos más complejos... trabajo en equipo sin importar la nacionalidad con contribuciones proporcionales a las capacidades científicas y de recursos humanos y materiales, pero siempre en un contexto internacional con participación de cada vez más países....».

Las expresiones van recurrentemente en esa misma dirección. «Habitualmente se recurre a la comunidad internacional, investigando las posibles soluciones que otros dentro de ámbitos similares, han aplicado a problemas»; «...hemos estado de manera casi ininterrumpida en proyectos europeos ... la internacionalización no solo es necesaria, sino que además debería ser obligatoria en algunos campos y debería ser tenida en cuenta por nuestra universidad como mérito añadido»; «Para mí la internacionalización es fundamental. Sin ella el campo sería muy diferente (peor) a lo que conocemos hoy. La magnitud (humana y económica) de las colaboraciones científicas en este campo se fundamenta en la internacionalización... Considero que es cada vez más importante y más necesaria. Y gracias a la globalización es, además, inevitable».

Y siguen las observaciones sobre que «es necesario el intercambio de ideas y métodos de trabajo con otros grupos de investigación internacionales, que pueden aportar una manera muy diferente de realizar el trabajo de investigación ... ayuda a darte una nueva perspectiva y plantearte nuevas maneras de afrontar un problema... sin este concepto de internacionalización no sería posible realizar este tipo de experimentos... es muy importante crear contactos y fomentar las redes internacionales ... es importante poder ver la ciencia como algo global...».

«La internacionalización en la ciencia, no significa solamente que los descubrimientos, avances y hallazgos trascienden todas las barreras nacionales, sino que para su elaboración se requieren ideas, discusiones y colaboración entre científicos sin tener en cuenta la nacionalidad de estos... Es impensable en estos días poder producir buenos resultados científicos sin la colaboración de diferentes países y universidades».

«La investigación científica no versa sobre contenidos específicos de ninguna región o país. La internacionalización de su temática es, pues, obvia. En consecuencia, es también obvia la necesidad de internacionalizar el desarrollo del trabajo, de compartir resultados y de colaborar en su obtención... Gran parte del extraordinario desarrollo de la matemática española, a nivel mundial, se debió a las estancias y visitas de investigadores españoles en el extranjero, desde mediados de los setenta en adelante... Si el análisis del nivel de colaboración internacional lo hacemos por años, se aprecia un aumento significativo (más de 15 puntos porcentuales) a lo largo de estos quince años...».

«En general la internacionalización creo que tiene un impacto positivo (contacto con otros métodos, instituciones y culturas que ayuda a tener una visión más amplia y a establecer colaboraciones científicas), aunque también sus retos (diferencias culturales, barreras lingüísticas). Pero el propio esfuerzo por afrontar estos retos puede ayudar a mejorar las estructuras y procedimientos propios. En mi caso en particular... principalmente nuestros contactos internacionales son en forma de proyectos europeos. Esto permite colaborar y visitar otros centros».

A su vez, «contar con la ayuda de colaboradores internacionales ... es esencial para validar nuestros resultados. Esta retroalimentación y complementariedad entre teoría y experimento es muy importante para el avance de nuestros algoritmos ... además... ayuda a diseñar ... evitando costosos procesos experimentales. Los medios ... solo los podemos encontrar en los grandes laboratorios internacionales».

Se insiste en el beneficio logrado en investigación, docencia, colaboración institucional, científica y con empresas e instituciones,

lo que impulsa innovación y desarrollo y contribuye a ampliar la masa y conciencia crítica. Se enfatiza el beneficio de la experiencia colaborativa internacional en la etapa postdoctoral, que facilita los retornos.

«Es obvio [insisten los testimonios] que la actividad científica y humanística del siglo XXI está marcada por la cooperación internacional... no se puede tener todas las herramientas en una Universidad o un Instituto... si Universidad viene de Universal está claro que las actitudes, manera de concebir el trabajo académico, se debe enriquecer con las experiencias de otros lugares». Se valora especialmente el poder trabajar con grandes equipos e instalaciones, a lo largo de toda la vida profesional. Todo ello permite intensificar la conciencia crítica, analizar las propias herramientas y condiciones, así como las del entorno y propiciar el intercambio científico.

El mundo está cada vez más interconectado, cuantas mejores relaciones, más futuro tendrán nuestros egresados y mejores aportaciones se transferirán a la sociedad como conocimiento puro o de una manera práctica. La internacionalización es una oportunidad, pero debemos estar vigilantes para que esa actividad se traduzca en algo concreto y no una mera *catch word* para contentarnos: «salir al extranjero y trabajar en otra universidad nos permite liberarnos de nuestras caderas interiores, haciéndonos sentir que somos parte de esa comunidad internacional a la que pertenecemos por derecho, por proyección y, gracias al esfuerzo de mucha gente, cada vez más por tradición».

Todo ello ayuda a poner en perspectiva la labor de un científico en la sociedad, y ser consciente de ello.

En definitiva, se valora la apertura de ideas, procedimientos y métodos que proporciona la internacionalización de la investigación

científica. Se ve necesaria la integración en redes de investigación y grandes colaboraciones científicas que proporcionen la masa crítica suficiente de capital humano y las infraestructuras multinacionales adecuadas a la realización de experimentos fundamentales, de calidad, innovativos, donde la financiación, pero también la complementariedad, son esenciales para el logro de los objetivos.

La interdisciplinariedad y la internacionalización son condicionantes para el éxito de la investigación, desde su diseño a la obtención y análisis de los datos, así como su difusión por los procedimientos usuales de la producción científica. El trabajo en la frontera de la ciencia exige el desarrollo de métodos y materiales de trabajo innovativos, que dan lugar a transferencia hacia la sociedad, tecnológica y cultural, lo que revierte positivamente frente a las grandes inversiones iniciales.

La posición de los grupos de ciencias experimentales y matemáticas de la Facultad de Ciencias de la Universidad de Cantabria y el IFCA, en el contexto internacional de la investigación científica es muy buena, sobre todo considerando la relación entre la inversión pública (la privada es mucho menor) en comparación con instituciones públicas equivalentes en tamaño, de países como Suiza, Alemania, Francia o Reino Unido.

Dicha situación, que continúa ascendiendo, es el fruto de muchos años de esfuerzo por parte de sus protagonistas, que se inició, a finales de los años 70, a partir de una situación totalmente precaria, sin recursos ni planificación política y aislada prácticamente del contexto internacional.

INTERNACIONALIZACIÓN DEL GRUPO DE ALTAS ENERGÍAS DEL IFCA

En las siguientes líneas esbozaré cómo ha evolucionado, a partir de mi propia experiencia, que se inició prácticamente a la vez que la propia Facultad de Ciencias de la Universidad de Cantabria, hace más de cincuenta años.

En sus comienzos, los estudios de Física, en Santander, dependían de la Universidad de Valladolid, el profesorado era escaso y apenas unos pocos catedráticos iniciaban su labor docente e investigadora en la misma. Las infraestructuras de investigación eran muy precarias, la política científica del país era, todavía, dependiente del régimen franquista, muy cerrada al mundo exterior y las posibilidades de promoción de los jóvenes titulados y los profesores no permanentes estaba destinada, prácticamente, a la enseñanza secundaria.

En este contexto, aunque escasos, varios de los profesores que iniciaron su andadura en Santander, procedentes de otras universidades, como Valladolid, Sevilla, Madrid o Zaragoza, habían tenido estancias de investigación fuera de España y mostraban un gran interés en la promoción e incorporación de nuevos profesores, particularmente de aquellos que se habían formado en el extranjero, realizando su doctorado en condiciones muy precarias, pero con gran vocación.

Esta situación se fue desarrollando durante la segunda mitad de los años setenta, durante la transición a la democracia, que inició una apertura al exterior y la incorporación de personal docente e investigador más joven. La incorporación de personal funcionario estable era más complicado, ya que el sistema promovía que la Universidad de Santander, como otras pequeñas universidades periféricas, actuara de trampolín de los nuevos catedráticos hacia las universidades

más grandes y poderosas, por lo que varios de ellos apenas llegaron a desarrollar alguna labor docente e investigadora en Santander.

Puesto que las infraestructuras y la financiación continuaban siendo escasas, la investigación y las estancias en centros extranjeros tenían una orientación más teórica que experimental. Sin embargo, gracias a las ayudas de entidades privadas externas a la universidad, concretamente la Fundación Botín del Banco de Santander y algunas otras, permitieron la movilidad internacional de algún grupo de investigación, como fue mi propio caso.

Eugenio Villar era un catedrático, procedente de la Universidad de Valencia, del Instituto de Física Corpuscular (IFIC), donde había realizado sus estudios de doctorado, antes de desplazarse algún tiempo al Laboratorio Europeo de Física de Partículas (CERN)⁸ (CERN, 2022) (Figura 5), donde adquirió experiencia internacional y contactos con importantes científicos europeos, italianos especialmente.

Tras un tiempo como profesor de la Universidad de Santiago de Compostela, se desplazó a la nueva Facultad de Ciencias de Santander, aún dependiente de la de Valladolid, con el objetivo de organizar los estudios de Física y promover nuevos grupos de investigación.

Yo me incorporé a su grupo, como becario, en 1974 y nos planteamos la realización de una tesis doctoral en el campo de la física de altas energías. Disponíamos de algunas emulsiones ionográficas, los detectores usuales en aquellos años para el estudio de las colisiones en

⁸ CERN, el Laboratorio Europeo de Física de Partículas, es la organización internacional para el desarrollo del conocimiento científico más grande del mundo, constituyendo un ejemplo de cooperación internacional y de transferencia del conocimiento a la sociedad, de forma abierta y transparente.



Figura 5. CERN Vista aérea (cortesía CERN).

los aceleradores de partículas. Nuestras emulsiones eran procedentes de experimentos realizados en el laboratorio Berkeley (LBL) de California (Estados Unidos), que nos habían prestado para su observación con microscopios ópticos, y que todavía no habían sido analizadas.

Para ello teníamos algún microscopio óptico de alta precisión que se había logrado a través de contactos con colegas extranjeros, así como otros microscopios procedentes del Hospital Marqués de Valdecilla, con cuyo departamento de Anatomía Patológica manteníamos una relación amistosa de trabajo. Dos microscopistas con formación técnica se incorporaron al grupo para el escaneo de dichas emulsiones y otras más, procedentes de experimentos del «Fermi National Laboratory» (Fermilab, USA)⁹ (Fermilab, 2022).

Con este bagaje, iniciamos dos tesis doctorales en ciencias experimentales, en la naciente Universidad de Santander, para el estudio de la estructura de los núcleos de los átomos. La realización de mi tesis no hubiera sido posible si no hubiera tenido un intercambio de ideas y experiencia con otros doctorandos del IFIC y de un grupo de la Universidad de Barcelona. Pero, sobre todo, gracias a las ayudas para estancias de investigación que pude lograr, primero a través de la Fundación Botín y después gracias al intercambio hispano-francés, que me permitieron pasar algún tiempo en el «Centre National pour la

⁹ El centro «Fermi National Laboratory» (Fermilab), es la mayor institución de física de aceleradores de partículas de los Estados Unidos de América. Fundada en 1967, tras la selección efectuada por el Departamento de Energía (entonces Comisión de Energía Atómica), un consorcio de universidades americanas se encargó de operarla con el nombre de Laboratorio Nacional de Aceleradores, antes de añadir el nombre de Fermi, lo que ocurrió en 1974. En la actualidad esté operada por una alianza entre la Universidad de Chicago y la Asociación de Universidades para la Investigación (URA), constituida por 89 universidades.

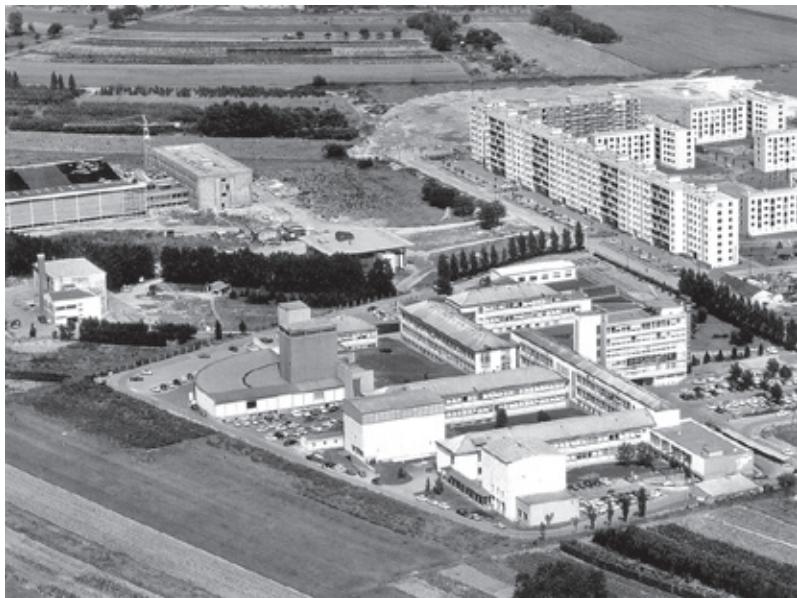


Figura 6. CNRS Cronenbourg (Foto: CNRS).

Recherche Scientifique» (CNRS) de Estrasburgo (Figura 6), iniciando una fructífera colaboración científica.

Hay que reconocer que las ayudas eran muy limitadas, los viajes había que realizarlos a bajo coste, en largos recorridos en tren, pero el interés por el desarrollo de la tesis y del grupo de investigación naciente, unido a una cultura de esfuerzo (recuerdo que el trabajo llevaba muchas horas de dedicación diaria, tanto fuera de España como dentro) y la ayuda inestimable de los colegas franceses, hicieron posible lo que hoy en día podría parecer inimaginable.

Hay que considerar, además, que los ordenadores de la época, en Santander, eran casi inexistentes, que todavía se utilizaban métodos arcaicos como, por ejemplo, tarjetas perforadas para preparar los programas de análisis. Estos haces de tarjetas debíamos enviarlas al único centro público con infraestructura de cómputo, el Instituto de Informática en la calle Vítruvio, en Madrid, para recibir los resultados, a veces indicando error en la configuración de los programas, al cabo de unos días. Claramente, este procedimiento era muy poco efectivo y suponía grandes retrasos en los análisis de los datos.

Otra cosa diferente ocurría cuando estaba presente en el centro de Cronenburgo (donde estaba localizado el CNRS de Estrasburgo). Disponían de una infraestructura de cómputo similar o mejor que la de Vítruvio y, al poder realizar los análisis presencialmente, el avance de los mismos era considerable, en comparación.

Aún más decisiva fue la oportunidad de visitar el CERN durante la etapa de realización de mi tesis y posteriormente, estableciendo contactos con el grupo de emulsiones del mismo y otros científicos de otros países, con los que habíamos iniciado colaboraciones conjuntas para el estudio de la estructura nuclear, utilizando los datos obtenidos

en emulsiones irradiadas en Fermilab a energías cada vez mayores, que permitían un estudio más profundo de las características del núcleo de los átomos.

La internacionalización del grupo se hacía más patente cada vez, pasando de pequeñas colaboraciones de dos o tres universidades a nuevas colaboraciones más numerosas y potentes, con una decena de instituciones, aproximadamente, y algunas decenas de científicos, europeos la mayor parte.

Durante aquella época propusimos y realizamos experimentos en los aceleradores del CERN, desarrollamos nuevas técnicas de detección, más eficaces que las emulsiones, en términos estadísticos, logramos resultados de alto impacto científico a la vez que la física teórica de partículas iba desarrollando su modelo estándar y los resultados experimentales descubrían y analizaban nuevas partículas componentes de la materia del Universo.

A comienzos de los años 80, las estancias internacionales durante los veranos en el CERN, financiadas por el propio laboratorio europeo, así como las visitas sistemáticas durante todo el año, para la asistencia a las reuniones internacionales de las colaboraciones, eran el procedimiento usual y necesario para el desarrollo del grupo, que nos permitió formar a nuevos investigadores. Por otra parte, la financiación para el desarrollo de los proyectos la obtuvimos a través de la Comisión Asesora de Investigación Científica y Técnica (CAICYT)¹⁰ (Wikipedia, 2022).

¹⁰ La Comisión Asesora para la Investigación Científica y Técnica (CAICYT) se creó, en 1958, con la finalidad de planificar la política científica en España. En 1987 fue sustituida por la Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología (CICYT),

Durante esos primeros años de la década de los 80 se produjo un cambio decisivo en la planificación española para la participación en los nuevos experimentos del CERN, que incluía la construcción de un nuevo acelerador electrón-positrón (LEP) (Figura 7), para la producción masiva de los bosones neutros de la interacción electrodébil, bosones Z, predichos por el modelo teórico estándar¹¹ (CERN-SM, 2022),

que funcionó hasta 2009, en que fue cambiada por la Comisión Delegada del Gobierno para Política Científica y Tecnológica.

Como recoge Emilio Muñoz, en su artículo «Política científica (y tecnológica) en España: Un siglo de intenciones» (Muñoz, 2001), la CAICYT fue el primer intento de los gobiernos tecnócratas para resolver la crisis económica existente, utilizando la ciencia y tecnología como motor del desarrollo económico. Las organizaciones internacionales UNESCO y OCDE tuvieron un papel relevante en este proceso.

Sin embargo, la escasa dedicación presupuestaria para proyectos de investigación en ciencia y tecnología hicieron que estos esfuerzos iniciales resultasen de valor muy limitado y el desarrollo industrial y económico se realizó de forma independiente. La dedicación a Ciencia y Tecnología, apenas superaba, entonces, el 0,3 % del PIB.

A finales de los años 70, con la transición, la CAICYT fue remodelada como agencia de financiación, los proyectos se basaron en criterios competitivos y la ciencia y tecnología comenzaron a cobrar importancia en el programa político. Con el gobierno socialista de 1982, se inició la reforma, se promulgó la Ley de la Ciencia (Ley 13/86), el Plan Nacional de I + D, la Agencia Nacional de Evaluación y Prospectiva (ANEP), el Centro para el Desarrollo Tecnológico Industrial (CDTI) y la CICYT, entre otras actuaciones.

¹¹ El Modelo Estándar de la física de partículas elementales es la teoría más completa que existe sobre la estructura dinámica de la materia que constituye nuestro Universo. Es una teoría cuántica de campos, en la que los campos fundamentales que constituyen los bloques elementales de la materia son seis quarks y seis leptones, los cuales interactúan entre sí, mediante el intercambio de otras partículas elementales de tres formas diferentes: Interacciones electromagnética, mediante fotones; nuclear fuerte, mediante ocho tipos de gluones y nuclear débil, mediante bosones W+, W- y Z.

en los años 60 y descubiertos, junto a los bosones cargados W^+ , W^- , en los experimentos del acelerador SPS del CERN, en el año 1983.

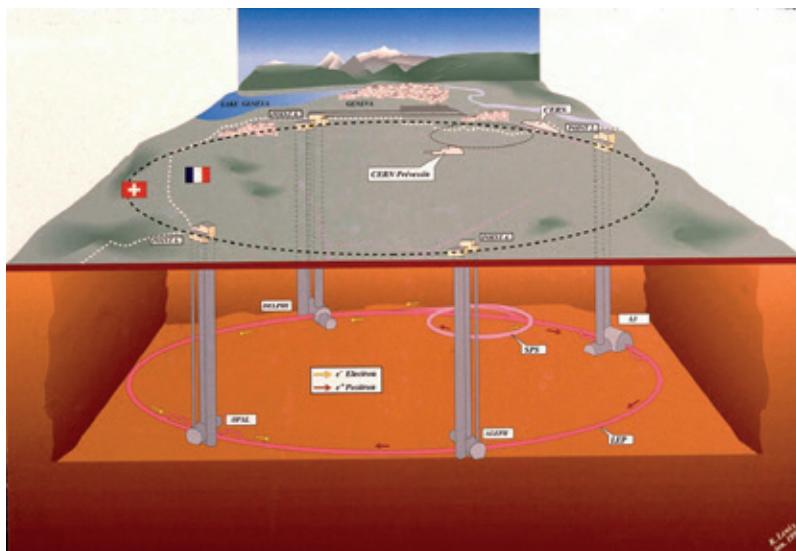


Figura 7. Esquema de la situación del acelerador LEP y sus cuatro experimentos
(Foto: CERN).

La interacción electromagnética y la nuclear débil se describen de forma unificada, en la denominada teoría electrodébil. En la misma, un campo responsable de la existencia de masa en las partículas elementales es el campo de Brout-Englert-Higgs, cuyo cuanto, el bosón de Higgs, fue descubierto, en el CERN, en 2012. La otra interacción fundamental, la gravitatoria, se describe con la teoría del espacio-tiempo de Einstein, la Relatividad General. No existe una teoría cuántica de la gravitación, que sea consistente, como tampoco hay explicación, en el Modelo Estándar, de la existencia de materia oscura y energía oscura, que proporcionan el 96 % de la energía del Universo.

El nuevo acelerador sería una factoría de Z's, funcionando a la energía de producción resonante y tendría varios experimentos (cuatro, finalmente), realizados por grandes colaboraciones científicas internacionales, constituidas por cientos de científicos e ingenieros pertenecientes a decenas de instituciones científicas, globalmente distribuidas por todo el mundo, europeas particularmente.

El coste de la máquina y los detectores, así como la complejidad en cuanto a los sistemas de detección, electrónica, computación y análisis, implicaba la necesidad de globalizar y poner en común las capacidades en infraestructura y capital humano de todas las regiones del mundo. Por ello, los países participantes, entre los que estaba España, tuvieron que revisar sus estrategias de política científica.

Así nació, en España, el Plan Movilizador de las Altas Energías, coordinado por Pedro Pascual, catedrático de Física Teórica de la Universidad de Barcelona. El momento político era adecuado, ya que el gobierno español se implicó activamente, dedicando fondos para ello y actuando de forma activa para el desarrollo de la investigación científico-técnica. Hay que reconocer la labor del entonces director general de política científica, Emilio Muñoz Ruiz. El Plan Movilizador de Altas Energías supuso la creación de dos nuevos grupos de investigación, en las Universidades de Barcelona y Autónoma de Madrid, y reforzar los grupos del CIEMAT en Madrid, el IFIC, en Valencia, y el grupo de Altas Energías de la Universidad de Cantabria.

En nuestro caso, el experimento internacional en el que participamos fue el experimento DELPHI¹² (CERN-DELPHI, 2022), cuya colla-

¹² DELPHI es uno de los cuatro experimentos que funcionaron en el acelerador «Large Electron-positron Collider (LEP)» (CERN-LEP, 2022), del CERN, entre 1989 y 2000.



Figura 8. Congreso internacional TAU98, celebrado en Santander, en 1998, con la participación del descubridor del leptón tau y premio Nobel Martin Perl.

boración estaba constituida por cerca de 600 físicos e ingenieros, distribuidos en 56 universidades e institutos de investigación. Pedro Pascual me encomendó la tarea de dirigir el grupo de Cantabria. Nuestra participación en esa gran colaboración internacional, en la cumbre de la investigación científica en física fundamental y en el laboratorio más valorado del mundo en el área, constituyó un hito esencial para el avance y consolidación de nuestro grupo.

La actividad desarrollada, durante aproximadamente veinte años que duró el experimento DELPHI, en la que varios miembros del grupo tuvimos responsabilidades diversas en el análisis de los datos y en el desarrollo de algoritmos de software para los detectores, la simulación y el análisis, nos permitieron el crecimiento y visibilidad del grupo a nivel internacional (Figura 8). Varias tesis doctorales de la Universidad de Cantabria se realizaron en el marco del experimento y, consiguientemente, un buen número de publicaciones de alto impacto, presentaciones en congresos y conferencias internacionales. En definitiva, una alta producción científica, de alto impacto internacional. Pero también tuvo retornos muy favorables para la Universidad de Cantabria y para la comunidad académica española, en su conjunto, en términos de transferencia tecnológica. Ello se debió a la necesidad de competir a nivel internacional, con una capacidad de cómputo y un desarrollo de sistemas de comunicación entre los nodos constituidos por los distintos grupos de las colaboraciones internacionales.

Fue un detector de propósito general, con el objetivo principal de realizar el estudio de las propiedades de los bosones de la interacción nuclear débil, Z , W^+ y W^- . Fue diseñado y operado por una colaboración constituida por cerca de 600 físicos e ingenieros, pertenecientes a 22 países de todo el mundo, de 56 instituciones científicas, entre las que se encontraba el IFCA, junto con el IFIC de Valencia y la Universidad de Oviedo.

Para abordar ese reto se constituyó una red de computación y comunicación entre las instituciones españolas participantes en LEP, la llamada red académica para las altas energías FAEnet¹³ (Ruiz Jimeno, ATESANT-FAEnet, 2020), integrada en la red internacional de altas energías HEPnet y se dotó de un presupuesto específico para instalar la infraestructura necesaria y financiar el tráfico de datos, para competir a nivel europeo.

Nuestro grupo participó desde el principio y lideró el desarrollo de la misma a través de nuestro responsable de informática. Dicha red fue el germen de la que sería posteriormente Red IRIS, la red académica de comunicación española, actualmente responsable de las comunicaciones entre entidades científicas, integrada en las redes internacionales. De hecho, el inicio de la Red IRIS fue, asimismo, liderada por nuestro anterior responsable de informática, Ignacio Martínez. El naciente centro de cálculo de la Universidad de Cantabria, nacido en la Facultad de Ciencias durante los primeros años, mantuvo una colaboración muy estrecha con nuestro grupo y una buena parte de la infraestructura de cómputo se subvencionó con un proyecto del plan nacional, en 1986, en que actué como investigador principal.

Otra actividad de transferencia de muy alto calado fue consecuencia de la preparación de la tesis doctoral de Ángel Camacho, responsable de los servicios informáticos de nuestro grupo, tras Ignacio Martínez. Su tesis, Desarrollo del soporte de comunicaciones para el entorno *on-line* del experimento DELPHI del acelerador LEP del CERN, consistía en el desarrollo de un soporte de comunicaciones

¹³ FAENET, fue la Red española de comunicación de Altas Energías, integrada en la red internacional HEPNET, creada a finales de los años 80.

para el experimento DELPHI, constituido por un sistema muy complejo de subdetectores que debían ser capaces de entenderse mutuamente. Para ello estableció contactos con responsables internacionales de diversos países y con el servicio de comunicaciones del CERN, entre los que se encontraba Tim Berners-Lee. El desarrollo de estos hipertextos requeridos por las colaboraciones del LEP tuvo su aplicación en la bien conocida telaraña mundial, «World-Wide-Web» (www)¹⁴ (W3C, 2000), lanzada a finales de 1990, lo que supuso una auténtica revolución en la transmisión de información a escala global mundial, que pervive hoy en día.

La primera página web de la historia se hizo pública en el CERN a comienzos de 1991. Gracias a las características especiales del CERN el código se distribuyó de forma gratuita, a partir de 1993, lo cual permitió su rápida expansión por todo el mundo y su aplicación global, multidisciplinar, revolucionando la capacidad de transmisión de información en todo el planeta.

Ángel Camacho creó el primer servidor *web* en España, el del grupo de Altas Energías de la Universidad de Cantabria, llamado <http://esanu1.unican.es/>, e incluso una página dedicada a información sobre las razas españolas de perros, en 1992. Este ejemplo es una muestra más de la gran importancia de la internacionalización y del retorno hacia la sociedad de la inversión en ciencia básica. No obstante, los registros del CERN de páginas web en el mundo no comenzaron a escribirse hasta 1993 y la información inicial era deficiente, determinada principalmente por la que se transmitía desde los propios centros al servicio dedicado a ello en el CERN. A partir de febrero de 1994 el registro se normalizó y la lista se completó de forma más exacta.

¹⁴ WWW, la telaraña mundial de información virtual.



Figura 9. Parte de la colaboración CDF del Tevatron de Fermilab (Foto: CDF).

En esta lista aparecen cuatro nodos en España, uno de los cuales se refiere al nodo citado de la Universidad de Cantabria.

En 1994 se incorporó al grupo de altas energías la doctora Teresa Rodrigo, procedente de Fermilab, como profesora titular. Su experiencia investigadora internacional era muy sobresaliente y conocida, pues había participado en el experimento UA1 del CERN, que descubrió los bosones W y Z de la interacción electrodébil, en 1983. Además, era una persona muy activa en la búsqueda del quark top, dentro de la colaboración internacional CDF¹⁵ (CDF, 2022) (Figura 9) del acelerador Tevatron de Fermilab. De hecho, el descubrimiento del quark top fue anunciado por los experimentos del Tevatron, en 1995, mientras ella estaba ya instalada profesionalmente en la Universidad de Cantabria.

Ese mismo año, se aprobó la constitución de un instituto mixto de la Universidad de Cantabria y del Consejo Superior de Investigaciones Científicas, el Instituto de Física de Cantabria, IFCA. El grupo de Altas Energías tuvo un papel muy relevante en dicha creación. La evolución del IFCA desde esos primeros comienzos ha ido en aumento muy positivo, hasta la situación actual como centro de excelencia María

¹⁵ CDF es uno de los dos experimentos que funcionaron en el acelerador Tevatron, de Fermilab, cuya segunda etapa, en la que participó el IFCA, duró de 1999 a 2010. Como DELPHI fue un detector de propósito general, pero preparado para operar en un acelerador hadrónico, con el objetivo principal de profundizar en el estudio de las propiedades de los componentes del modelo estándar de interacciones fundamentales de la materia, incluyendo la búsqueda del bosón de Higgs. La colaboración está constituida por cerca de 500 físicos e ingenieros, pertenecientes a 13 países de todo el mundo, de 109 instituciones científicas (la mitad de las mismas son de los Estados Unidos de América), entre las que se encuentra el IFCA, junto con el CIEMAT de Madrid, el IFAE de Barcelona y la Universidad de Oviedo.

de Maeztu¹⁶ (Ministerio Ciencia e Innovación, 2022). Su vocación internacional ha sido fundamental para ello.

La incorporación de Teresa Rodrigo permitió un desdoblamiento de la actividad del grupo, que fue admitido como miembro de la colaboración CDF de Fermilab, colaboración de características similares a DELPHI, pero en un acelerador hadrónico, el Tevatron, complementario del acelerador LEP del CERN. De hecho, ambos aceleradores tuvieron un papel crucial en el establecimiento del modelo estándar, mediante medidas muy precisas de sus componentes y sus interacciones fundamentales.

Para el grupo, la incorporación a CDF supuso un crecimiento, tanto en la formación doctoral como en la actividad postdoctoral, ya que varias tesis se desarrollaron en el mismo, con miembros del grupo desplazados a las instalaciones de Fermilab, cerca de Chicago, pero integrados en el grupo del IFCA, y participamos en el desarrollo de instrumentación de primera línea tecnológica, en colaboración con instituciones tan prestigiosas como el Massachusetts Institute of Technology (MIT), el propio Fermilab o las Universidades de Pennsylvania y Florida, entre otras.

Por otra parte, en Europa se estaba desarrollando el gran proyecto de diseño y construcción de un nuevo acelerador protón-protón, el «Large Hadron Collider» (LHC)¹⁷ (CERN-LHC, 2022) y sus detectores

¹⁶ El IFCA fue seleccionado por un comité científico internacional, en concurrencia competitiva, dentro del programa de Centros de excelencia, como unidad de excelencia María de Maeztu, por su impacto y relevancia a nivel internacional.

¹⁷ El LHC es el gran acelerador hadrónico protón-protón del CERN, con amplia participación española, en la que el IFCA realiza la investigación científica más avanzada, en la actualidad, en física de partículas.

asociados (CMS, ATLAS, ALICE y LHCb). Teresa Rodrigo lideró, desde su incorporación al grupo en 1994, las gestiones para que el grupo entrara en la colaboración CMS¹⁸ (CERN-CMS, 2022) (Figura 10).

El LHC y sus cuatro colaboraciones suponían un salto cualitativo y cuantitativo en la organización de las instituciones participantes, que proporcionaban un número de científicos e ingenieros superior en un orden de magnitud a las colaboraciones del LEP. Las colaboraciones del LHC eran también mucho mayores en cuanto a número de miembros, constituidos por instituciones científicas de todo el mundo. También suponía, necesariamente, una inversión mucho mayor en infraestructuras de detectores, adquisición de datos y análisis, de innovación en nuevos métodos de detección, electrónica y redes de computación, así como de capital humano multidisciplinar.

La experiencia adquirida en las grandes colaboraciones previas del LEP y Tevatron había que extrapolarlas a estas nuevas estructuras, en que la competitividad interna era mucho mayor, lo que suponía un reto muy importante para las instituciones participantes, como era el caso de la nuestra (Figura 11). Teresa Rodrigo realizó una labor muy importante, adquiriendo, además, una visibilidad notable al ser elegida para la dirección de la Asamblea de Instituciones participantes en el Experimento («CMS Collaboration Board [CB]») y, posteriormente, miembro del Comité de Política Científica del CERN.

Otros miembros del grupo han ocupado puestos de responsabilidad en CMS, donde nuestra participación tiene componentes tanto de

¹⁸ CMS («Compact Muon Solenoid») es uno de los cuatro experimentos del LHC, codescubridor del bosón de Higgs, junto con otro experimento, ATLAS.



Figura 10. Parte de la colaboración CMS, frente a la fotografía, a escala real, del experimento.

instrumentación, como de desarrollo *software* y de análisis de datos, habiendo sido partícipes destacados en el descubrimiento del bosón de Higgs, en 2012. Por cierto, que, en dicho momento, Teresa Rodrigo era líder del CB de CMS.

La participación y experiencia adquirida en CMS (también las adquiridas en CDF y DELPHI) ha permitido, además, una mejora sustancial de la infraestructura del IFCA, con laboratorios dedicados a I+D, sala blanca e instrumentación opto-mecánica de precisión, además de infraestructura muy avanzada de cómputo y comunicaciones. Además, propició que el grupo dispusiera de una de las grandes instalaciones científicas españolas, la red de supercomputación Altamira¹⁹ (RES, 2022), que da servicio a muchos grupos de diversas disciplinas científicas y está abierto también a las empresas privadas o públicas y a las administraciones públicas.

En la actualidad el grupo está proyectando su futuro, en colaboración con otros grupos del IFCA, estableciendo objetivos comunes que pueden ser enfocados desde perspectivas diferentes. Es el caso de la búsqueda de materia oscura, para lo cual hemos iniciado actividades de búsqueda directa en laboratorios de bajo fondo, además de la búsqueda por producción de la misma en los aceleradores de partículas. Para ello trabajamos coordinadamente con los grupos de astrofísica y cosmología del IFCA.

¹⁹ La Red de computación Altamira forma parte de la Red Española de supercomputación, está situada en el IFCA y da soporte a múltiples usuarios de diferentes áreas.

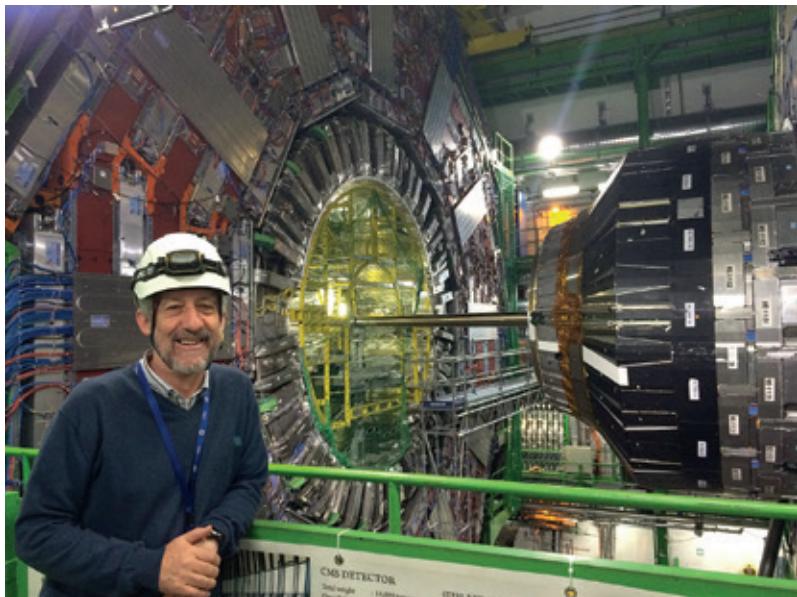


Figura 11. El autor, junto al experimento cms (Foto: Rebeca González).

INTERNACIONALIZACIÓN DE OTROS GRUPOS DEL IFCA

Si en física de partículas reproducimos el Universo en su primera fracción de existencia, utilizando los aceleradores de partículas, por lo que somos capaces de analizar la estructura más elemental de la materia y sus interacciones fundamentales, de acuerdo con las teorías actuales en física fundamental, en astrofísica analizan el Universo, utilizándolo como experimento, es decir, observan el Universo, deduciendo sus propiedades cosmológicas a partir de sus observaciones. Curiosamente, la física de lo más elemental, la física de partículas, y la astrofísica, la observación de lo más grande, el Universo en su conjunto, confluyen en la búsqueda de las propiedades de nuestro propio Universo.

Si bien los modelos teóricos que guían el estudio de la física de partículas se basan en la física cuántica, pues son teorías cuánticas de campos, en astrofísica, la teoría subyacente es la relatividad general, la teoría de la gravitación o del espacio-tiempo. No tenemos, por ahora, una teoría cuántica de la gravitación, lo cual es uno de los principales retos de la Física actual.

Sin embargo, como ya hemos indicado anteriormente, física de partículas y cosmología tienen puntos comunes y complementarios, como es el caso de la búsqueda de materia oscura. En el caso de la cosmología se observa el Universo mediante experimentos con satélites artificiales, en grandes colaboraciones como Planck²⁰ (ESA-Planck, 2022) (Figura 12), entre otros, en los que el IFCA participa.

²⁰ El satélite Planck de la Agencia Espacial Europea fue una misión espacial para el estudio del fondo cósmico de microondas, en particular sus anisotropías.



Figura 12. Modelo del satélite Planck (Photograph by Mike Peel
www.mikepeel.net, CC-BY-SA-4.0, 2009).

Hay otros importantes experimentos internacionales en los que trabaja el grupo de cosmología del IFCA, como el experimento hispano-británico Quijote (IAC, 2022), entre otros. Además del grupo de cosmología, otro grupo de astrofísica del IFCA trabaja en grandes colaboraciones internacionales, en este caso para el estudio de galaxias y núcleos activos de galaxias, AGN. Su actividad consiste en analizar el espectro electromagnético, desde ondas de radio hasta rayos X, mediante observatorios terrestres o satélites espaciales. Entre las colaboraciones internacionales (IFCA, 2022) del grupo está la participación en la misión XMM-Newton de la Agencia Espacial Europea o el proyecto ATHENA²¹ (ATHENA, 2022) (Figura 13).

Asimismo, en el IFCA desarrollamos actividades de I + D para futuros aceleradores, algunos ya aprobados por la comunidad internacional y los gobiernos, como el LHC a alta luminosidad (HL-LHC) y otros, aún en discusión a nivel internacional global, como el International Linear Collider (ILC)²² (ILC, 2022) o el Future CERN Collider (FCC), entre varios posibles proyectos en estudio (Figura 14).

En la actualidad coordino, junto a otros investigadores del IFIC, la Red Nacional de Futuros Aceleradores, un foro de discusión y de conexión con los foros internacionales, que está formado por científicos e ingenieros de instituciones españolas que realizan actividades de I + D para futuros detectores y aceleradores, y donde

²¹ ATHENA es un proyecto de misión de la Agencia Espacial Europea, consistente en un observatorio de rayos X para analizar el Universo energético y caliente, que se espera que empiece a operar hacia 2030. El IFCA alberga la Oficina de la Comunidad de ATHENA.

²² El «International Linear Collider» (ILC) es un proyecto a escala mundial de futuro acelerador de partículas (punto).

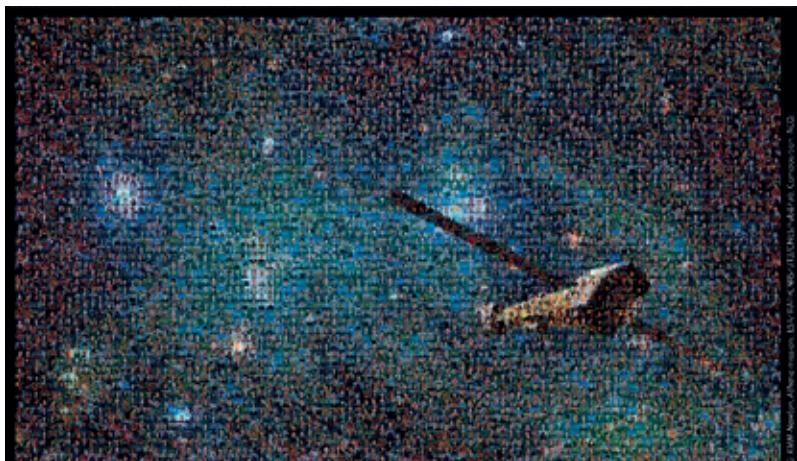


Figura 13. Imagen artística de la comunidad de ATHENA (Fuente: XMM-Newton. ATHENA mission: ESA/IRAP/CNRS/UT3/CNES/Fab&Fab).

participan también la plataforma tecnológica española para la industria de la ciencia INDUCIENCIA (INDUCIENCIA, 2022) y la asociación industrial española de la industria de la ciencia (INEUSTAR) (INEUSTAR, 2022).

La experiencia de mi grupo y grupos colaboradores del IFCA, que he esbozado en los párrafos anteriores, tiene muchos puntos en común con las de otros grupos de investigación de la Facultad de Ciencias y del IFCA, como es el caso de los grupos de materia condensada, de óptica, de astrofísica y cosmología, de sistemas no lineales, de ciencia de datos o de meteorología y cambio climático. También es el caso de los grupos de investigación en informática, en electrónica o en matemáticas. La evolución durante estos cincuenta años ha sido muy positiva, en gran parte debido a la convicción de la importancia de la internacionalidad y el esfuerzo de todos mis colegas, a pesar de las dificultades inherentes a la falta de inversión pública, particularmente en capital humano, así como a las trabas burocráticas y administrativas que dificultan el movimiento internacional hacia dentro y fuera de los científicos.



Figura 14. Parte de los miembros del ILC en una reunión científica internacional en Santander.

INFRAESTRUCTURAS, NECESIDADES FINANCIERAS, SOPORTE INDUSTRIAL E INSTITUCIONAL

En la sección anterior he mostrado la opinión generalizada de mis colegas en la Facultad de Ciencias y el IFCA, así como mi propia experiencia, con respecto a la importancia de las grandes colaboraciones internacionales y las redes de investigación. He realizado una exposición resumida de su importancia en nuestra propia historia y la influencia decisiva que ha tenido y seguirá teniendo en el futuro para la consolidación de la investigación científica y la transferencia, así como la visibilidad de nuestros grupos de investigación, a nivel global.

La realización de una investigación científica de calidad en estos campos, en un contexto globalizado, requiere de grandes infraestructuras e inversión, así como de un buen conocimiento de las capacidades tecnológicas de las empresas, que en muchos casos se mejoran y retroalimentan con los propios desarrollos innovadores ligados a los grandes experimentos científicos. Ciencia básica y ciencia aplicada están ampliamente correlacionadas, cuando se trabaja bien y coordinadamente.

El soporte institucional, que a su vez se aprovecha de los retornos derivados de estas actividades de investigación, es muy necesario y, a su vez, está muy inmerso en las propias estrategias a nivel europeo y mundial, como lo muestran la propia estrategia de investigación e innovación de nuestro país, que sigue, con ligeros matices propios, la estrategia de la Comunidad Europea. De este modo, una buena parte de

la infraestructura de investigación de la que disponemos hoy en día en nuestros centros está ligada a la utilización de fondos FEDER de cohesión europea. En esta sección mostraré algunos ejemplos de la evolución extraordinaria en infraestructuras de investigación que se ha producido en los grupos de la Facultad de Ciencias y el IFCA, durante los pasados cincuenta años. No es mi intención ser exhaustivo con respecto a dichas infraestructuras, sino mostrar algunos casos en los que la internacionalización ha jugado un papel esencial en la consecución de las mismas. Por otra parte, hay grandes infraestructuras nacionales e internacionales, al servicio de todos los grupos de investigación, que tienen que estar centralizadas en determinadas instituciones, por sus características especiales de volumen, coste y efectividad. La internacionalización juega, en estos casos, un papel especial, ya que la utilización de las mismas está sujeta a planificaciones, proyectos internacionales, reglamentos de uso, aprovechamiento de los recursos, difusión de los datos, etc., de carácter transnacional.

RED DE CÓMPUTO DEL IFCA

Un primer ejemplo de estas infraestructuras locales, en este caso ligada al IFCA, es la red de supercomputación Altamira, que compone uno de los servicios científico-técnicos de la Universidad de Cantabria, el Servicio Santander de Supercomputación. Es un servicio que forma parte de la Red Española de Supercomputación, constituida por otros 14 nodos distribuidos por la geografía española, y que da servicio tanto a nivel local como nacional e internacional. Al ser parte de dicha red, es, asimismo, parte de uno de las Infraestructuras científico-técnicas singulares del Estado español.

Su primera versión se instaló en 2007 y, desde entonces, se ha ido implementando hasta la situación actual, en que dispone de un clúster de 400 servidores con 64 Gigabytes de RAM cada uno, un sistema de almacenamiento de datos de 2 Petabytes, y un sistema moderno de *backup*. En total, la infraestructura forma un sistema de cómputo de más de 2500 núcleos y 10 TB de memoria RAM llegando a una capacidad de 50 TFlops. Proporciona 20 millones de horas de computación al año.

La obtención de este importante servicio, que cuenta con certificado de calidad con la norma ISO 9001:2015, es debida, en buena parte, a la gran experiencia a nivel internacional del IFCA en computación, como consecuencia de las actividades desarrolladas en la colaboración CMS indicada en la sección precedente, en la que participó en el desarrollo del entorno GRID²³ (CERN-GRID, 2022) de computación distribuida, necesario desde el inicio del proyecto para poder organizar el flujo y análisis de la extraordinaria cantidad de datos obtenida por el experimento del LHC.

De hecho, paralelamente a la Red Altamira, somos corresponsables, en el IFCA, de un Tier-2 de CMS, con un clúster de más de 1500 núcleos y un almacenamiento de más de 900 TB (Figura 15).

El IFCA participa de la Iniciativa Grid europea y es muy activo en este tipo de iniciativas internacionales. Ha participado en varios proyectos europeos, como CrossGrid y DataGrid, encaminados a desarrollar la tecnología GRID, coordinando parte de las actividades de

²³ El «Worldwide LHC Computing Grid (WLCG)» se creó con la finalidad de optimizar los recursos de cómputo para el tratamiento de los datos generados por el LHC.



Figura 15. Vista del nodo de cómputo en el IFCA.

los grupos internacionales (Figura 16). Su experiencia no se circumscribe a LHC, sino también a los grandes proyectos de astrofísica, como Planck, y se ha extendido a otros proyectos de fusión, hídricos, medio ambiente, ecología, etc.



Figura 16. Imagen artística de la infraestructura GRID (Fuente: CPAN).

SERCAMAT, SERMET

Un segundo ejemplo de servicio científico-técnico de la Universidad de Cantabria es el Servicio de Caracterización de Materiales (SERCAMAT, Figura 17) (UNICAN, 2022), para la caracterización físico-química y microestructural. Se instauró en 2004, posee la acreditación norma



Figura 17. SERCAMAT (Fuente: uc).

UNE-EN ISO/IEC 17025 y presta servicios, fundamentalmente, a grupos de investigación, empresas y centros tecnológicos, a nivel local y regional.

Está constituido por diversos equipos, concretamente por espectrómetros de fluorescencia de rayos X, de emisión óptica por chispa y de infrarrojo por análisis de Fourier, analizadores diversos y equipos de termogravimetría y calorimetría. Además, se complementa con otros equipos de la Universidad de Cantabria, de espectrometría de absorción atómica, Ultravioleta-Visible, Raman, difracción de rayos X, etc. Su actividad es multidisciplinar y ha surgido, asimismo, de la gran experiencia y contactos, a nivel internacional, de grupos de investigación de la Facultad de Ciencias, particularmente de grupos especializados en física del estado sólido y materia condensada.

Otro servicio científico-técnico de la Universidad de Cantabria es el Servicio de microscopía electrónica de transmisión (SERMET, Figura 18) (UNICAN, 2022), para la caracterización de materiales a escala atómica, cuyo origen se remonta al año 2005, como una iniciativa liderada por el grupo de materiales de la Facultad de Ciencias a convocatorias nacionales de infraestructuras de investigación científica.

El microscopio inicial ha sido recientemente renovado y mejorado, está perfectamente dotado con sus unidades de detección y microanálisis, dispone de una sala bien equipada para la preparación de las muestras y se complementa con otros microscopios electrónicos de barrido y de fuerza atómica. Como en el caso anterior, esta importante infraestructura es un efecto de las actividades científicas a nivel internacional y de la experiencia adquirida por sus responsables.



Figura 18. SERMET (Fuente: UC).

OTRAS INFRAESTRUCTURAS DEL IFCA

En el IFCA, además de la red de supercomputación y el Tier-2, hay otras importantes infraestructuras (IFCA, 2022) que han surgido de los proyectos de investigación en grandes colaboraciones de física de partículas y astrofísica, además de las dedicadas a fotónica, meteorología y cambio climático. Una de ellas, la sala blanca, recientemente ampliada y mejorada, nos permite desarrollar actividades de I+D de caracterización de sensores de silicio, que se encuadran en la preparación de los futuros detectores del LHC u otros aceleradores futuros y otras actividades internacionales como la participación en BELLE-2, en Japón (Figura 19).

Dicha actividad la realizamos en colaboración con otras instituciones tecnológicas en España, como el Centro Nacional de Microelectrónica de Barcelona (CNM-IMB) o el Instituto Tecnológico de Aragón (ITA-INNOVA), en el marco de proyectos del propio CERN (RD-50) (CERN-RD50, 2022) o de la Comisión Europea (AIDA)²⁴ (CERN-AIDA, 2020), entre otros. Por lo tanto, se enmarca en un contexto claramente internacional.

²⁴ AIDA es un proyecto europeo para la colaboración entre grandes infraestructuras europeas que proporcionan haces de test y de irradiación, e instituciones científicas y centros tecnológicos dedicadas al estudio de detectores avanzados para aceleradores de partículas.

Forma parte de la Estrategia Europea en Física de Partículas. En su fase AIDA-2020 participan 24 países y el CERN. El IFCA es uno de los institutos participantes.

Su objetivo es reforzar las infraestructuras nacionales y la conexión con la industria tecnológica, coordinando sus actividades de I+D en detectores de partículas, en la dirección hacia el Espacio Europeo de Investigación.

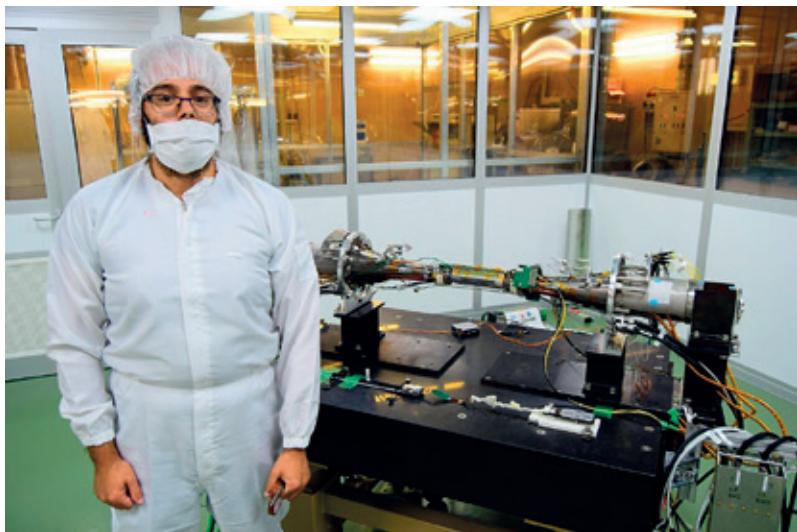


Figura 19. Nuestro ingeniero, David Moya, en la sala blanca de BELLE-2 (Japón).

El laboratorio se completa con otros de óptica y metrología de alta precisión, con certificación de calidad ISO 9001, desde 2008, una cámara térmica que puede ser regulada desde -70 hasta +100 °C, con precisión de ± 0.1 °C, y un laboratorio con material singular de precisión opto-electro-mecánico, que obtuvo en 2011, la certificación de calidad ISO 9001 para la caracterización eléctrica de semiconductores.

Como indicamos anteriormente, el IFCA participa en algunos de los proyectos internacionales de desarrollo tecnológico de sistemas de detección, como es el caso de RD-50, otro claro ejemplo de colaboración internacional. RD-50 es un proyecto para el desarrollo de dispositivos semiconductores muy resistentes a la radiación, cuyo objetivo es su utilización en futuros colisionadores de muy alta luminosidad, como es el caso del HL-LHC. Se presentó al comité del LHC (LHCC) en 2002, por 49 instituciones de todo el mundo, a las que posteriormente se adhirieron otras, hasta llegar a 64, entre las cuales se encuentra el IFCA, con la participación de 9 científicos e ingenieros de la UC, entre los 420 investigadores de la colaboración. Hay además en torno a 20 instituciones con el estatus de observador.

La estructura organizacional tiene puntos similares con las de las grandes colaboraciones científicas. Hay equipos de trabajo para la caracterización de los materiales, caracterización de los detectores, nuevas tecnologías e integración. Cada equipo se subdivide en grupos de trabajo, dependiendo de la actividad específica. También hay oficinas de coordinación con el CERN y otros proyectos de la comisión europea, comités de publicaciones y conferencias científicas, financiación...

INFRAESTRUCTURAS CIENTÍFICAS EXTERNAS

Si bien todas estas infraestructuras locales, citadas anteriormente, nos permiten colaborar y competir en buenas condiciones, en redes internacionales y grandes colaboraciones científicas, la infraestructura más necesaria la tenemos en las grandes instalaciones científicas, de algunas de las cuales somos partícipes directos, como son el CERN, Fermilab, la Agencia Espacial Europea (ESA)²⁵ (ESA, 2022) y el Observatorio Europeo Austral (ESO)²⁶ (ESO, 2022).

Como he indicado en las secciones previas, la actividad del grupo de altas energías del IFCA se ha desarrollado, desde los años 80, en grandes experimentos científicos con aceleradores de partículas. Sin embargo, también hemos citado que el campo de investigación del grupo acerca del Universo se ha ampliado a la búsqueda de materia oscura, coordinando dicha actividad con la equivalente de los grupos de astrofísica.

La búsqueda de materia oscura la realizamos, no solo en el contexto de posible producción en los experimentos con aceleradores, sino en experimentos de búsqueda directa de la misma, mediante su débil interacción con el material pasivo de detectores muy densos y desprovistos de material radiactivo, situados en laboratorios subterráneos, donde el fondo de radiación procedente de los rayos cósmicos es muy débil. En la actualidad el IFCA participa en el experimento DAMIC²⁷

²⁵ ESA, La Agencia Europea del Espacio es la organización europea dedicada a los programas de investigación del Espacio, tanto desde el punto de vista científico como industrial.

²⁶ ESO, es el Observatorio Europeo Austral.

²⁷ DAMIC («Dark Matter in CCD's») utiliza «Charge Coupling Detectors» (CCD) (los mismos que se usan en las cámaras digitales) de silicio, muy segmentados

(UChicago, 2022), de detección directa de materia oscura, pero realizando la prueba de prototipos en una de las grandes infraestructuras científicas españolas, el Laboratorio Subterráneo de Canfranc (LSC)²⁸ (LSC, 2022).

En el Apéndice recojo información más detallada acerca de algunos de estos grandes centros, infraestructuras o proyectos científicos internacionales, que han tenido una repercusión importante para la internacionalización del IFCA.

ILL, ESRF, ALBA, SIESTA, DIPC...

Otras grandes instalaciones científicas, utilizadas en este caso por los equipos científicos de ciencia de los materiales de la Facultad de Ciencias, son la fuente de neutrones del Instituto Laue-Langevin (ILL)²⁹

y muy gruesos, para la búsqueda de materia oscura mediante su interacción con los núcleos de los átomos de silicio. Se demostró su gran sensibilidad con un prototipo de detector situado en el laboratorio subterráneo de SNOLAB, en Canadá, concretamente para bajas masas de las partículas componentes de la materia oscura $M < 10 \text{ GeV}/c^2$.

²⁸ El Laboratorio Subterráneo de Canfranc (LSC) es una gran instalación científica internacional, situada bajo las montañas pirenaicas españolas, en Canfranc. El LSC es un consorcio del Ministerio de Ciencia e Innovación, el Gobierno de Aragón y la Universidad de Zaragoza y está regido por un director, y gobernado por un Consejo Rector, una Comisión Ejecutiva y un Comité Científico Asesor. Este Comité científico internacional es el que asesora los proyectos presentados, en régimen competitivo, por las colaboraciones científicas. Los experimentos cubren diferentes áreas, como materia oscura, neutrinos, física nuclear, geología, biología y criogenia.

²⁹ El Instituto Laue-Langevin (ILL) es un consorcio internacional creado por Francia, Alemania y Reino Unido, que funciona en asociación científica con otros



Figura 20. Instalaciones Instituto Laue-Langevin (ILL), Grenoble
(autor: Wurzeller).

(ILL, 2022) y las fuentes de luz de sincrotrón, ESRF (ESRF, 2022) y ALBA³⁰ (ALBA, 2022), entre otras.

El grupo de magnetismo del departamento de ciencias de la tierra y de la materia condensada (CITIMAC) lleva utilizando las instalaciones internacionales de Grenoble, concretamente el ESRF y el ILL (Figura 20), desde hace muchos años, para sus estudios de nanotecnología de los materiales. Su participación a nivel mundial y europeo está coordinada con otros grandes grupos de investigación en magnetismo, a través de asociaciones como la Asociación Europea de Magnetismo y la IEEE Mag. Además, pertenecen al Club español de Magnetismo y a la Sociedad Española de Técnicas Neutrónicas.

Asimismo, el otro gran grupo experimental del CITIMAC, el grupo de altas presiones y espectroscopía, tiene una amplia actividad internacional. Su director, Fernando Rodríguez, ha sido presidente de la Asociación Internacional para el avance de la ciencia y tecnología de

11 países europeos, entre ellos España. Tiene un presupuesto anual de aproximadamente 105 millones de euros. El 25 % del presupuesto lo cubren los 3 países miembros y el resto los 11 asociados científicos.

³⁰ Los laboratorios nacionales e internacionales de radiación de sincrotrón, como ESRF o ALBA, tienen una gran importancia para estudios en muchas áreas del conocimiento y aplicaciones industriales.

Concretamente, ALBA constituye una de las infraestructuras singulares españolas. Está situada cercana a la Universidad Autónoma de Barcelona y consta de un complejo de aceleradores que suministran radiación de sincrotrón de energía hasta 3 GeV, en diez líneas de operación, para biociencias y ciencia de materiales, principalmente.

Da servicio a más de 2000 usuarios nacionales e internacionales, tanto científicos como industriales, que optan a desarrollar sus experimentos en proyectos competitivos, resueltos por un comité científico internacional.

las altas presiones, AIRAPT, y personal del equipo son miembros del comité científico internacional del grupo de investigación europeo de altas presiones.

Han utilizado, asimismo, las instalaciones de neutrones como el ILL de Grenoble y el LLB de París, pero también fuentes de espalación de neutrones como Isis en Oxford, PSI, en Zúrich y ESS en Lund. Además, han utilizado las instalaciones internacionales de radiación sincrotrón ESRF de Grenoble, ALBA de Barcelona (Figura 21), Soleil, de París, Diamond, de Oxford y APS, de Chicago. Todos ellos, en el contexto del proyecto Consolider español MALTA.

EL SINCROTRÓN ALBA

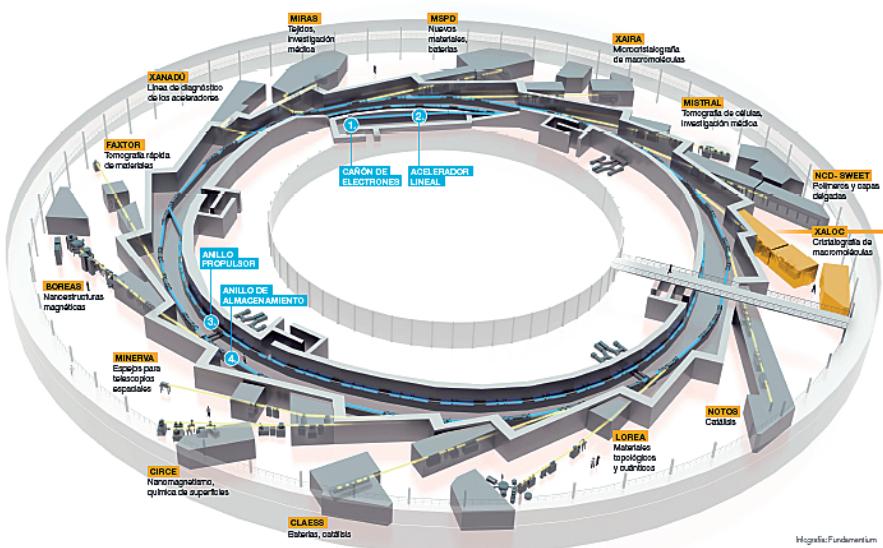


Figura 21. Infografía de la instalación ALBA, de Barcelona (Fuente: Fundamentum).

Otro grupo del CITIMAC, de carácter más teórico, el grupo de simulación por computación de la materia condensada, tiene un impacto internacional muy alto, a través de la colaboración SIESTA (nombre del código de simulación, uno de los más citados del ámbito científico de la física de materiales), en la que participan, además del CITIMAC, miembros de las universidades de Cambridge, Illinois, Curtin (Australia), Autónoma de Madrid, el ICMAB, CIN2 y DIPC del CSIC y el centro de supercomputación BSC de Barcelona (Figura 22).

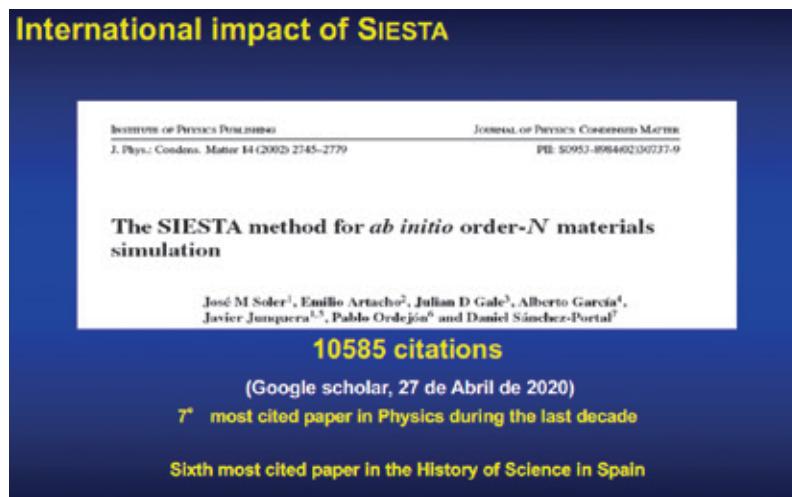


Figura 22. SIESTA, gran impacto científico internacional.

Muy relacionado con la internacionalización y complementarias son la intersectorialidad y la interdisciplinariedad. Las tres *ies* constituyen un objetivo de los grupos de investigación aplicada. Los grupos de investigación de la Facultad de Ciencias de la UC han progresado

mucho, en este sentido, durante los cincuenta años de funcionamiento de la facultad, pero todavía están lejos de alcanzar el objetivo.

Un grupo que destaca en ese sentido es el grupo de Óptica del Departamento de Física Aplicada, cuyas investigaciones destacan en el campo de la nanofotónica y sus aplicaciones, médicas e industriales, principalmente. Además de colaborar con diferentes empresas innovadoras, en campos diversos, desde las textiles hasta la salud, tienen una relación estrecha con el Centro Tecnológico y de Investigación Tekniker, del País Vasco y, a través del centro internacional de física de Donostia, con instituciones científicas internacionales, entre las cuales se encuentran el Instituto Fresnel de Marsella, la Universidad de Duke en USA, el CSIC, la Universidad Autónoma de Madrid, el Centro de Investigación y Tecnología Nanogune, en el País Vasco y el Centro Nacional de investigación en Nanotecnología de Lecce.

Otros grupos del IFCA, como el grupo de dinámica no lineal y física estadística, mantienen colaboraciones internacionales más pequeñas, de impacto científico importante, con Méjico, Inglaterra, Japón... También el grupo de fotónica tiene una importante actividad internacional en el área de los láseres de semiconductores. El grupo de física de plasmas y fusión nuclear del departamento de física aplicada de la Facultad de Ciencias, colabora con la universidad Carlos III de Madrid y el CIEMAT.

IPCC

Finalmente, otro campo multidisciplinar y de carácter global, con mucho impacto a nivel mundial, es el de la meteorología y cambio climático. En este campo, el grupo de meteorología y minería de datos

del IFCA, juega un papel muy importante a nivel internacional. José Manuel Gutiérrez es uno de los científicos españoles miembros del Panel Intergubernamental para el Cambio Climático (IPCC)³¹ (IPCC, 2022). En el contexto del grupo de trabajo 1 de dicho panel, su equipo ha desarrollado una herramienta de gran impacto, un ATLAS Interactivo para el estudio espacial y temporal de la información sobre el cambio climático, que se ha presentado, en 2022, al sexto informe de evaluación (Figura 23).

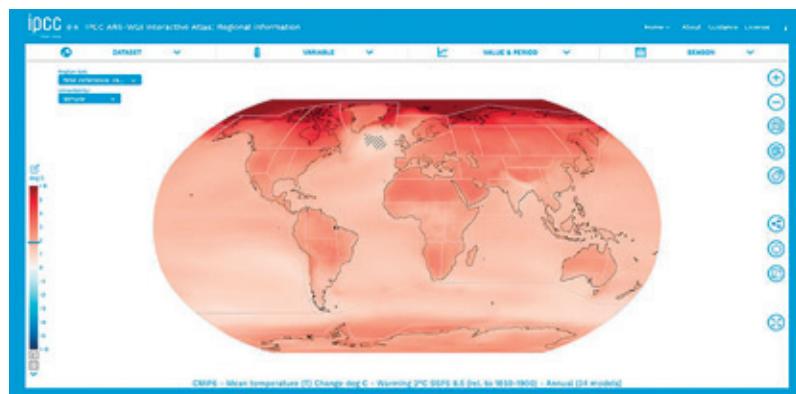


Figura 23. ATLAS interactivo IPCC.

31 El Panel Intergubernamental para el Cambio Climático (IPCC), fue establecido en 1988 por la Organización Meteorológica Mundial y Naciones Unidas, con el fin de asesorar sobre el cambio climático y su impacto en la sociedad y economía mundial. En la actualidad participan 195 países, España incluida, colaborando varios miles de científicos en sus informes. Se organiza en tres grupos de trabajo (científico, de impacto socio-económico y de procedimientos de mitigación del cambio climático), un grupo de trabajo sobre inventarios nacionales de gases de efecto invernadero y un comité técnico de coordinación y asesoramiento.

La participación en los programas científicos de los grandes laboratorios internacionales y otros, repartidos por todo el mundo, así como la utilización de sus grandes infraestructuras, son necesarias para el desarrollo de nuestras actividades científicas y se están incrementando con el tiempo, dado que la investigación científica de calidad es cada día más global y requiere grandes infraestructuras supranacionales.

OPINIONES DE INVESTIGADORES ACERCA DE GRANDES INFRAESTRUCTURAS INTERNACIONALES

Así se recoge en las opiniones vertidas por mis colegas acerca de la importancia de la internacionalización y que resumo en las siguientes frases:

«...Nuestro laboratorio es el Centro Europeo de física de partículas, situado en la frontera entre Suiza y Francia. España contribuye a ese laboratorio con más de 80 M€ al año. Todo el trabajo realizado, por mi parte desde hace más de 30 años, ha sido en dos aceleradores, LEP y LHC, usando los detectores DELPHI y CMS en el CERN...».

«...Siempre hemos trabajado en colaboraciones internacionales, que han ido creciendo con el tiempo dada la necesidad de desarrollar cada vez detectores y experimentos más complejos».

«...El hecho de trabajar en el CERN, aunque sea como “usuario”, ya implica trabajar en una organización internacional, en la que gente de diferentes países trabaja junta con un determinado fin...».

«...Los medios para crecer materiales con control a escala atómica solo los podemos encontrar en los grandes laboratorios internacionales (Universidad de California-Berkeley, Universidad de Cornell, Universidad de Ginebra)...».

«...De hecho, son empresas extranjeras las que están definiendo y liderando la gran mayoría de proyectos en campos como el de los sistemas empotrados. La participación de la Universidad de Cantabria en la ESEL “Joint Undertaken”, ahora, KDT, ha permitido a la Universidad de Cantabria participar en Artemis, ahora ECEI, dentro de poco, KDT, con cierta asiduidad...».

«...Tuve la suerte de trabajar con personas en el Departamento que consideraban la internacionalización consustancial al trabajo académico. Por ello realicé estancias cortas en diferentes lugares de Europa durante mi tesis. Algunos de los ellas eran en Grandes Instalaciones que, debido a sus presupuestos, son internacionales. O, siendo nacionales, admiten fácilmente a extranjeros a trabajar... Como quiera que he seguido trabajando en Grandes Instalaciones internacionales y con numerosos investigadores extranjeros, con el tiempo, me ha hecho mejor académico y, además, valorar la actividad española...».

«...Yo creo que la internacionalización es muy importante en mi trabajo y en Ciencias en general. Los nuevos descubrimientos son debidos a nuevos dispositivos de observación y medida, que solo son posibles hoy en día mediante grandes consorcios internacionales. Participar en ellos es estar al día de las últimas novedades en tu campo, y es la única manera de conseguir fondos adecuados para la investigación...».

Como puede comprobarse mis propias consideraciones no son más que la resonancia de lo que en mi ambiente de trabajo e investigación en la Universidad de Cantabria forma parte de nuestra cultura científica.

COMUNICACIÓN Y LENGUAJE, BARRERAS Y OPORTUNIDADES CULTURALES, TRABAJO EN EQUIPO, COOPERACIÓN INTERNACIONAL, DIVERSIDAD

LENGUAJE

La comunicación es un factor muy importante en las relaciones internacionales, que incluye barreras y oportunidades, tanto desde el punto de vista lingüístico, como desde el punto de vista cultural y social. Respecto al idioma, la Universidad de Cantabria ha desarrollado, desde hace varios años, un programa de capacitación lingüística que incluye la exigencia de un nivel B2 de inglés para todos sus graduados, además de diversos programas de capacitación para alumnos y profesores, que está siendo muy efectivo. El lenguaje de comunicación científica es el inglés y nuestros jóvenes investigadores suelen tener dominio del mismo, desde el momento en que inician su formación investigadora.

Además, hay diversos cursos de temática global, de apoyo a profesorado y estudiantes, para promover la eliminación de barreras culturales. La pertenencia a EUNICE está potenciando dichas actividades. Además, se está realizando un gran esfuerzo para tener toda la información de la Universidad en los dos idiomas, español e inglés y, en la actualidad, se admite la documentación en inglés, para los estudios de doctorado y máster. Este fue un gran logro, muy dificultado previamente por la imprecisión en la legislación española, en

algunos casos contradictoria. Si bien puede parecer un tema menor, el hecho de requerir la traducción oficial de la documentación, incluso en el caso de que la misma constase en inglés, supuso una dificultad importante, la reducción de la capacidad de captación de investigadores extranjeros y coste económico para el caso de lograr la captación, en su caso.

Cuando hablamos de comunicación debemos distinguir entre estudiantes o investigadores. En el caso de los estudiantes que realizan estancias en el extranjero, la comunicación con sus profesores o con otros estudiantes se suele realizar en el idioma del país correspondiente o, en muchos casos, en inglés. Por ello, la capacitación en idiomas, inglés en particular, es un factor muy importante para la eficacia de la estancia, incluyendo el aprovechamiento de la asistencia a cursos y seminarios, o actividades prácticas de campo o laboratorios.

Hay otros aspectos de la comunicación que están más relacionados con la cultura y que son también muy importantes para una estancia eficaz. Ello se debe no solamente a la influencia que puedan tener en las relaciones con los otros miembros o las barreras a un mayor acercamiento a sus costumbres y métodos, sino también por el enriquecimiento personal que puede suponer la experiencia. De hecho, suelen constituir el mayor logro de las estancias de movilidad, en su entrenamiento hacia una mente abierta y espíritu crítico, habilidades que son esenciales para el futuro profesional y personal.

COMUNICACIÓN, ASPECTOS CULTURALES Y SOCIALES

En el caso de los investigadores en formación o los ya consolidados, la comunicación tiene otros aspectos, además de los ya citados para los

estudiantes. La interacción personal suele ser mucho más acusada, en particular con el responsable de la estancia en el centro de acogida, por lo que los aspectos socio-culturales deben ser considerados con cuidado, incluso previamente a la fecha de incorporación.

La coordinación entre supervisores local y extranjero, para los investigadores en formación, es muy importante y los papeles que cada uno deben jugar en el proceso deben ser fijados desde el principio. También es muy conveniente establecer las agendas, no solo entre investigador en formación y supervisor, sino entre supervisores. La comunicación entre estos será un factor esencial para el éxito de la estancia de investigación.

La interacción se produce, asimismo, con el grupo de trabajo. El responsable del centro de acogida tiene la responsabilidad de introducir al nuevo investigador en el equipo de trabajo. Para que la comunicación sea fluida y eficaz, puede ser muy adecuado que no se reduzca al entorno de trabajo, sino que se extienda a otras actividades de carácter social, de ocio, deportivas... El trabajo en equipo resulta, de este modo, muy reforzado. La adquisición de habilidad para trabajo en equipo redundará en beneficio del conjunto, pero también beneficio individual, ya que dicha habilidad es una de las más valoradas por empresas e instituciones a la hora de seleccionar sus recursos en capital humano.

La investigación sería requiere otros cauces de comunicación, a nivel internacional, como es la discusión y difusión del conocimiento adquirido, a través de la asistencia y participación en congresos y talleres. Normalmente, para el área de ciencias, el idioma de comunicación es el inglés.

DARK MATTER 2021

FROM THE SMALLEST TO THE LARGEST SCALES

SEPTEMBER 13-16, 2021 | VIRTUAL

Results from Astrophysics / Dark Matter Candidates
Results from Cosmology / Neutrinos / WIMPS / Axions
Results from Detectors / Implications for Cosmology / Indirect Detection
Results from Developments / Results from Colliders / Cosmic Rays / CMB / LS

DARK MATTER 2021 is a meeting devoted to discussing the latest developments in the field of dark matter. Presentations will include results from experiments in earth (colliders, direct detection, gamma rays) and space (cosmic/gamma rays, X-rays), and indirect detection from astrophysical observations. In addition, the results based on colliders, direct and indirect searches will be complemented with theoretical results presented by world experts.

indico.ifca.es/e/DM2021

Scientific Organizing Committee (SOC)

Gianfranco Bertone
Florencia Canelli
Jose Diego
Dan Hooper
Alejandro Ibarra
Aldo Ianni
Igor Irastorza
Carlos Muñoz
Simona Murgia
Tim Nelson
Keith Olive
Antonio Retto
Marisa Sarsa
Joseph Silk
Tim Tait
Rocío Vilar

Local Organizing Committee (LOC):

Alicia Calderon
Jose M. Diego
Sven Helene Meyer
Bradley Kavanagh
Enrique Martínez-González
Alberto Ruiz
Rocío Vilar

Invited Speakers

Gordan Krnjaic
Rebecca Leane
Teresa Marrodan
Katerin Schulz



Figura 24. Uno de nuestros congresos internacionales sobre materia oscura, anunciado como presencia virtual debido al Covid-19.

COMUNICACIÓN VIRTUAL

No obstante, la mayor eficacia de las reuniones internacionales se produce fuera de los espacios de presentación de las comunicaciones. Es, precisamente, en las discusiones intermedias, en las pausas de café o de comidas, o en otros actos sociales, donde la comunicación puede ser más eficaz para el establecimiento de nuevas colaboraciones o reforzamiento de las existentes.

Precisamente por ello, si bien en situaciones de necesidad, como ha ocurrido con el periodo de pandemia del Covid-19, se desarrollan los congresos de forma virtual (Figura 24), es importante volver al formato presencial. El avance en la transformación digital que se ha logrado en muchas instituciones no puede sustituir la eficacia de las actividades presenciales, de la comunicación cara a cara entre los investigadores.

La mejora de la comunicación virtual puede, no obstante, mejorar las actividades de cooperación y reducir los costes considerablemente, en el caso de reuniones frecuentes entre grupos de investigación, para el trabajo rutinario. Nuestra experiencia en el contexto de las grandes colaboraciones científicas es muy positiva, en este sentido, y la experiencia es ya muy antigua, prácticamente desde la incorporación de la tecnología digital en nuestras instituciones. De hecho, buena parte de la motivación para el desarrollo digital procede de las necesidades de comunicación continuada de las grandes colaboraciones científicas.

TRABAJO EN EQUIPO

El trabajo en equipo es una habilidad muy importante y prioritaria para la empleabilidad en muchas empresas e instituciones. En el caso

de las grandes colaboraciones internacionales, a las que se tiende cada vez más en todas las áreas de la ciencia y también en las humanidades, si bien con características diferentes, el trabajo en equipo adquiere una estructura más compleja, que conviene tener en cuenta en la formación de nuevos investigadores.

Una muestra, extraída de mi propia experiencia, pero bastante significativa para analizar la complejidad del tema, es el caso de la colaboración DELPHI del CERN, previamente citada. Era una colaboración numerosa, en torno a 600 personas, pero intermedia entre las colaboraciones de decenas de personas y las grandes colaboraciones actuales del LHC, de miles de científicos e ingenieros. En este tipo de colaboración, el trabajo en equipo tiene varios niveles.

Por una parte, está el trabajo dentro del equipo local, bajo la supervisión de uno o varios responsables, correspondientes a las diversas actividades, sean diseño, caracterización u operación de las infraestructuras de investigación, tareas de desarrollo de algoritmos de cómputo, o análisis de datos y extracción de resultados científicos.

Por otra parte, hay grupos especializados dentro de la colaboración, constituidos por los equipos de las diferentes instituciones que cooperan, bien sea en sistemas de detectores, en cómputo o en análisis de datos. A su vez, hay un coordinador de grupo que actúa, además, de portavoz para la colaboración. La comunicación, en este caso, se plantea tanto entre coordinadores locales con el coordinador global, como de este con los miembros de los diferentes equipos y de ellos entre sí. Hay que tener en cuenta que los equipos locales suelen tener sus propios métodos de trabajo, además de sus propias tradiciones, sus valores culturales y su idioma, si bien el inglés suele ser el idioma oficial.

Los resultados de las actividades de los grupos de investigación deben ser transmitidas a toda la colaboración global, para lo cual se utilizan diversos procedimientos, que van desde las reuniones formales entre los portavoces, hasta las presentaciones internas, abiertas a toda la colaboración. Finalmente, la colaboración responde globalmente a la sociedad, mediante la publicación de resultados en revistas especializadas, presentación en congresos internacionales, seminarios, etc. El procedimiento que se sigue responde a normativas internas, aprobadas por toda la colaboración, en que se definen los procedimientos y las prioridades, en cuanto a las personas que deben exponer los resultados, en nombre de toda la colaboración.

Además de los resultados científicos, hay una serie de actividades o servicios internos a la colaboración, para el desarrollo eficaz del experimento, como control del funcionamiento de los subdetectores y de los sistemas de adquisición de datos, monitoreo de la calidad de los datos extraídos, comunicación con los responsables del acelerador...

Todas estas estructuras complejas deben estar bien establecidas. La comunicación es, por lo tanto, un factor fundamental, dentro y fuera de la colaboración, incluyendo también los agentes institucionales y los comités de política científica. En la figura 25 se muestra un esquema simplificado de la comunicación en grandes colaboraciones.

TRANSFERENCIA, DIFUSIÓN DEL CONOCIMIENTO

Un último aspecto, pero muy importante de la comunicación, es la difusión de resultados hacia la sociedad no especializada: la divulgación. También en este campo se ha avanzado extraordinariamente y se ha internacionalizado la estrategia. Un ejemplo muy claro,



Figura 25. Esquema simplificado de la comunicación en una colaboración del CERN.

sacado de mi propia experiencia, es la existencia del *International Particle Physics Outreach Group*, creado por iniciativa de la dirección general del CERN, hace 25 años, de la que soy delegado por parte de España. El grupo internacional de difusión de física de partículas (IPPOG) (IPPOG, 2022), se creó en 1997 (inicialmente, como grupo europeo, EPPOG) por iniciativa del comité restringido europeo de futuros aceleradores (RECFA), dependiente de la Dirección General del CERN.

En aquel momento yo era el delegado español en RECFA y el objetivo de EPPOG era dar a conocer a toda la sociedad las actividades que se realizaban en física de partículas y contribuir a la educación en el área de todas las audiencias. Se trataba de maximizar el impacto de la física de partículas en la sociedad, como retorno a la misma de su soporte a la investigación fundamental, así como preparar el camino para la incorporación de nuevos científicos, ingenieros y educadores

al área. Se trataba, además, de hacerlo desde el máximo rigor, pero comprensible a las diferentes audiencias, por lo que el grupo estaba constituido por científicos en activo y profesionales de la comunicación y auspiciado por el CERN.

Estos mismos objetivos y estructura responden al presente IPPOG, que se creó como una ampliación de EPPOG, al incluir a Fermilab y otros centros de investigación internacionales, fuera de Europa, así como a otros países no miembros del CERN. También extendió el campo de actividad, para incluir física nuclear, radiación cósmica y ondas gravitacionales. La estructura organizativa del IPPOG se muestra en la figura 26.



Figura 26. Estructura organizativa del IPPOG.



Figura 27. Clases Magistrales de Física de Altas Energías en el IFCA.

Son miembros los países (actualmente 32 repartidos por todo el mundo, sobre todo europeos) y grandes experimentos científicos en física de partículas, LHC, ALICE, ATLAS, CMS, LHCb, BELLE-2 y HAWC y las grandes instituciones científicas, como CERN, FERMILAB, DESY y GSI. Todos ellos forman el Consejo de la Colaboración, órgano ejecutivo.

Hay un consejo de coordinación constituido por los directores de IPPOG, y un equipo que incluye a los coordinadores de los programas (Clases Magistrales Internacionales y Radiación Cósmica) y la secretaría científica. El programa estrella, las clases magistrales internacionales (IPPOG, 2022), principalmente dedicadas a estudiantes de bachillerato, se llevan realizando desde 2005, con participación, cada año, de más de 13000 estudiantes de 60 países de todo el mundo, europeos principalmente, integrando más de 225 universidades y centros de investigación. Desde el IFCA coordinamos la participación española (Figura 27).

IPPOG funciona con grupos de trabajo (en la actualidad los siguientes: explicación de la física de partículas al público no especializado, divulgación de las aplicaciones para la sociedad, exposiciones y eventos públicos, clases magistrales internacionales en nuevos países, base de datos de recursos y diversidad, inclusión y accesibilidad). Diversos comités, como el de finanzas y el de publicaciones, entre otros, así como equipos de asesoramiento, completan la estructura organizativa. Además de las personas pertenecientes a la colaboración, hay un foro global, integrado por todas aquellas personas que contribuyen activamente a las actividades de IPPOG.

IPPOG se reúne dos veces al año, para intercambiar experiencias y proponer nuevas actividades. Posee una amplia base de datos de recursos abiertos para la difusión del conocimiento, que está en

continuo desarrollo. Organiza o colabora en competiciones científicas para estudiantes, grandes exposiciones científicas y artísticas, festivales musicales compartidos con divulgación de la ciencia... Además, está coordinado estrechamente con organizaciones de comunicación de la ciencia, como la EPPCN (CERN-EPPCN, 2022), del CERN.

DIVERSIDAD

Otro aspecto importante en las relaciones internacionales es la diversidad cultural y social. Es un tema que se aborda con cierta frecuencia por parte de las instituciones académicas de todo el mundo. En el caso de Europa, la EUA y, en particular, el foro EUA-CDE, al que pertenecemos, lo ha considerado en diferentes reuniones y grupos de trabajo, extendiendo los estudios a la cooperación en la formación doctoral entre Europa, Sur de África, Latinoamérica y Asia Oriental, en un informe denominado CODOC (EUA-CDE, 2012), publicado en 2012.

La motivación es la necesidad de establecer un marco global de formación para la investigación, aprovechando la mayor facilidad de movimiento y las posibilidades de utilización de nuevas tecnologías de comunicación. El interés es mutuo y las diferencias culturales se interpretan como un reto y, a la vez, una oportunidad. Se observa una convergencia en las motivaciones e interés positivo de las sociedades, hacia la investigación científica, como factor de crecimiento económico y de bienestar social, así como en el crecimiento en el número de investigadores en formación. También se observa una convergencia muy positiva para la colaboración, fundamentada en la necesidad de adquirir una masa crítica de investigadores por parte de los países en desarrollo, pero también en la posibilidad de obtener «laboratorios

naturales» y tener una presencia global, por parte de las instituciones más intensas en investigación científica.

En 2021, la EUA emitió un informe (EUA, 2021) sobre las ventajas de la cooperación internacional, en respuesta a la solicitud de la Comisión Europea. En ella se destacan las ventajas indicadas anteriormente, en el contexto de un compromiso global para la investigación y la innovación. La cooperación debe ser abierta y aplicada con responsabilidad y reciprocidad. Los objetivos globales se corresponden con los establecidos en las estrategias internacionales, como es la lucha contra el cambio climático, por ejemplo, y la adhesión a los objetivos de desarrollo sostenible.

Libertad académica, integridad y autonomía institucional deben ser tenidos en cuenta, como parte esencial de las instituciones. En 2020, la Comisión Europea emitió un informe del consorcio SPHERE (UE-Sphera, 2020), formado por la Universidad de Barcelona y la EUA, cofinanciado por el programa Erasmus+, para el estudio de la implementación de su política educativa (crédito de movilidad, internacional, ICM) hacia estudiantes con desventaja en países terceros (Oeste de los Balcanes, Este de Europa y Sur del Mediterráneo), a consecuencia de observarse que los porcentajes de estudiantes en el programa Erasmus+, categorizados como desfavorecidos, eran mucho menores en dichas regiones que dentro de los países europeos.

Asimismo, se trata el tema de la inclusión, desde un punto de vista más general, en el informe número 12 (EUA-Grupo Temático, 2021) del grupo temático de la EUA correspondiente al estudio de la promoción para la igualdad e inclusión, publicado en 2021. Otros estudios previos se recogen en la bibliografía de dicho informe.

Me ha parecido conveniente destacar las observaciones y recomendaciones del informe Sphera, ya que pueden ser aplicables a un rango más amplio de situaciones de movilidad y cooperación, por lo que resumo, de forma más aplicada a la internacionalización en nuestra propia estrategia, en las siguientes líneas:

- En primer lugar, una definición de desventaja, en términos médicos, psicológicos, socio-económicos, étnicos, religiosos, políticos, de género y de otros factores culturales.
Si bien, en este estudio se refiere particularmente a la participación en el programa Erasmus+, podemos extenderlo a cualquier actividad cooperativa en los campos de formación e investigación que nos ocupa en este estudio de internacionalización, ya que tiene implicaciones importantes en todos ellos y debe considerarse, no solo como desventaja, sino como oportunidad para una mejor y más efectiva inclusión. La definición de desventaja está, todavía, pobemente establecida y es el problema principal para un óptimo desarrollo de la promoción de la igualdad.
- De hecho, las normativas pueden ser muy diferentes entre países o regiones del mundo, con respecto al carácter diferenciador indicado, haciendo más complejo el proceso de captación de estudiantes o investigadores y, más problemático todavía, la adaptación al entorno nuestro, por parte de las personas que vienen a formarse o colaborar en nuestros grupos, o por nosotros mismos en las estancias de movilidad en dichos países.
- Las convocatorias europeas y nacionales son, en general, transparentes con respecto a los requisitos exigidos para las personas que optan a las mismas.

Suele establecerse, al menos en las convocatorias europeas, un criterio de prioridad para personas en desventaja, si bien dicha consideración es mínima, en general.

La propia reserva de dichas personas a autoidentificarse, por reserva o miedo a estigmatización, consecuencia en muchos casos de su acervo cultural, hace más difícil alcanzar la igualdad de oportunidades.

— Otros problemas vienen derivados de trabas administrativas, en sus propios países muchas veces, o falta de flexibilidad en los mecanismos de subvención para los programas de movilidad.

Asimismo, hay defectos en la financiación necesaria para las características específicas de los desfavorecidos.

En dicho informe se recogen, de una forma pormenorizada, todos los análisis realizados. Creo que es interesante aplicarlos a un contexto más general, ya que buena parte de los problemas de lucha contra la diversidad vienen derivados de factores culturales y así lo hemos podido observar en nuestros grupos, si bien en un contexto muy reducido, con estudiantes de los programas de máster y doctorado, principalmente.

En el caso de la Facultad de Ciencias de la Universidad de Cantabria, este acercamiento se está incrementando en los últimos años y así se manifiesta por parte de alguno de mis colegas que participan de la opinión de que «hay algunos problemas, en este caso el cambio climático, que son problemas globales... a la escala global que en este caso es necesaria». Indican que «podemos abrirnos a colaborar con grupos de países en desarrollo, en los que resulta imposible acceder a estas infraestructuras». En el ámbito de la Ciencia de Materiales, África resulta particularmente atractiva. Cuentan con minas de materiales esenciales para la fabricación de dispositivos electrónicos (tal

es el caso del Cobalto del Congo, entre otros muchos). El intercambio de conocimiento y la cooperación es una alternativa al expolio y la pura especulación sobre los recursos. Por otra parte, las simulaciones pueden aplicarse a problemas esenciales: desde la potabilidad del agua hasta la mejora de la eficiencia de células solares (la insolación en países del África subsahariana es muy grande).

La formación de investigadores para que controlen las diferentes técnicas de simulación es un reto importante. El objetivo es que luego puedan formar sus propios grupos y creen clústeres locales. Así se contribuye a la mejora de la educación y a la diseminación de conocimiento de forma local, y en último extremo, generación de riqueza en esos países.

RETOS Y AMENAZAS, ENFRENTAMIENTOS SOCIOPOLÍTICOS, PANDEMIAS, GUERRA, DIGITALIZACIÓN

Las crisis socio-políticas derivadas de factores diversos, inducidos o no por el hombre, pueden afectar considerablemente a los planes de las instituciones, como en el caso de la formación, la investigación y la innovación. Por ello es muy importante estar prevenidos y actuar de forma rápida y eficiente ante estas situaciones sobrevenidas.

En estos cincuenta años de existencia, la Universidad de Cantabria ha tenido que superar diversas crisis, económicas en su mayor parte, pero la crisis derivada de la pandemia conocida como Covid-19 ha supuesto un importante escollo en la actividad internacional, a la vez que ha promovido diversas acciones encaminadas a reducir el impacto, a la vez que procurar de medios para futuras situaciones similares de pandemia, que puedan producirse.

La última crisis, aún activa desgraciadamente y de la que aún no tenemos suficientes datos como para evaluar su impacto, es la guerra derivada de la invasión de Ucrania por parte de Rusia. Su impacto en la investigación y docencia viene determinado, además de por la recesión económica que conlleva, por la reducción o supresión de actividades de colaboración con instituciones rusas, y por las dificultades para llevar eficazmente actividades de colaboración con Ucrania.

En el caso del IFCa, tanto Rusia como Ucrania tienen instituciones con las que colaboramos, particularmente a través de grandes

colaboraciones en el CERN, y las decisiones que se han tomado por parte del consejo del CERN, integrado por los delegados de los países miembros, así como las resoluciones de los comités de política científica y otros comités específicos de las colaboraciones van a influir, sin ninguna duda, en el desarrollo de los programas, si bien es pronto para tener estimaciones suficientemente claras.

Rusia tiene una gran tradición científica y una participación muy notable en los programas del CERN, por lo que la decisión de suspender las colaboraciones con las instituciones rusas, razonablemente tomada dada la dureza de la actitud de los dirigentes rusos, tendrá efectos negativos en la eficiencia de los proyectos, que habrá que sostener con imaginación y buenas prácticas. Por otra parte, no se ha cortado la posibilidad de colaboración con los científicos rusos, individualmente, lo cual es también muy razonable y se encuadra perfectamente en la tradición y principios del CERN, desde su constitución. No obstante, es indudable que, en muchos casos, esa participación será muy difícil, si no imposible, dada la necesidad de trabajar dentro de una institución académica.

El impacto derivado de otras colaboraciones, como experimentos de la ESA o de la ESO, o en las colaboraciones para el estudio del cambio climático, será parecido, al menos cualitativamente, ya que la decisión de apartar a las instituciones rusas es general por parte de las grandes instituciones europeas.

Con respecto a la crisis derivada de la Covid-19, hay diversos estudios y análisis realizados por la EUA. En el último (EUA, 2022), publicado en febrero de 2022, se recogen los resultados de la encuesta respondida por 189 instituciones de educación superior de 40 países integrantes del Espacio Europeo de Educación Superior. La crisis provocó resultados negativos en movilidad y relaciones académicas

internacionales, pero también positivas por la aceleración de planes estratégicos de internacionalización y de desarrollo digital, que se ha convertido en una de las principales prioridades (así ha sido en el caso de nuestra universidad).

Si bien es mayoritaria la satisfacción de las universidades respecto a la respuesta ante la pandemia, también se ha notado un aumento de problemas de salud mental de los estudiantes e investigadores en formación, debido a la situación estresante que supuso, por la larga duración y por la escasez de medios económicos.

Algunas instituciones dotaron de subvenciones extraordinarias y/o aplazaron los períodos de contrato y la entrega de los trabajos de investigación o de fin de grado o máster. El impacto en la movilidad internacional de estudiantes fue negativo. El ofrecimiento de cursos virtuales y enseñanza a distancia aumentó considerablemente, así como los medios y métodos disponibles para ello, suponiendo un impacto positivo para la preparación de los docentes y para la infraestructura, en aspectos de tecnología digital. De esta forma, el impacto en el desarrollo de los estudios fue menor de lo esperable, incluyendo los procesos de evaluación.

El impacto en la investigación fue más negativo, particularmente en la investigación de laboratorio, dadas las restricciones para la realización de los experimentos. Los programas del CERN, por ejemplo, sufrieron retrasos importantes y los científicos no pudieron incorporarse a las instalaciones del CERN durante cierto tiempo y, cuando pudo hacerse, con restricciones importantes. Por otra parte, las ayudas europeas para inversión en ciencia se han incrementado, particularmente en el campo de la salud. Globalmente puede decirse que el Covid-19 ha acelerado el cambio de las instituciones europeas hacia una mayor digitalización y reorganización de la movilidad

internacional, así como la capacidad de la investigación para enfrentarse a los retos de la sociedad.

A su vez, se está procediendo a una reforma de las normativas para adaptarse a estas nuevas prioridades en el desarrollo digital. La renovación digital tendrá un claro efecto positivo sobre la internacionalización, facilitando una educación conjunta de redes de universidades, como es el caso, ya citado, de alianzas europeas, como EUNICE.

En un informe de la EUA (EUA, 2022), publicado en marzo de 2022, se trata el tema de la influencia del aumento de la digitalización en la internacionalización. El informe fue elaborado por nueve instituciones de educación superior, un número demasiado reducido, en mi opinión, ya que no cubren el espectro de las universidades europeas, ni cuantitativamente, ni cualitativamente. En el informe muestran sus propias experiencias y emiten una serie de recomendaciones para una mejora en la internacionalización de la enseñanza superior basada en el desarrollo digital. Entre las prácticas usuales intercambiadas para elaborar este informe están las clases globales, módulos y programas conjuntos y movilidad virtual, apoyados por tecnologías digitales.

Las universidades participantes tienen ya cierta experiencia en la impartición virtual de estudios, por lo que sus opiniones son importantes para definir nuevas estrategias. Pero no son, en mi opinión, suficientemente representativas del conjunto de las universidades europeas, menos aún en el caso español, por lo que sus experiencias son difícilmente extrapolables.

En el caso de la Universidad de Cantabria, como consecuencia de la alianza EUNICE, se está abordando el tema de la digitalización en programas internacionales, desde el propio contexto de nuestra universidad, que tiene cierta experiencia en módulos virtuales de formación,

así como infraestructura a través del servicio CEFONT (UNICAN-Aula Virtual, 2022).

Además, la etapa Covid ha servido como acicate para la potenciación de la sostenibilidad de la internacionalización, a través de la utilización de medios virtuales basados en la infraestructura y metodología digital. La experiencia adquirida, aún sin digerir suficientemente, ni analizada en profundidad, servirá, indudablemente, para definir la estrategia futura en el campo de la enseñanza e investigación, en un terreno mucho más digitalizado. El intercambio de experiencias con otras instituciones similares será de gran interés para una mayor eficacia en la transformación.

Algunas de las ventajas que se indican en el informe de la EUA, referido anteriormente, se refieren a la mayor facilidad de la inclusividad, la reducción de costes, versatilidad y flexibilidad de los contenidos, compartición de recursos y buenas prácticas, adquisición de competencias transversales digitales, apertura de mente y competencias globales.

A primera vista parece que todas ellas son razonables y lógicas, si se superan los retos para hacerlas eficaces y sostenibles. No obstante, si bien se indica en el informe que las actividades presenciales se pueden ver reducidas, no se destaca suficientemente la importancia de una reducción drástica de las mismas, que afecta de forma esencial a la cooperación internacional y reduce las competencias transversales de estudiantes, docentes e investigadores.

En mi opinión, ningún proyecto totalmente virtual puede sustituir a los proyectos presenciales. Solamente se debería tomar ventaja de los procedimientos virtuales en determinados aspectos específicos, sin perder la posibilidad de actividad presencial, si bien el futuro nos irá indicando cual es la mejor manera de compaginar, híbridamente,

presencialidad y virtualidad en las actividades cooperativas entre instituciones, sea en el campo de la enseñanza, como en el de la investigación.

Uno de los principales retos a superar es, precisamente, el mantenimiento de las colaboraciones entre instituciones, incluyendo la adaptación de las normativas, así como recursos e infraestructura específica, coordinación para la selección, definición de tasas, etc. Este reto se plantea tanto en programas totalmente virtuales como programas híbridos o asistenciales.

Otro reto, bien recogido por el informe de la EUA y que es esencial, en mi opinión, es superar la cultura presente instaurando una nueva cultura asentada en la transformación digital. Dicha cultura afecta tanto a las instituciones como a los docentes y estudiantes. El tercer reto se refiere a la adquisición de competencias digitales, tanto en contenido como en pedagogía. Afecta también a todos los agentes, incluidas las instituciones, docentes y estudiantes. Dada la experiencia pasada y la capacidad mostrada por las nuevas generaciones en el campo digital, es un reto fácilmente superable, si las instituciones cuentan con los medios y la estrategia adecuada para enfrentarse a la nueva situación.

Tal como se indicaba al inicio de este ensayo, la internacionalización es connatural a la ciencia, que es la búsqueda de la verdad desde variadas perspectivas y con aspiración de universalidad. Todo ello forma el nodo central de la universidad y, por eso, es lógico que se haya constatado en los procesos de construcción y desarrollo de la UC, como hemos podido constatar desde una de esas áreas y disciplinas que contribuyeron a la propia constitución de la Universidad de Cantabria, como son las Ciencias Físicas y, más genéricamente, las Experimentales.

La UC ha estado en comunicación dentro de la comunidad científica internacional y se ha adaptado a los grandes procesos de cambio a que asistió la historia tecnológica y científica en el último cuarto del siglo XX y en este primero del XXI. Este último contexto, sigue planteando retos ineludibles a los que se enfrentan nuevas generaciones de mujeres y hombres de ciencia desde los campus de la UC en Cantabria y en sus escenarios necesariamente internacionales.

REFLEXIÓN FINAL

Estamos en un momento crítico, en que las crisis socioeconómicas, guerras, pandemias... nos han atacado y nos acechan, pero hay una que es, posiblemente, la más importante, provocada por la propia humanidad, como tal, en su conjunto: el cambio climático. Las consecuencias del mismo no son claras y los propios ambientalistas discrepan acerca de ello (Álvarez, 2022). El mismo sistema capitalista, en el que nos encontramos, está puesto en entredicho y hay quien piensa, con razonamientos bien fundados en la realidad de la escasez de materiales para afrontar la crisis de la energía, que vamos hacia un colapso del sistema. Pero hay algo en los que todos están de acuerdo. En primer lugar, en la realidad del cambio climático y en segundo lugar en que, necesariamente, debemos actuar por paliarlo y estar preparados para lo que pueda acontecer. La humanidad ha sufrido ya varios colapsos.

Este gran problema de la humanidad hace todavía más acuciante la necesidad del avance del conocimiento y de la apertura de la ciencia y la técnica a la sociedad, de forma global, universal, lo que implica que todos los actores se responsabilicen en tratar de lograr los objetivos de la lucha contra el cambio climático. La política debería considerar más seriamente los informes de los científicos, como los del IPCC, y actuar solidariamente. Pero la realidad nos indica que no es así, los intereses de unos pocos impiden un movimiento global de responsabilidad social. No obstante, debe quedar margen para la esperanza.

El debate es importante y debe mantenerse, en términos de ciencia, de conocimiento. Por ello, internacionalización, pero también

intersectorialismo e interdisciplinariedad, las tres *ies*, adquieren un papel decisivo. El diálogo puede ser más eficaz cuanta más inmersión se dé a esas tres *ies* en la formación de los nuevos investigadores y en las actividades de los científicos. Supondrá más libertad, porque la libertad la suministra el conocimiento.

AGRADECIMIENTOS

Hay muchas personas a las que debo agradecer la posibilidad que me han ofrecido de redactar esta monografía, así como las que me han proporcionado la experiencia, a lo largo de mis años de docente e investigador. Por una parte, con carácter genérico, debo agradecer a la Facultad de Ciencias de la Universidad de Cantabria, al Instituto de Física de Cantabria y a la Escuela de Doctorado de la Universidad de Cantabria, centros donde he desarrollado mi carrera investigadora y docente, donde he encontrado siempre el apoyo y la pasión necesaria para avanzar en la búsqueda del conocimiento, pese a las dificultades económicas y estructurales que, en muchos casos, hacían más difícil el proceso. Por otra parte, esas mismas dificultades suponían un acicate para forjar la imaginación, el esfuerzo y el espíritu crítico, valores que considero muy importantes para un científico.

Al equipo rectoral, del que formé parte y me dio ocasión de conocer, de primera mano, las diferencias, los matices, entre las distintas áreas de conocimiento. Cuando alguien está demasiado encerrado en su entorno particular de investigación, es difícil juzgar al resto, por desconocimiento. Sin embargo, el diálogo multidisciplinar es necesario en un mundo globalizado.

A la comisión encargada de la preparación de las actividades de conmemoración de los cincuenta años de la Universidad de Cantabria y, particularmente, a Tomás Mantecón, por encargarme la redacción de este libro y por su ayuda con la revisión del texto.

A la Editorial Universidad de Cantabria, por su profesionalidad, siempre en primera línea para la difusión del conocimiento.

A Ignacio Hernández, que me proporcionó, amablemente, los datos correspondientes a los últimos años del desarrollo del programa Erasmus+ en la Facultad de Ciencias de la Universidad de Cantabria.

A mis colegas de la Facultad y del IFCa. En particular, por responder a las preguntas que les envié, acerca de su opinión sobre la internacionalización y su relevancia para su propia actividad científica y docente, a Alicia Calderón, Carlos Beltrán, Celso Martínez, David Rodríguez, Eugenio Villar Bonet, Fernando Etayo, Francisco Carrera, Guillermo Gómez Ceballos, Ibán Cabrillo, Javier Cuevas, Javier Junquera, José Manuel Gutiérrez, Jónatan Piedra, Jordi Duarte, Juan Cuesta, Juan Remondo, Lara Lloret, Luis Fernández Barquín, Luis Quindós, Rocío Vilar y Tomás Recio.

REFERENCIAS

- ALBA (2022). Obtenido de <https://www.albasynchrotron.es/es>
- Álvarez, C. (9 de agosto de 2022). El discurso del colapso divide a los ambientalistas. *El País*.
- ATHENA (2022). ATHENA Project. Obtenido de <https://www.the-athena-x-ray-observatory.eu/>
- BOE (1983). LRU. Obtenido de <http://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-1983-23432>
- BOE (2001). LOU. Obtenido de <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2001-24515>
- BOE (2007). Modificación LOU. Obtenido de <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2007-7786>
- CDF (2022). *Public page*. Obtenido de <https://cdf.fnal.gov/>
- CERN (2022). *Public web page*. Obtenido de <https://home.web.cern.ch/>
- CERN-AIDA (2020). AIDA-2020. Obtenido de <https://aida2020.web.cern.ch/aida2020/>
- CERN-CLIC (2022). Obtenido de <https://home.cern/science/accelerators/compact-linear-collider>
- CERN-CMS (2022). *Compact Muon Solenoid*. Obtenido de <https://home.cern/science/experiments/cms>
- CERN-DELPHI (2022). *DELPHI*. Obtenido de <https://home.cern/tags/delphi>
- CERN-EPPCN (2022). *European Particle Physics Communication Network*. Obtenido de <https://espace.cern.ch/EPPCN-site/>
- CERN-FCC (2022). *FCC-ee*. Obtenido de <https://home.cern/science/accelerators/future-circular-collider>

- CERN-GRID (2022). *WLCG*. Obtenido de <https://wlcg-public.web.cern.ch/>
- CERN-LEP (2022). *Large Electron-Positron Collider*. Obtenido de <https://home.cern/about/accelerators/large-electron-positron-collider>
- CERN-LHC (2022). *Large Hadron Collider*. Obtenido de <https://home.cern/science/accelerators/large-hadron-collider>
- CERN-RD50 (2022). *RD-50*. Obtenido de <https://rd50.web.cern.ch/>
- CERN-SM (2022). *SM model*. Obtenido de <https://home.cern/science/physics/standard-model>
- ERASMUS+ (2021). Obtenido de <http://www.erasmusplus.gob.es/>
- ESA (2022). *Public page*. Obtenido de <https://www.esa.int/>
- ESA-Planck (2022). *Mision Planck*. Obtenido de <https://www.cosmos.esa.int/web/planck/>
- ESO (2022). *Public page*. Obtenido de <https://www.eso.org/public/>
- ESRF (2022). Obtenido de <https://www.esrf.fr/>
- EUA (2005). *Salzburg principles*. Obtenido de <https://eua.eu/component/attachments/attachments.html?task=attachment&id=1881>
- EUA (2013). Obtenido de <https://eua.eu/resources/publications/730:internationalisation-in-european-higher-education-european-policies-institutional-strategies-and-eua-support.html>
- EUA (2015). Obtenido de <https://www.eua.eu/Libraries/publications-home-page-list/erasmus-recommendations.pdf?sfvrsn=2>
- EUA (2020). Obtenido de <https://eua.eu/component/attachments/attachments.html?id=2807>
- EUA (2021). *Cooperación Internacional*. Obtenido de <https://eua.eu/component/attachments/attachments.html?id=3251>
- EUA (2022). Obtenido de <https://eua.eu/component/attachments/attachments.html?id=3692>
- EUA (2022). *Digitalización*. Obtenido de <https://eua.eu/component/attachments/attachments.html?id=3559>

- EUA (2022). *Informe Covid-19*. Obtenido de <https://eua.eu/component/attachments/attachments.html?id=3644>
- EUA-CDE (2010). *Actualización principios de Salzburgo*. Obtenido de https://eua.eu/downloads/publications/salzburg_ii_recommendations_2010.pdf
- EUA-CDE (2012). CODOC. Obtenido de <https://eua-cde.org/component/attachments/attachments.html?id=46>
- EUA-CDE (2015). FRINDOC. Obtenido de <https://eua.eu/101-projects/582-frin-doc.html>
- EUA-CDE (2016). *Salzburg principles implementation and new challenges*. Obtenido de https://www.eua-cde.org/downloads/publications/2016_euac-de_doctoral-salzburg-implementation-new-challenges.pdf
- EUA-CDE (2022). Obtenido de <https://eua-cde.org/>
- EUA-Grupo Temático (2021). *Informe 12*. Obtenido de <https://eua.eu/component/attachments/attachments.html?id=3118>
- EUNICE (2022). Obtenido de <https://eunice-university.eu/>
- Europeas, U. (1988). Obtenido de [http://www.magna-chartha.org/resources/files/the-magna-chartha/spanish](http://www.magna-charta.org/resources/files/the-magna-chartha/spanish)
- Fermilab (2022). *Public page*. Obtenido de <https://www.fnal.gov/>
- IAC (2022). *Quijote*. Obtenido de <http://research.iac.es/proyecto/cmb/pages/en/quiijote-cmb-experiment.php>
- IFCA (2022). *Galaxias y AGN's*. Obtenido de <https://ifca.unican.es/en-us/research/galaxies-and-agns>
- IFCA (2022). *Infraestructuras*. Obtenido de <https://ifca.unican.es/es-es/acerca-del-ifca/infraestructura>
- IHEP (2022). *CEPC*. Obtenido de <http://cepc.ihep.ac.cn/>
- ILC (2022). *International Linear Collider*. Obtenido de <https://linearcollider.org/>
- ILL (2022). *Institut Laue-Langevin*. Obtenido de <https://www.ill.eu/>
- INDUCIENCIA (2022). Obtenido de <https://www.induciencia.es/>

- INEUSTAR (2022). *Asociación Española para la Industria de la Ciencia*. Obtenido de <https://www.ineustar.com/>
- IPCC (2022). Obtenido de <https://archive.ipcc.ch/>
- IPPOG (2022). *Clases Magistrales Internacionales*. Obtenido de <https://physicssmasterclasses.org/>
- IPPOG (2022). *International Particle Physics Outreach Group*. Obtenido de <https://ippog.org/>
- LSC (2022). *Laboratorio Subterráneo de Canfranc*. Obtenido de <https://lsc-canfranc.es/>
- Ministerio Ciencia e Innovación (2022). *Centros Excelencia*. Obtenido de <https://www.ciencia.gob.es/Organismos-y-Centros/Centros-y-Unidades-de-Excellencia.html;jsessionid=B9171C6D9203E535A8F60BC1643F471A.1>
- Ministerio Universidades (2022). *LOSU*. Obtenido de https://www.universidades.gob.es/stfls/universidades/Servicios/articulos/transparencia_gobierno/participacion_publica/audiencia/ficheros/APLOSU_20210903_Texto_audiencia.pdf
- Muñoz, E. (2001). *Ciencia al Día*. Obtenido de <https://www.ciencia.cl/CienciaAlDia/volumen4/numerol/articulos/articulo2.html>
- REDIRIS (2022). Obtenido de <https://www.rediris.es/>
- RES (2022). *RED Española de Supercomputación-Altamira*. Obtenido de <https://www.res.es/es/nodos-de-la-res/altamira>
- Ruiz Jimeno, A. (2020). *ATESANT-FAEnet*. Obtenido de https://atesant.es/origen-y-evolucion-de-la-comunicacion-por-internet-en-espana-alberto-ruiz-jimeno/?fbclid=IwAR0AvCUxnG8ZsR8ZJvaYySxq_J4tMYTAr1nb9S9S_HIH9aBwq_o3lOHdLio
- Ruiz Jimeno, A. (2022). *ATESANT Extractos de Ciencia*. Obtenido de <https://atesant.es/>
- UChicago (2022). *DAMIC*. Obtenido de <https://damic.uchicago.edu/>
- UE (1987). *ERASMUS+*. Obtenido de <https://erasmus-plus.ec.europa.eu/>

- UE (1999). *Plan Bolonia*. Obtenido de <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=LEGISSUM%3Ac11088>
- UE (2018). Obtenido de https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/0e2ac9b5-2216-11e8-ac73-01aa75ed71a1/language-en/format-PDF/source-250126884#_publicationDetails_PublicationDetailsPortlet_relatedPublications
- UE-Sphera (2020). *Informe final*. Obtenido de http://supporthere.org/sites/default/files/sphere_icm_report_final.pdf
- UNICAN (2022). SERCAMAT. Obtenido de <https://web.unican.es/unidades/scti/servicio-de-caracterizacion-de-materiales-sercamat>
- UNICAN (2022). SERMET. Obtenido de <https://web.unican.es/unidades/scti/servicio-de-microscopia-electronica-de-transmision>
- UNICAN-Aula Virtual (2022). CEFONT. Obtenido de <https://aulavirtual.unican.es/>
- W3C (2000). WWW. Obtenido de <https://www.w3.org/History.html>
- Wikipedia (2022). Obtenido de https://es.wikipedia.org/wiki/Comisi%C3%B3n_Asesora_de_Investigaci%C3%B3n_Cient%C3%ADfica_y_T%C3%A9cnica



Octubre, 2022



Ediciones
Universidad
Cantabria