

Del LHC al aula. Dos semanas en el corazón de la Física: *International High School Teacher Programme*

• Carlos Moreno Borralló

Hay lugares en los que la ciencia deja de ser una sucesión de conceptos escritos en una pizarra y se convierte en una experiencia real. El CERN es uno de ellos. Durante dos semanas de julio de 2025 tuve la oportunidad de participar en el *International High School Teacher Programme*, una estancia internacional de formación para profesores de ciencias que reunió a 46 docentes de 36 países diferentes. Llegamos desde sistemas educativos, lenguas y realidades muy distintas, pero con una inquietud común: comprender mejor la física contemporánea para poder llevarla de vuelta al aula. El programa combinaba conferencias, visitas a instalaciones científicas, exposiciones, talleres prácticos y sesiones de trabajo colaborativo. Desde la primera tarde, con la bienvenida en el CERN, la recepción inicial y una actividad de descubrimiento del laboratorio, resultaba evidente que no se trataba de un curso convencional. El objetivo no era solo actualizar conocimientos, sino entrar en contacto con una cultura científica: una forma de preguntar, medir, contrastar, colaborar y comunicar. El propio programa oficial recoge esa combinación de conferencias, visitas, exposiciones y talleres prácticos orientados a introducir a los participantes en la física de partículas.

Para un profesor, entrar en el CERN supone experimentar una mezcla difícil de describir: curiosidad, respeto, vértigo intelectual y una cierta emoción infantil. Uno llega con imágenes conocidas —el Gran Colisionador de Hadrones, el descubrimiento del bosón de Higgs, los detectores gigantescos, los túneles bajo la frontera franco-suiza—, pero pronto comprende que el CERN es mucho más que un icono científico. Es un ecosistema humano y tecnológico dedicado a hacer preguntas fundamentales sobre la materia, la energía y el origen del universo.



Figura 1. CERN Main Auditorium.

Desde el primer día, la sensación fue clara: no estábamos allí para recibir una colección de datos, sino para vivir una forma de hacer ciencia. La ciencia que allí se practica es extraordinariamente sofisticada, pero sus preguntas son profundamente humanas: ¿de qué está hecha la materia?, ¿qué leyes gobiernan sus interacciones?, ¿por qué las partículas tienen masa?, ¿por qué el universo parece estar formado mayoritariamente por materia y no por antimateria?, ¿qué ocurrió en los primeros instantes tras el Big Bang?

Una sala cargada de memoria científica

Uno de los momentos más especiales fue realizar sesiones de trabajo en espacios cargados de historia científica. En particular, trabajar en la sala vinculada al anuncio de 2012 de una nueva partícula compatible con el bosón de Higgs produjo una impresión difícil de olvidar. Al ocupar una de sus sillas, resultaba inevitable pensar en lo que allí se comunicó al mundo: la culminación de décadas de teoría, ingeniería, análisis de datos y cooperación internacional. Para quienes enseñamos ciencia, esa escena tiene un valor simbólico enorme. Allí se hizo visible una de las grandes historias de la física contemporánea: una predicción teórica formulada en la década de 1960 acabó encontrando apoyo experimental casi medio siglo después gracias a una de las máquinas más complejas jamás construidas.

El bosón de Higgs ocupa un lugar singular en el Modelo Estándar de la física de partículas. Su importancia no reside en ser “una partícula más”, sino en estar asociado al mecanismo que permite comprender por qué muchas partículas elementales tienen masa. En el marco del Modelo Estándar, el campo de Higgs permea el espacio, y las partículas que interactúan con él adquieren masa de forma distinta según la intensidad de esa interacción. El bosón de Higgs puede interpretarse como una excitación cuántica de ese campo, del mismo modo que el fotón es la partícula asociada al campo electromagnético. Explicar esto en secundaria no es sencillo, pero precisamente por eso resulta tan interesante. El alumnado suele pensar en la masa como una propiedad evidente de los cuerpos, casi como una característica que las cosas “tienen” sin más. La física de partículas obliga a formular una pregunta más profunda: ¿de dónde procede la masa de las partículas elementales? Esa pregunta, aparentemente abstracta, conecta con uno de los grandes logros intelectuales del siglo XX y con uno de los hitos experimentales más impactantes en la historia de la ciencia.

El Higgs como historia didáctica

El descubrimiento del bosón de Higgs puede convertirse en una historia didáctica completa. Comienza con una pregunta teórica, continúa con un desarrollo matemático, exige la construcción de aceleradores y detectores gigantescos, requiere analizar cantidades inmensas de datos y culmina con una interpretación estadística de la evidencia. Pocas historias muestran tan bien la relación entre teoría, experimento, tecnología y colaboración. En el LHC, haces de protones circulan en sentidos opuestos dentro de un anillo de 27 kilómetros. Son acelerados hasta energías extraordinarias y guiados por imanes superconductores que mantienen sus trayectorias dentro del anillo. Cuando esos protones colisionan, no se “rompen” simplemente como pequeñas bolas materiales. Lo que ocurre es más profundo: la energía de la colisión puede transformarse en nuevas partículas, de acuerdo con la equivalencia entre masa y energía. Algunas de esas partículas existen durante tiempos extremadamente breves y se desintegran casi de inmediato, dejando únicamente señales indirectas en los detectores. Esta es una de las grandes lecciones que el CERN ofrece a un profesor: en física de partículas, conocer no significa ver directamente. Significa reconstruir. Nadie observa un bosón de Higgs como quien mira una célula al microscopio. Se infiere su existencia a partir de los productos de desintegración, de la energía depositada en los detectores, de las trayectorias de partículas cargadas, de la conservación del momento y de la comparación estadística entre los datos observados y las predicciones teóricas.

Esta idea tiene un enorme valor educativo. El alumnado suele imaginar que la ciencia consiste en observar algo y extraer una conclusión inmediata. La física de partículas muestra una realidad mucho más rica: la evidencia se construye cuidadosamente. Se diseñan detectores para registrar señales, se filtran eventos, se comparan distribuciones, se estiman fondos, se calculan incertidumbres y solo entonces se puede afirmar que una observación tiene significación física. Enseñar esto ayuda a formar una imagen más realista y madura de la ciencia.

Una ambición creciente

El programa permite recorrer, en cierto modo, parte de la historia del CERN. La visita al Síncrociclotrón y al ATLAS Control Room durante los primeros días mostraba dos extremos de una misma aventura: los inicios de la física de aceleradores en el laboratorio y la complejidad actual de los grandes experimentos del LHC. Estas visitas formaron parte del itinerario inicial del curso, junto con las primeras conferencias de introducción a la física de partículas.

El Síncrociclotrón representa una etapa fundacional. Frente a la escala colosal del LHC, su presencia permite entender que la ciencia de frontera se construye por acumulación: máquinas más pequeñas, preguntas iniciales, mejoras técnicas, nuevos detectores, más energía, mayor precisión. Para un docente ayuda a evitar que el alumnado perciba la ciencia como una sucesión de descubrimientos aislados y permite mostrarla como un proceso gradual, con avances técnicos, límites experimentales y nuevas preguntas. El ATLAS Control Room, por el contrario, sitúa al visitante ante la ciencia contemporánea en funcionamiento. Allí no se ve una partícula, pero se percibe la infraestructura que hace posible detectarla. Pantallas, turnos, sistemas de control, datos, monitorización y coordinación internacional muestran que un experimento de física de partículas es también una organización humana de enorme complejidad. Esa misma idea se reforzó en las sesiones sobre aceleradores de partículas y detectores. Comprender un acelerador exige unir electricidad, magnetismo, relatividad, vacío, criogenia, materiales superconductores e ingeniería de control. Comprender un detector requiere hablar de ionización, radiación, calorimetría, trazas, campos magnéticos, semiconductores, electrónica y tratamiento de datos. Lo que en el currículo aparece a menudo separado en temas distintos se reúne en el CERN en una única máquina conceptual y tecnológica.

Los detectores como catedrales tecnológicas

Uno de los momentos más impactantes del curso fue la visita a CMS. Antes de la visita, una sesión introductoria permitió situar el experimento en el contexto del LHC; después, descender a la zona de servicio y acercarse a la escala real del detector transformó por completo la percepción. Un detector como CMS no se comprende del todo en una imagen. Hay que sentir su escala, imaginar las capas sucesivas de detección y pensar que todo ese dispositivo está diseñado para reconstruir acontecimientos que duran fracciones minúsculas de segundo. ATLAS y CMS fueron concebidos como experimentos de propósito general. Entre sus grandes objetivos estaba la búsqueda del bosón de Higgs, pero su alcance es mucho más amplio: estudian procesos de alta energía, buscan posibles señales de nueva física y realizan medidas de precisión del Modelo Estándar. LHCb, por su parte, se centra especialmente en el estudio de partículas que contienen quarks bottom y en las diferencias sutiles entre materia y antimateria. ALICE explora colisiones de iones pesados para investigar el plasma de quarks y gluones, un estado extremo de la materia que remite a condiciones semejantes a las del universo primitivo. Desde el punto de vista docente, cada detector es una puerta de entrada distinta a la física. CMS y ATLAS permiten hablar de la reconstrucción de eventos y del Higgs. LHCb abre la puerta al problema de la asimetría entre materia y antimateria. ALICE conecta la física de partículas con la cosmología y con la materia en condiciones extremas. Todos ellos muestran que el Modelo Estándar no es una tabla cerrada que se memoriza, sino una teoría viva que se comprueba, se tensiona y se explora experimentalmente.

Los detectores también permiten enseñar una idea fundamental: una partícula se identifica por las huellas que deja. Las partículas cargadas curvan su trayectoria en campos magnéticos; los fotones y electrones depositan energía en calorímetros electromagnéticos; los hadrones interactúan de manera distinta; los muones atraviesan capas que otras partículas no pueden superar. Cada subsistema del detector responde a una pregunta concreta. La reconstrucción final es un ejercicio de inferencia: juntar señales parciales para deducir qué ocurrió en el punto de colisión. Esta lógica tiene una enorme potencia didáctica. Permite conectar la física de partículas con problemas más generales de la ciencia: cómo inferimos lo invisible, cómo distinguimos señal de ruido, cómo interpretamos datos indirectos, cómo validamos un modelo. En realidad, estos procedimientos no son exclusivos del CERN. Están presentes en muchas áreas de la ciencia contemporánea y ayudan al alumnado a comprender que medir no es simplemente mirar, sino construir una relación fiable entre un fenómeno y una señal.

Imanes, control y datos: la ciencia como infraestructura

Los imanes superconductores son esenciales para guiar los haces de partículas del LHC. Su funcionamiento exige condiciones extremas de temperatura, estabilidad y control. Hablar de superconductividad en clase puede parecer, a veces, un contenido abstracto; ver su papel en el funcionamiento de un acelerador permite entender su relevancia tecnológica. El programa también dedicó sesiones a la computación en el CERN y a la visita al Data Centre. Esta parte resulta imprescindible para comprender la física contemporánea. El LHC no solo produce colisiones; produce datos. Cantidades inmensas de información deben ser seleccionadas, almacenadas, distribuidas y analizadas. En una época en la que la inteligencia artificial y el tratamiento masivo de datos forman parte del debate educativo, el CERN ofrece un ejemplo real de cómo la computación es inseparable de la investigación científica moderna.

Antimateria, iones pesados y nuevas fronteras

Las sesiones sobre LHCb, ALICE, antimateria, y futuros colisionadores mostraron que el laboratorio no vive únicamente del pasado glorioso del Higgs, sino de preguntas abiertas. La investigación sobre antimateria tiene un poder narrativo inmediato en el aula. El alumnado suele conocer la palabra por la ciencia ficción o por la cultura popular, y ahí aparece inevitablemente una referencia como *Ángeles y demonios*, la novela de Dan Brown llevada después al cine con Tom Hanks como protagonista. En aquella historia, la antimateria se presenta como un material de enorme poder destructivo, capaz de alimentar una trama de misterio y amenaza. Precisamente por eso resulta una buena puerta de entrada didáctica: permite partir de una imagen popular, exagerada y literaria, para contrastarla con la ciencia real que se desarrolla en el CERN. La antimateria existe, se produce y se estudia experimentalmente, pero no como un recurso energético disponible ni como un explosivo manejable, sino como una herramienta extraordinariamente delicada para investigar simetrías fundamentales de la naturaleza. La visita a la Antimatter Factory fue especialmente sugerente porque conecta una de las ideas más fascinantes de la física moderna con dispositivos reales, medidas concretas y preguntas todavía abiertas. ¿Por qué, si en el origen del universo debieron generarse materia y antimateria en cantidades muy similares, vivimos en un universo dominado por la materia? Esta pregunta, lejos de pertenecer a la ficción, es una de las grandes cuestiones abiertas de la física contemporánea.

La física de iones pesados, asociada a ALICE, permite viajar conceptualmente a los primeros instantes del universo. En colisiones de núcleos pesados a muy alta energía se pueden crear condiciones en las que quarks y gluones no están confinados dentro de hadrones individuales, sino formando un plasma de quarks y gluones. Después del Higgs, la física de partículas no quedó cerrada. Persisten preguntas sobre la materia oscura, la energía oscura, la jerarquía de masas, la gravedad cuántica, la asimetría materia-antimateria o la posible existencia de nueva física más allá del Modelo Estándar. Los futuros aceleradores no son simples versiones más grandes de máquinas anteriores; son apuestas científicas y tecnológicas para seguir interrogando a la naturaleza. Para un profesor, esta parte del programa es especialmente útil porque muestra que la ciencia no es un catálogo de certezas definitivas. El Modelo Estándar funciona extraordinariamente bien, pero no responde a todas las preguntas. Enseñar esto es fundamental: una teoría puede ser muy exitosa y, al mismo tiempo, incompleta. Esta idea ayuda al alumnado a comprender mejor la naturaleza provisional, acumulativa y crítica del conocimiento científico.

Talleres, grupos de trabajo y transferencia al aula

El HST 2025 no fue únicamente una sucesión de conferencias. Las sesiones de mapas conceptuales, los talleres y los grupos de trabajo tuvieron un papel central. Desde el inicio, se nos invitó a organizar ideas, discutirlos, reformularlos y transformarlos en propuestas educativas.

Algunas actividades estaban orientadas a la modelización; otras, a la analogía; otras, al diseño de experiencias educativas. Todas compartían una idea: la física moderna necesita buenos relatos, buenas representaciones y buenas preguntas. Los grupos de trabajo fueron una parte esencial del programa. A lo largo de varias sesiones, los participantes colaboramos en equipos temáticos: física de partículas, aceleradores, detectores, computación, aplicaciones médicas, antimateria, experimentos del LHC, ingeniería y futuros aceleradores. En mi caso, participé en el grupo dedicado a las aplicaciones médicas de la física de partículas, una temática especialmente interesante porque permite conectar la investigación con beneficios sociales muy concretos. El trabajo en grupo culminó con presentaciones finales. Este cierre tuvo un valor simbólico: 46 profesores de 36 países no solo habíamos recibido formación, sino que habíamos producido propuestas, compartido recursos y pensado cómo trasladar lo aprendido a nuestras aulas. La experiencia reforzó la idea de que la divulgación y la educación científica no son actividades secundarias respecto a la investigación. Son parte esencial del ecosistema científico.

La dimensión humana de la ciencia

Uno de los aspectos más intensos del HST 2025 fue la convivencia internacional. Compartir formación con docentes de tantos países distintos permitió comprobar que los desafíos de la educación científica son sorprendentemente comunes. Cambian los currículos, los recursos, los sistemas de evaluación o las lenguas, pero muchas preguntas se repiten: cómo despertar vocaciones científicas, cómo hacer comprensible lo abstracto, cómo evitar que la física parezca una disciplina inaccesible, cómo conectar la ciencia de frontera con la experiencia de los estudiantes.

Las actividades sociales —la recepción inicial, la búsqueda del tesoro por el CERN, la salida a Ginebra, la cena oficial, el intercambio internacional de regalos o la cena de despedida— no fueron simples añadidos al programa académico. Formaron parte de la construcción de comunidad. En esas conversaciones informales, muchas veces después de una jornada intensa de física, aparecían ideas educativas, comparaciones entre países, anécdotas de aula y proyectos futuros. Esa dimensión humana ayuda a entender mejor el propio CERN. La ciencia que allí se practica es internacional no solo porque participen instituciones de muchos países, sino porque necesita una cultura de cooperación. Ningún detector, ningún análisis y ningún descubrimiento importante puede



Figura 2: Conferencia de John Ellis.
Fuente: El autor.

entenderse como obra de una sola persona. El CERN encarna una forma de ciencia en la que compartir datos, discutir resultados, revisar análisis y coordinar esfuerzos es tan importante como la brillantez individual.

Esta idea tiene una enorme fuerza educativa. Frente a la imagen del científico aislado, el CERN muestra una ciencia coral. Una ciencia en la que físicos, ingenieros, técnicos, informáticos, docentes, comunicadores y estudiantes forman parte de una misma cadena de conocimiento. Llevar esta imagen al aula es fundamental para que los estudiantes comprendan que la ciencia no es solo una colección de genios, sino una empresa colectiva.

Volver al aula

En mi caso, una de las ideas que más claramente regresó conmigo al aula fue que la física moderna no debe enseñarse como un apéndice final, reservado para cuando “ya se ha dado todo lo demás”. La física de partículas puede actuar como un hilo conductor que da sentido a muchos contenidos clásicos. La dinámica, el electromagnetismo, la energía, la radiactividad, la estructura de la materia, la estadística o la informática no son bloques separados, sino herramientas que permiten interpretar cómo investigamos hoy la naturaleza en sus escalas más pequeñas. El Higgs puede convertirse en el centro de una secuencia didáctica. Los aceleradores pueden servir para reinterpretar el movimiento de cargas en campos magnéticos. Los detectores pueden ayudar a explicar ionización, conservación de la energía, interacción radiación-materia y análisis de datos. La antimateria puede abrir preguntas sobre simetría. ALICE puede conectar partículas y cosmología. Las aplicaciones médicas pueden mostrar que la investigación fundamental tiene consecuencias sociales. Volver del CERN implica regresar con materiales, ideas y ejemplos, pero también con una responsabilidad. La de acercar al alumnado una ciencia que a veces parece lejana y mostrar que sus fundamentos empiezan mucho antes de un gran acelerador: empiezan en una pregunta, en una hipótesis, en una medida, en una gráfica, en una discusión razonada. Empiezan, en realidad, en el aula. Quizá por eso la imagen que permanece no es solo la de los detectores, los túneles o las ecuaciones. Es también la de una sala llena de profesores de todo el mundo intentando pensar cómo contar mejor la ciencia. Una sala en la que resonaba, de algún modo, la memoria del anuncio del bosón de Higgs y, al mismo tiempo, la tarea cotidiana de quienes enseñamos. Entre la frontera de la investigación y la pizarra del aula hay una distancia enorme, pero también un puente posible. Durante dos semanas en el CERN, ese puente se hizo visible.

Enseñar desde la frontera

El CERN enseña física de partículas, pero también enseña una actitud ante el conocimiento. Enseña que las teorías necesitan pruebas, que los datos necesitan interpretación, que la tecnología puede nacer de preguntas fundamentales y que la ciencia avanza mejor cuando se construye colectivamente. Enseña, además, que la frontera de la investigación no está tan lejos del aula como parece: cada vez que un estudiante pregunta de qué está hecha la materia, por qué algo tiene masa o cómo sabemos lo que no podemos ver, esa frontera entra en clase. Participar en el HST 2025 fue, en definitiva, una invitación a enseñar la física contemporánea no como un territorio inaccesible, sino como una aventura intelectual viva. Una invitación a llevar al aula no solo el Modelo Estándar, los detectores o el LHC, sino también la emoción de una ciencia que sigue preguntando. Porque quizá esa sea una de las tareas más importantes de un profesor: no solo transmitir respuestas, sino mantener abiertas las preguntas que hacen avanzar el conocimiento.



Figura 3. Participantes HST 2025

Carlos Moreno Borrallo
Ágora International School (Andorra)
cmorenopirineu@gmail.com