



MEMORIA TÉCNICA
Convocatoria 2024 - «Redes Investigación»

1. DATOS DE LA ACTUACIÓN

COORDINADOR/A DE LA RED (Nombre y apellidos): Salvador MARTI GARCIA

TÍTULO DE LA ACTUACIÓN EN ESPAÑOL: Red Española para el LHC: Física, Instrumentación y Computación

TÍTULO DE LA ACTUACIÓN EN INGLÉS: LHC Spanish Network: Physics. Instrumentation & Computing

2. ADECUACIÓN DE LA PROPUESTA AL TIPO DE RED SELECCIONADA

Los objetivos de la “Red Española para el LHC: Física, Instrumentación y Computación” son:

- Primero: fomentar y fortalecer la cooperación entre los grupos españoles que investigan en física fundamental en la frontera de la energía que ofrece el Gran Colisionador de Hadrones (LHC de *Large Hadron Collider*) del CERN.
- Segundo: coordinar las actividades de los grupos españoles del LHC, tanto a nivel de física, como la instrumentación de los detectores, como de la computación necesaria para los experimentos.
- Tercero: crear y reforzar sinergias entre los grupos de la Red, tanto entre los teóricos y experimentales para la física, como las actuaciones a nivel de instrumentación y de computación requeridas por los experimentos.

Los grupos experimentales españoles participan en los experimentos ATLAS, CMS y LHCb del LHC. Cabe añadir que los grupos integrantes de esta Red tienen una participación bien arraigada en dichos experimentos. Esta se fundamenta en su trayectoria, que en algunos casos se remonta hasta la década de los 1990. Esta participación ha sido tanto a nivel instrumental, como de computación, como (por supuesto) de física.

Las actuaciones de los grupos de investigación españoles en el LHC reciben financiación a través del Plan Estatal de I+D+I de la Agencia Estatal de Investigación (AEI). La coordinación de los grupos en la “Red Española para el LHC: Física, Instrumentación y Computación” permitirá incrementar el impacto de los resultados de dichos proyectos.

Con esta Red temática se pretende mantener, reforzar y crear nuevas sinergias entre los grupos españoles del LHC. De este modo, la solicitud se presenta como una red temática alrededor del tema común de la física del LHC, abarcando diversos ámbitos como son los estudios de nueva física y medidas de precisión, en sus vertientes teórica y experimental, nuevas técnicas de análisis, computación intensiva en datos, y también de las tecnologías de instrumentación y los detectores.

La colaboración teórico-experimental es vital para proponer nuevos observables a medir en los experimentos. También proporciona cálculos originales para la interpretación de los resultados tanto dentro del Modelo Estándar (SM) como en modelos de nueva física.

La oportunidad de esta Red surge del plan de actuación del LHC del CERN. Actualmente, en el LHC se producen colisiones protón-protón a una energía de 13.6 TeV, y a alta luminosidad. Se está aumentando ostensiblemente la cantidad de datos (respecto a los recogidos hasta ahora) lo cual abre nuevas oportunidades para la colaboración teórico-experimental. Además, en 2026, LHC entrará en el llamado *Long Shutdown 3* (LS3), periodo que se usará para actualizar los experimentos con los nuevos detectores capaces de operar en la fase de alta luminosidad del LHC (HL-LHC). Por tanto se debe preparar el

programa de física (el análisis de los datos está íntimamente relacionado con las capacidades de la computación) aprovechando los datos acumulados, así como los de la fase del HL-LHC. Se debe destacar que la colaboración entre los experimentos está articulada con grupos de trabajo conjunto, que permiten explotar el potencial que se consigue al combinar los resultados de ATLAS y CMS (por ejemplo).

Esta Red es continuación de tres redes anteriores que permitieron cohesionar la comunidad española del LHC. Los objetivos de estas redes han estado alineados y coordinados con los objetivos del proyecto Consolider Ingenio 2010 “Centro Nacional de Física de Partículas, Astropartículas y Nuclear” (CPAN) y con las redes estratégicas posteriores Consolider y CPAN. También de nuestras actividades han surgido redes temáticas coordinadas con el CPAN para desarrollo de instrumentación para experimentos a futuro (CNID) y los retos de la computación (COMCHA).

Antecedentes de la Red

Las redes anteriores han fortalecido la colaboración entre los grupos. Desde que finalizó la fase de construcción de los detectores y antes que el LHC iniciara sus operaciones, la comunidad española detectó la necesidad de establecer una dinámica de cooperación entre los grupos teóricos y experimentales, con el fin de optimizar su rendimiento científico.

Reuniones generales:

Su primera reunión fue en noviembre de 2009 en Granada con la asistencia de 200 investigadores de distintos grupos españoles, lo que demuestra el alto interés suscitado. Desde entonces la Red se ha reunido periódicamente coincidiendo con las jornadas CPAN:

- 2010 en Valencia, <https://indico.ific.uv.es/event/313/>
- 2011 en Barcelona, <https://indico.ific.uv.es/event/433/>
- 2012 en Granada, <https://indico.ific.uv.es/event/574/>
- 2013 en Santiago de Compostela, <https://indico.ific.uv.es/event/764/>
- 2014 en Sevilla, <https://indico.ific.uv.es/event/2174/>
- 2015 en Segovia, <https://indico.ific.uv.es/event/2541/>
- 2016 en Zaragoza, <https://indico.ific.uv.es/event/2780/>
- 2017 en Santander, <https://indico.ific.uv.es/event/2960/>
- 2018 en Salamanca, <https://indico.ific.uv.es/event/3366/>
- 2019 en Oviedo, <https://indico.ific.uv.es/event/3780/>
- 2022 en Huelva, <https://indico.ific.uv.es/event/6457/>
- 2022 en Bilbao: <https://indico.ific.uv.es/event/6735/>
- 2023 en Santander: <https://indico.cern.ch/event/1283224/> (junto con el IMFP)
- 2024 en Madrid (en preparación): <https://indico.ific.uv.es/event/7664/>

En estas reuniones la Red ha sido el foro donde debatir trabajos científicos de distintos grupos teóricos y experimentales, teniendo como motivación común la Física del LHC. La definición de la participación de los grupos españoles en las distintas fases de actualización de los detectores ha sido resultado de un proceso de discusión y coordinación entre los grupos. La Red LHC ha jugado también un papel relevante ofreciendo un espacio común para la elaboración de propuestas y donde compartir las capacidades de los grupos.

Encuentros teórico-experimentales:

Desde 2017 se realiza un Encuentro anual teórico-experimental focalizado en el análisis e interpretación de los datos del LHC. Las jornadas cuentan con sesiones con ponencias de resultados recientes y mesas redondas dedicadas a temas específicos:

- 2017 8-9 mayo [Spanish LHC network meeting](#)
- 2018 9-11 mayo [2nd RED LHC workshop](#)
- 2019 6-8 mayo [3rd RED LHC workshop](#)
- 2020 4-6 noviembre [4th RED LHC workshop](#)
- 2021 10-12 mayo [5th RED LHC workshop](#)
- 2022 9-11 mayo [6th RED LHC workshop](#)
- 2023 10-12 mayo 7th RED LHC workshop: <https://indico.cern.ch/event/1252716/>
- 2024 28-30 mayo 8th RED LHC workshop: <https://indico.cern.ch/event/1378750/>

La Red también organizó reuniones específicas en dos elementos básicos para una explotación exitosa del LHC, la Computación intensiva en datos y la Instrumentación y tecnologías asociadas para los detectores. Estas reuniones tuvieron una gran asistencia, más allá de los miembros de los grupos especializados en estos temas.

- 2021 28-29 abril I Workshop de Computing y Software de la Red Española de LHC: <https://indico.cern.ch/event/1064182/>
- 2021 27-30 septiembre I Workshop on LHC Technologies: <https://indico.cern.ch/event/1064182/>

La Red también ha colaborado en una gran variedad de congresos, escuelas y talleres organizados por los grupos participantes en la Red. Por ejemplo:

- “ATLAS Standard Model Workshop 2016”, 30 marzo - 1 abril 2016. Facultad de Ciencias de la Universidad Autónoma de Madrid.
- “LHCb week”, 12-16 septiembre 2016 en Santiago de Compostela.
- “ATLAS ITK-week”, es una de las reuniones periódica de la colaboración ATLAS para preparar el nuevo detector de trazas para la fase HL-LHC. 12-16 septiembre 2016 en IFIC y el Campus de la Universidad de Valencia.
- “5o MoEDAL Collaboration Meeting”, 28-29 junio 2016 en el IFIC.
- “9th Higgs Days at Santander: Theory meets Experiment”, encuentro entre físicos teóricos y experimentales interesados en la física del Higgs, 19-23/Sept/2016. IFCA.
- “ATLAS Trigger and Data Acquisition (TDAQ)”, 26-30 septiembre 2017 en Barcelona.
- “5th ATLAS Single Top Workshop”, celebrado en el IFIC, 12-14 diciembre de 2016.
- “Workshops on Radiation Imaging Detectors (IWoRiD)”, 3-7 julio 2016 en Barcelona.
- “ATLAS Software and Computing Week” celebrada en el IFIC del 12-16 junio 2017.
- “10th Higgs Days at Santander: Theory meets Experiment”, 18-22/Sept/2017 IFCA.
- “11th Higgs Days at Santander: Theory meets Experiment”, 10-14 septiembre 2018 en el IFCA.
- “26th International Conference on Supersymmetry and Unification of Fundamental Interactions” (SUSY2018), 23-27 julio 2018 en Barcelona.
- “2nd school on Computing Challenges for the HL-LHC”, 24 Nov - 2 diciembre 2021.
- “13th Higgs Days at Santander: Theory meets Experiment”, 6-10/Sep/2021 en IFCA.
- Reunión de la colaboración RD50, 17-19/Nov/2021 en Valencia y organizado el IFIC.
- “14th Higgs Days at Santander: Theory meets Experiment”, 5-9 Sept 2022 en IFCA.
- “ATLAS top workshop”, 4-5 mayo 2022 en Valencia, organizada por el IFIC.

También se ha participado en congresos y reuniones de alcance global a toda la comunidad española en Física de Partículas y Astropartículas:

- Ediciones XLIV (2016), XLVII (2019) y XLIX (2022) del “International Meeting on Fundamental Physics”, Benasque (Huesca) y otras localizaciones. Congresos de 1 semana.
- Ediciones de 2016, 2017, 2021 y 2022 del “International Summer School on High Energy Physics (TAE)”, en Benasque (Huesca). Escuelas de física de dos semanas de duración.

Seminarios LHC:

En 2021 se puso en marcha la serie de seminarios LHC con expertos de la Red en temas específicos. La emisión telemática permitió una gran asistencia a los seminarios, al no estar limitada la misma a una sala de conferencias con la presencia del conferenciante.

- 16 abril 2021 [Emma Torró Pastor, "Prospects on the search for long-lived particles at the LHC experiments for Run 3"](#)
- 28 may 2021 [Dermot Moran, "Higgs boson measurements and their Effective Field Theory interpretations"](#)
- 18 junio 2021 [Joaquim Matias, "B-Flavour Anomalies: status of global fits, next steps and a new non-leptonic anomaly"](#)
- 1 octubre 2021 [Xavier Vilasis-Cardona, "Artificial Intelligence at the Large Hadron Collider"](#)

- 17 diciembre 2021 [Carlos Marinas, "Thinner, faster and smarter. Semiconductor detectors for high radiation environments in future collider experiments"](#)
- 21 enero 2022 [Juan Antonio Aguilar Saavedra, "Anomaly detection with SOFIE - Digging the tiniest signals at the LHC"](#)

Cabe mencionar que la Red dispone de un logotipo diseñado por Isidoro García (ver figura adjunta) que se utiliza en todas las actividades organizadas o subvencionadas por la Red, lo que permite identificar las actividades en las que participa, dotando de visibilidad a la comunidad LHC en múltiples ámbitos. Las noticias de la Red y actividades en LHC se difunden a través de la página web del CPAN (<https://www.i-cpan.es/es/noticias>)



3. OPORTUNIDAD ESTRATÉGICA DE LA ACTUACIÓN

La relación entre los diferentes experimentos del LHC ha superado la fase inicial de competición para entrar en la fase de colaboración y así alcanzar hitos más importantes. Si inicialmente ATLAS y CMS competían en la búsqueda del bosón de Higgs, y LHCb competía por ser el primer experimento en medir efectos de física nueva a partir de contribuciones anómalas en procesos raros de alta precisión de intercambio de sabor en quarks pesados; ahora se ha pasado a un escenario donde juntos ATLAS y CMS aumentan su sensibilidad a nueva física a través del estudio de desintegraciones poco frecuentes del Higgs (a muones, a quarks c, o producción de pares de Higgs, por ejemplo), estudiar invariancia de simetría CP, etc... Por otro lado, la luminosidad nominal de LHCb siempre ha sido una décima parte de la de ATLAS y CMS. Ahora, se pretende igualarla. Una **fortaleza** de esta red viene de la gran experiencia que tienen ATLAS y CMS en operar los detectores en un régimen de alta luminosidad. Esto representa una **oportunidad** de la que LHCb puede aprovecharse.

La coordinación de los grupos españoles en los respectivos experimentos ATLAS, CMS y LHCb en esta Red, es una **oportunidad** para cobrar una ventaja competitiva en las respectivas colaboraciones, y por ende ganar visibilidad y protagonismo. Además la ejecución de esta red está bien sincronizada con la próxima actualización "*Estrategia Europea de Física de Partículas*", que se debe discutir durante 2025 y aprobar en 2026. Esta Red es una magnífica **oportunidad** para coordinar y definir la aportación de la comunidad española del LHC a la Estrategia Europea de Física de Partículas.

Con esta red se presenta una nueva **oportunidad** de incrementar la sinergia entre los grupos teórico-fenomenológicos y los grupos experimentales, por ejemplo para analizar con mayor detalle si las anomalías en los recientes resultados experimentales son signos de nueva física, o son desviaciones compatibles con las incertidumbres teóricas y experimentales. Estudios sobre observables del sabor, leptoquarks, partículas similares a axiones (ALP), quantum entanglement, LLPs, etc, recibirán un impulso con esta Red.

En lo que se refiere a temas de computación: la **fortaleza** de esta Red proviene de su relación con Worldwide LHC Computing Grid (WLCG). Esta es la infraestructura informática distribuida para procesar y analizar datos del LHC. Actualmente, 42 países y 170 centros aportan recursos a la WLCG. Su potencia de procesamiento agregada es de alrededor de 1,4 millones de núcleos de CPU y una capacidad de almacenamiento superior a 1,5 exabytes. Las necesidades de computación de los experimentos se distribuyen en una proporción de 50%/33%/17% para ATLAS/CMS/LHCb respectivamente. Los recursos españoles son proporcionados por un centro Tier1 (PIC, mantenido conjuntamente por CIEMAT e IFAE), y tres centros Tier2s federados (IFIC/IFAE/UAM para ATLAS, CIEMAT/IFCA para CMS y USC/UB para LHCb). Todos son centros de esta Red.

Las necesidades de simulación de los experimentos del LHC son enormes. En 2023, los experimentos del LHC emplearon alrededor de 5 mil millones de horas de CPU (5×10^9) para producir eventos simulados. El paso inicial del flujo de trabajo de simulación (la generación de la colisión física y la simulación de la respuesta del detector a las partículas producidas) requiere un uso intensivo de la CPU, con I/O de datos moderada.

Las técnicas de análisis usan cada vez más técnicas de Machine Learning (ML). Una **fortaleza** que presenta esta red es que los grupos cuentan con personal experto en estas técnicas, y la colaboración entre ellos servirá para mejorar los análisis de física en LHC.

Se requiere un ancho de banda WAN suficiente que conecte a los centros de la Red. Poder extraer los datos producidos representa un **desafío** con la red actual (entre 10-25 Gbps dependiendo del centro). El proveedor español de redes de investigación y educación, RedIris, ha desplegado la infraestructura para soportar enlaces WAN de 100 Gbps. Los centros españoles del LHC español están haciendo la transición a redes de 100 Gbps. Esta Red es pues una **oportunidad** para armonizar y actualizar de manera coherente las necesidades de nuestros centros.

En lo que se refiere a la instrumentación: Los trabajos de los grupos de la Red que participan en el *upgrade* de los detectores para el HL-LHC están muy avanzados. Y esto es una **fortaleza** de la Red. La mayoría de los desarrollos tecnológicos están ya en su última fase, y pronto se van a definir las características finales de los detectores, o están ya en la fase de producción o pre-producción. En este sentido, todos los grupos deben pasar pronto (si no han pasado ya) a realizar las labores de fabricación, test, cualificación, control de calidad, montaje y puesta en servicio de aquellos subsistemas en los que estén implicados. Esta Red es una **oportunidad** para intercambiar experiencias en las tareas de producción. En particular, se deben compartir conocimientos en los detalles como la definición de especificaciones, la búsqueda de empresas implicadas, la licitación, la negociación de los contratos, la fijación de condiciones legales y técnicas, la planificación del calendario de entregas, los controles de calidad, el seguimiento de la producción, etc. Se compartirán experiencias en aquellos procedimientos y métodos que hayan servido a los grupos para mejorar la eficiencia y calidad de la producción, así como conocimientos técnicos específicos adquiridos.

Por otro lado, durante la larga fase de producción, pueden surgir problemas tanto técnicos como de gestión que superen la experiencia o el ámbito de conocimiento de los grupos implicados en el subsistema concreto. La red puede servir para aportar un foro donde poner en común esos problemas y obtener propuestas o soluciones por parte de otros grupos con otras competencias relevantes en esos ámbitos. También puede servir para crear grupos de trabajo o comités para afrontar problemas o decisiones en temas concretos.

4. OBJETIVOS METODOLOGÍA Y PLAN DE TRABAJO

a) Objetivos de la red y originalidad de los mismos

Los objetivos de la “Red Española para el LHC: Física, Instrumentación y Computación” son:

- Primero: fomentar y fortalecer la cooperación entre los grupos españoles que investigan en física fundamental en la frontera de la energía que ofrece el Gran Colisionador de Hadrones (LHC de *Large Hadron Collider*) del CERN.
- Segundo: coordinar las actividades de los grupos españoles del LHC, tanto a nivel de física, como la instrumentación de los detectores, como de la computación necesaria para los experimentos.
- Tercero: crear y reforzar sinergias entre los grupos de la Red, tanto entre los teóricos y experimentales para la física, como las actuaciones a nivel de instrumentación y de computación requeridas por los experimentos.

Las Redes anteriores han permitido cohesionar la comunidad española del LHC. Por ello la Red se ha erigido como representante de la comunidad española del LHC en distintos foros y se han establecido líneas de colaboración con otras redes temáticas afines (CPAN; COMCHA, CNID, Física hadrónica y QCD...). También servirá para coordinar la aportación de la comunidad española del LHC de cara a definir la actualización de la Estrategia Europea de Física de Partículas.

Se pretende pues mantener y fomentar la colaboración teórico-experimental. Esta es fundamental para una rápida incorporación de nuevas ideas a las búsquedas que se llevan a

cabo en el LHC. Esto se ha demostrado recientemente con la observación del entrelazamiento cuántico entre parejas de quarks top-antitop por parte de los experimentos ATLAS y CMS [[arXiv:2311.07288](https://arxiv.org/abs/2311.07288), [arXiv:2406.03976](https://arxiv.org/abs/2406.03976)], sólo dos años después de su propuesta teórica [[EPJC 82 \(2022\) 666](https://arxiv.org/abs/2202.0666)]. Este logro destaca cómo la estrecha cooperación entre teóricos y experimentales permite que las innovaciones conceptuales se traduzcan rápidamente en resultados experimentales.

También en la línea de colaboración teórico-experimental, la Red se ocupará de la física del bosón de Higgs, del quark top, acoplamiento top-Higgs, estudio de anomalías de sabor en el sector del B y sus correcciones radiativas o con interpretaciones de LFV y por supuesto la violación de CP. También se pretende consolidar los estudios de partículas de vida media larga (LLP) o producción de DM (*Dark Matter*), ALPs, leptoquarks, Supersimetría (SUSY), etc. Por supuesto incluir medidas de precisión del SM (sobre todo en los sectores del Higgs y del top) y sus interpretaciones con EFT (Effective field Theory), donde se podrá usar los cálculos a *one-loop* [[arXiv:2112.10787](https://arxiv.org/abs/2112.10787)] para el *matching* entre modelos de nueva física y teorías efectivas de forma automatizada con *MatchmakerEFT*. También se colaborará para la observación de fenómenos estándar “raros” (Higgs a muones, producción doble de Higgs,...). Un tema en auge es el estudio del entrelazamiento cuántico (QE) en el sector del top y del Higgs. En temas de fenomenología de física más allá del SM, se abordará la cuestión de la naturalidad (por qué el bosón de Higgs es mucho más ligero que la escala electrodébil) así como el origen de la ruptura de la simetría electrodébil con el conocido como puzzle del sabor (por qué los distintos fermiones tienen masas tan diferentes) y/o con el origen de la materia oscura (DM).

Se persigue mejorar la reconstrucción de las colisiones del LHC. Los grupos españoles del LHC tienen un gran bagaje en la reconstrucción e identificación de leptones (electrones, muones y taus) y fotones, de kaones, de jets, como de la identificación del sabor de los quarks, de trazas, alineamiento de los detectores, etc. Todos están evolucionando con la aplicación de técnicas de *Machine Learning*. Esta Red es propicia para el intercambio de ideas que sirva para reforzar la posición de los grupos españoles en sus experimentos.

Se aprovechará y compartirá la experiencia de los grupos españoles en el *trigger* de los experimentos. En efecto, en el LHC no todas las colisiones pueden ser registradas y los sistemas de trigger son los encargados de la selección, filtrado y etiquetado automático de aquellas colisiones interesantes donde se produce una interacción. Todo ello dentro de un entorno con múltiples interacciones inelásticas en cada cruce de los haces en LHC.

En la parte instrumental se pretende colaborar y crear sinergias con las capacidades tecnológicas de los grupos a partir del intercambio de conocimiento y experiencias adquiridas por otros grupos de la Red en sus acciones de actualización de los detectores. Ahora que se aborda el LS3 es útil fomentar el intercambio de experiencias en la fase de construcción de los sistemas actualizados para HL-LHC.

Las instituciones españolas con responsabilidades en cada uno de los experimentos del LHC tienen una larga y exitosa trayectoria en la gestión de las distintas infraestructuras de computación científica. Como los recursos de computación son limitados y las demandas durante el Run-3 del LHC y en el futuro HL-LHC son cada vez mayores, se pretende:

- Fomentar la utilización de soluciones que optimicen el uso y la gestión de las infraestructuras de computación existentes, compartiendo la experiencia adquirida y promoviendo soluciones unificadas.
- Mejorar el acceso a recursos de computación en la RES, y fomentar el acceso a recursos oportunistas.
- Explorar las posibilidades que ofrecen las tecnologías emergentes, tanto en aspectos relacionados con el nuevo hardware (GPUs, FPGAs, dispositivos híbridos o heterogéneos), como con el software/middleware (ej. Analysis Facilities).

b) Descripción de la actuaciones

Para cumplir los objetivos propuestos, las actuaciones de la Red se enfocan en mantener las actividades ya bien establecidas y que han demostrado su utilidad a la hora de cohesionar los grupos españoles que participan en el LHC y detalladas a continuación.

Reuniones de coordinación, donde se revisará el estado de las actuaciones. También se promoverá y coordinará la Reunión General Anual, el encuentro teórico-experimental, las jornadas de instrumentación, las jornadas de computación, los seminarios de la Red, investigadores invitados, cursos de doctorado...

En la Reunión General Anual se primará la discusión de los temas más novedosos de física y fomentará la participación de los miembros más jóvenes. Celebraremos un encuentro teórico-experimental anual, que permita incentivar los vínculos entre los grupos y motivar nuevas ideas.

En las jornadas sobre instrumentación el objetivo es fomentar la colaboración en temas relacionados con el upgrade de los detectores para el HL-LHC (electrónica de adquisición de datos, mecánica de precisión, etc.)

Las jornadas sobre computación son importantes debido al uso masivo que se da a este tipo de recursos en los experimentos. La optimización en el uso de los recursos de computación, la implementación de tecnologías emergentes y la coordinación entre los distintos actores de cara a las solicitudes de mejora de las infraestructuras nacionales será crucial para continuar contribuyendo al WLCG al nivel comprometido.

La organización de seminarios de la Red. Esta es útil para realizar monográficos sobre temas de física, instrumentación o computación novedosos. También permite visibilizar y dar crédito a colaboradores con una trayectoria consolidada y a los emergentes. Se pretende que sean mixtos: de forma presencial y telemática, para maximizar la audiencia.

Cursos especializados y de doctorado. Tradicionalmente, los miembros de la Red han impartido cursos especializados en Taller de Altas Energías que reúne a los estudiantes de doctorado de los grupos españoles. Se pretende extender esta actividad para que se impartan cursos de doctorado por parte de los miembros de la Red en instituciones participantes, de forma que los estudiantes del centro receptor disfruten de cursos impartidos por expertos externos.

También se pretende colaborar con los diferentes Institutos de la Red en sus iniciativas de divulgación al público en general.

c) Plan de trabajo y cronograma

Se plantea la ejecución tanto de actividades de coordinación general, como de comités específicos y también generales en eventos dedicados a todos los miembros de los grupos españoles que trabajan en los experimentos del LHC (workshops, escuelas, seminarios...)

Las reuniones de coordinación ordinarias se plantean con periodicidad trimestral. Sin perjuicio de que se puedan realizar sesiones extraordinarias, si fuese conveniente.

Se pretende celebrar la Reunión General anual abierta a todos los miembros de los grupos en conjunción con las jornadas CPAN (tal y como se ha venido haciendo, ver "Antecedentes de la red") ya que gozan de una gran aceptación de la comunidad.

Se prevé una reunión anual tipo "Encuentro teórico-experimental" donde se invitará a todos los miembros de los grupos a presentar y debatir sus trabajos y resultados recientes. El objetivo de este encuentro es fomentar la colaboración entre los grupos experimentales y teóricos, a través del intercambio de ideas.

También se propone celebrar jornadas especializadas para abordar tanto los aspectos específicos de la instrumentación para los *upgrades* de los detectores del LHC, como de computación.

Actividad Organización	Year 1				Year 2			
	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4
Reuniones de coordinación	X	X	X	X	X	X	X	X
Miembros del organo gestor								
Reunión General Anual				X				X
Miembros del organo gestor								
Encuentro teórico-experimental		X				X		
Miembros del organo gestor + subgrupo delegado de física								
Jornadas sobre Instrumentación			X				X	
Miembros del organo gestor + subgrupo delegado de computación								
Jornadas sobre Computación			X				X	
Miembros del organo gestor + subgrupo delegado de instrumentación								
Seminarios Red LHC	X	X	X	X	X	X	X	X
Miembros del organo gestor								

d) **Modelo de organización de la Red**

La Red contará con un **órgano gestor** el cual estará constituido por todos los representantes de los centros integrantes. Este órgano se reunirá periódicamente para revisar las actuaciones y proponer las diversas actividades. Al final de año se reunirá para evaluar las actividades realizadas y revisar la ejecución presupuestaria. También habrá reuniones en coincidencia con los principales eventos de la Red. Se propone mantener una única estructura, abierta, y sin ulterior división según especialidades. De esta manera se evita una fragmentación de las actividades y se fomenta una participación transversal de todos los integrantes de la Red.

Diversos comités integrados por representantes de los grupos y/o miembros de los mismos (**subgrupos delegados**) se encargan de organizar las actividades concretas, aprovechando los distintos perfiles de especialización. En todos ellos se promoverá una representación equilibrada experimental/teórica, geográfica y de género.

e) **Descripción de los recursos disponibles**

Los grupos integrantes de esta Red tienen a su disposición los recursos locales tanto a nivel de computación (Tier1, Tier2 y Analysis Facilities, [Artemisa](#)) como instrumental (laboratorios de electrónica, mecánica, metrología, salas blancas).

Aparte, la Red LHC dispondrá del apoyo de la *Oficina de proyectos* y del personal del IFIC para el seguimiento administrativo y ejecución de las actividades. Este apoyo ha sido instrumental en las anteriores redes LHC. Los grupos de la Red ya hacen un uso extensivo de herramientas telemáticas colaborativas para mantener el contacto entre los componentes de los equipos de trabajo y compartir la documentación. De forma general se utilizará el sistema de videoconferencia ZOOM (<https://cern.zoom.us/>) y las agendas electrónicas del CERN (<https://indico.cern.ch/>), IFIC (<https://indico.ific.uv.es/>) o CIEMAT (<https://agenda.ciemat.es/>).

5. DEFINICIÓN DE LOS GRUPOS DE INVESTIGACIÓN

- Nombre y apellidos: **Salvador MARTI GARCIA**
Entidad: Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC)
Grupo: [Institut de Física Corpuscular IFIC](#) (Centre mixte. U. València - CSIC)
Aportaciones: Experimental Physics, ATLAS, Track recon., Detec. Alignment, Muon.
- Nombre y apellidos: **Begoña DE LA CRUZ**
Entidad: Centro de Inv. Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT)
Grupo: [Unidad CIEMAT - Física de Partículas \(CFP\)](#)
Aportaciones: Experimental phys, CMS, EWK bosons, Higgs, new physics searches.
- Nombre y apellidos: **Adrián CARMONA BERMÚDEZ**
Entidad: U. Granada
Grupo: [Departamento de Física Teórica y del Cosmos](#)
Aportaciones: Physics Beyond the Standard Model, Effective Field Theories, Axion Like Particles, Dark Sectors, Flavor, Collider physics
- Nombre y apellidos: **Miriam CALVO GÓMEZ**
Entidad: U. Ramon Llul
Grupo: **Smart Society research group. U. Ramon Llul.**

- Aportaciones: Experimental Physics, LHCb, Calorimeter detector, flavour tagging of b-hadrons and radiative b-decays physics
5. Nombre y apellidos: **Imma RIU**
Entidad: Institut de Física d'Altes Energies (IFAE)
Grupo: [Institut de Física d'Altes Energies \(IFAE\)](#)
Aportaciones: Experimental Physics, ATLAS, trigger, Higgs, Beyond Standard Model
 6. Nombre y apellidos: **Siannah PEÑARANDA RIVAS**
Entidad: U. Zaragoza / Centro de Astropartículas y Física de Altas Energías (CAPA)
Grupo: [Departamento de Física Teórica](#)
Aportaciones: Phenomenology, Standard Model, New Physics, Flavour Physics, Machine Learning
 7. Nombre y apellidos: **Antonio ROMERO VIDAL**
Entidad: U. Santiago de Compostela
Grupo: [Departamento de Física de Partículas](#)
Aportaciones: Experimental Physics, LHCb, trigger, Lepton Flavour Universality
 8. Nombre y apellidos: **Sven Heinemayer**
Entidad: Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC)
Grupo: [Instituto de Física Teórica \(IFT\)](#)
Aportaciones: Theoretical Physics, Standard Model (SM), Multi-Higgs models, SUSY extensions, Radiative corrections.
 9. Nombre y apellidos: **Isidro GONZÁLEZ CABALLERO**
Entidad: U. Oviedo
Grupo: [Instituto Uni. de Ciencias y Tecnologías Espaciales de Asturias \(ICTEA\)](#)
Aportaciones: Física experimental, CMS, Geant4, Tier2, Computing
 10. Nombre y apellidos: **Miguel ULLÁN COMES**
Entidad: Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC)
Grupo: [Institut de Microelectrònica de Barcelona \(IMB-CNM\)](#)
Aportaciones: Física experimental, HL-LHC, silicon sensors, CMOS, ASICS
 11. Nombre y apellidos: **Eugeni GRAUGES POUS**
Entidad: U. Barcelona
Grupo: [Departament de Física Quàntica i Astrofísica](#)
Aportaciones: Física experimental, LHCb, CP violation, silicon sensors
 12. Nombre y apellidos: **Alicia Calderón Tazón**
Entidad: Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC)
Grupo: [Instituto de Física de Cantabria \(IFCA\)](#)
Aportaciones: Física experimental, CMS, Higgs boson, Dark Matter, Muon.
 13. Nombre y apellidos: **Ana Rosario CUETO GÓMEZ**
Entidad: U. Autónoma de Madrid
Grupo: [Departamento de Física Teórica](#)
Aportaciones: Física experimental, ATLAS, Higgs, Monte Carlo generators
 14. Nombre y apellidos: **Veronika Georgieva CHOBANOVA**
Entidad: Universidade da Coruña
Grupo: [Departamento Física y Ciencias de la Tierra, grupo FITNAE](#)
Aportaciones: Experimental physics, LHCb, flavour tagging, CP violation, kaons, HFLAV

6. IMPACTO ESPERADO DE LOS RESULTADOS

Si bien esta Red está orientada a la investigación básica, debe ponerse en su haber, que otras redes han surgido como spin-off del trabajo en esta. Por ejemplo: la red del CPAN para desarrollo de instrumentación para experimentos a futuro (CNID) y los retos de la computación (COMCHA) con aplicaciones mucho más directas de retorno a la sociedad.

El LHC es una instalación única que permitirá avanzar en la frontera del conocimiento para conocer los constituyentes fundamentales de la materia y las leyes que gobiernan sus interacciones. Los experimentos del LHC se mantendrán en la vanguardia de la investigación durante los próximos 15 años. La Red, fomentará la coordinación de los grupos teóricos y experimentales del LHC y contribuirá a que alcancen sus objetivos de física, instrumentación y computación.

Los grupos miembros de esta red pertenecen a una gran diversidad de agentes del Sistema Español de Ciencia, Tecnología e Innovación: Organismos Públicos de Investigación, Agencia Estatal CSIC, universidades públicas y privadas, institutos mixtos universidades-CSIC, con una fuerte relación con los agentes SECTI en las comunidades autónomas. Las anteriores redes LHC han sido un ejemplo exitoso de cooperación entre los diferentes agentes, que se potenciará de forma natural en la presente solicitud.

En cuanto a la internacionalización: los experimentos ATLAS, CMS y LHCb son colaboraciones internacionales de miles de investigadores excelentes, de multitud de centros de investigación prestigiosos de todo el mundo. Por ello su actividad se desarrolla de forma natural en un contexto plenamente internacional (publicaciones y conferencias). Asimismo, la comunidad teórica mantiene frecuentes colaboraciones con grupos de diversos países.

Los resultados obtenidos por los grupos de esta red se presentarán básicamente de dos formas. La primera: en forma de publicación en revistas científicas de alto impacto (por ejemplo, EPJC, PR.D, JHEP) y preprint ([arXiv](#)). Se favorecerá las publicaciones en acceso abierto. La segunda: en conferencias internacionales tanto generales ([EPS-HEP](#), [ICHEP](#), [LHCP](#), [CHEP](#),...), como temáticas ([TOP](#), [HIGGS](#), [SUSY](#), ...) y en las propias reuniones de la red.

De forma general se pretende colaborar con los diferentes Institutos de la Red en sus iniciativas de divulgación al público en general, como por ejemplo el evento para la celebración del [10º aniversario del descubrimiento del bosón de Higgs](#), y eventos similares (70 años del CERN, 75 del IFIC,...)

En lo relativo a la dimensión de género de esta Red cabe mencionar: primero que la presencia femenina en la Red es paritaria (7 de los 14 miembros). Segundo: se fomentará la participación igualitaria en todos los foros de la Red. Tercero: Se pretende colaborar estrechamente con la organización del taller [@FlipLHCPhysics](#), el cual pone en valor la contribución femenina en la física. Cuarto: las instituciones de la Red cuentan con planes de igualdad. A saber:

- CSIC <https://www.csic.es/es/el-csic/ciencia-en-igualdad/comision-delegada-de-igualdad>
- IFIC <https://webific.ific.uv.es/web/cid/comision-de-igualdad-y-diversidad-cid>
- Universitat Ramon Llull: <https://www.url.edu/es/compromiso-social/observatorio-de-igualdad-de-oportunidades/comision-de-igualdad-de-genero>
- U. Granada <https://viics.ugr.es/areas/igualdad-conciliacion/planes-de-igualdad>
- U. Da Coruña <https://www.udc.es/es/oficinaigualdade/>
- IGFAE <https://igfae.usc.es/igfae/es/genero-diversidad/>
- CIEMAT <https://igualdad.ciemat.es/>
<https://igualdad.ciemat.es/documents/324564/2677762/II+GENDER+EQUALITY+PLAN+2021-2025.pdf/fe5af885-e5a4-4da9-b87c-ca9176bf7752>
<https://cfp.portales.ciemat.es/equality>
- IFT <https://members.ift.uam-csic.es/ed/>
- UA Madrid <https://www.uam.es/uam/unidad-igualdad-genero>
- IFAE <https://www.ifae.es/edi>
- U. Zaragoza <https://igualdad.unizar.es/ii-plan-de-igualdad>
- IMB-CNM <https://www.imb-cnm.csic.es/es/el-instituto/comites-y-grupos-de-trabajo/comite-de-igualdad>
- ICTEA-U. Oviedo <https://igualdad.uniovi.es/planigualdad>

En la parte de instrumentación, por la naturaleza de ésta, existe un contacto más fluido con el tejido empresarial español, y son varias las empresas que han participado en el upgrade de los detectores de cara al HL-LHC. Por ejemplo: [Scientifica](#), [AVS](#) y [Alibava Systems](#).