



Barcelona, 31 July 2019

## Superconductors instead of copper for the future circular collider (FCC) at CERN

- The future circular collider (FCC), with a 100 km circumference ring, will extend the research currently being conducted at the Large Hadron Collider (LHC) in the search for new physics.
- High-temperature superconductors, such as YBCO, are being studied to be used as coating for the FCC ring instead of copper. Researchers have found that these materials outperform copper by a factor of 40, which would greatly enhance the FCC efficiency and provide big energy savings.
- The Superconducting Materials and Large Scale Nanostructures (SUMAN) group at the ICMAB-CSIC participates in this study as part of a consortium with the ALBA Synchrotron, the IFAE and the UPC.

On the 4th of July of 2012 scientists at CERN announced the discovery of the Higgs boson based on collisions detected in the ATLAS and CMS detectors in the large hadron collider (LHC). The Higgs boson is responsible for the origin of mass of subatomic particles, and is an essential component of the Standard Model, one of the most successful theoretical frameworks in physics. Thanks to this discovery, on the 10th of December of 2013 F. Englert and P. Higgs were awarded the Nobel Prize in Physics for their theoretical prediction in 1964.

The LHC has proven fundamental to the advanced of our knowledge of matter and the Standard Model. However, the 13 TeV center-of-mass collision energy it produces cannot explore newer key questions about the Universe, such as dark matter and dark energy (which together form 95 % of the Universe), supersymmetry, the origin of neutrino masses, or the existence of extra dimensions. Higher energy collisions are needed.

To this end, the future circular collider (FCC) study explores options for a next generation of hadron-hadron collider, which should succeed the 27 km-ring LHC at the end of its productive life. The FCC aims at 100 TeV center-of-mass proton-proton collision energy in a 100 km circumference ring located near the CERN site.



## Why superconductors?

Superconducting magnets cooled at very low temperatures (1.9 K), generating a very strong magnetic field of 16 T (1,600 times more powerful than kitchen magnets), are needed to steer the proton beam inside the FCC. The accelerated protons circulating through the FCC tunnel lose energy in the form of synchrotron radiation (28 W/m/beam), which could heat the magnets if they were not properly protected. A stainless steel beam screen shields the magnets from this radiation, thus allowing for a better cryogenic efficiency and power consumption.

In addition, another consequence of the accelerated particles is the formation of image currents in the beam screen. These image currents produce electric fields that could destabilize the proton beam and hinder the desired fruitful collisions. To prevent this phenomenon from happening, the 27 km beam screen at the LHC is held between 5 K and 20 K, and is covered with copper coating. At this low temperature, copper has a very low resistance, thus minimizing the electric fields created by the image currents induced by the accelerated protons.

However, it is not feasibly nor economically possible to keep the FCC at these low temperatures: the FCC is much longer (100 km instead of 27 km), and the intensity of the synchrotron radiation generated by the particles is 100 times more powerful in the FCC. Therefore, much more energy should be needed to keep the temperatures that low and, eventually, an unaffordable energetic and economic cost.

The window range in which the FCC should work is between 40 K and 60 K, and at this temperature range, the surface resistance of copper might not be sufficiently low to ensure stable operation of the FCC. Which material could be used at this range of temperatures, which has a low resistance (high conductivity) and that could coat the FCC beam screen easily?

Scientists from the Superconducting Materials and Large Scale Nanostructures (SUMAN) group at the Institute of Materials Science of Barcelona (ICMAB-CSIC) have proposed a solution to this challenge: coating the beam screen chamber with a high-temperature superconductor instead of copper. High-temperatures superconductors of the type  $REBa_2Cu_3O_{7-x}$  (where RE is a rare earth metal, such as Y (yttrium) or Gd (gadolinium)), are produced worldwide as flexible materials in hundreds of km length and could be ideal candidates. Scientists from the SUMAN group have a long track record with them.

Scientists within a consortium made by the ICMAB, ALBA, IFAE and UPC have demonstrated that high-temperature superconductors are capable of outperforming copper's surface resistance by a factor of 40 or more under those conditions to be found in the FCC. "In addition, we are already developing a technology that will enable to coat the interior of the 100 km circumference ring of the beam screen chamber of the FCC with  $REBa_2Cu_3O_{7-x}$  coated

conductors instead of copper” explains Joffre Gutiérrez, ICMAB researcher participating in the study.

The FCC Study, hosted by CERN, is an international collaboration of more than 150 universities, research institutes and industrial partners from all over the world to explore concepts for the most powerful particle collider and develop enabling technologies. The study will elaborate on different possibilities for circular colliders, new detector facilities, the associated infrastructure, cost estimates, global implementation scenarios, as well as appropriate international governance structures.

#### Article:

Teresa Puig, Patrick Krkotic, Artur Romanov, Joan O'Callaghan, Danilo Andrea Zanin, Holger Neupert, Pedro Costa Pinto, Pierre Demolon, Ângelo Rafael Granadeiro Costa, Mauro Taborelli, Francis Perez, Montse Pont, Joffre Gutierrez and Sergio Calatroni. **Coated Conductor technology for the beamscreen chamber of future high energy circular colliders.** *Superconductor Science and Technology*. Accepted Manuscript online 1 July 2019. [DOI: 10.1088/1361-6668/ab2e66](https://doi.org/10.1088/1361-6668/ab2e66)

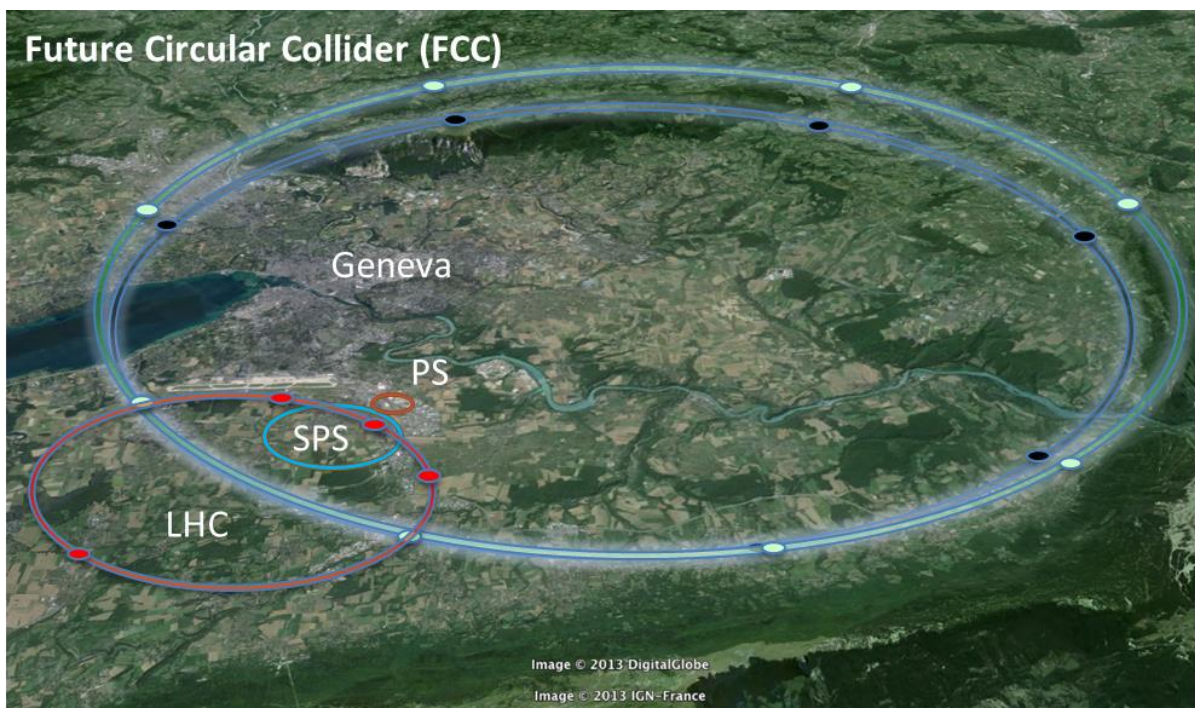


Figure: Representation of the LHC and FCC rings



Barcelona, 31 de julio de 2019

## Superconductores en lugar de cobre para el futuro acelerador circular (FCC) del CERN

- El Futuro Colisionador Circular (FCC), con un anillo de 100 km de circunferencia, continuará la investigación que se está llevando a cabo actualmente en el Gran Colisionador de Hadrones (LHC) en la búsqueda de la nueva física.
- Los superconductores de alta temperatura, como el YBCO, están siendo estudiados para ser usados como revestimiento para el anillo FCC en lugar de cobre. Los investigadores han encontrado que estos materiales superan en un factor de 40 el rendimiento del cobre, lo que mejoraría enormemente la eficiencia del FCC y proporcionaría un gran ahorro energético.
- El grupo de Materiales Superconductores y Nanoestructuras a la Gran Escala (SUMAN) del ICMAB-CSIC participa en este estudio como parte de un consorcio con el Sincrotrón ALBA, el IFAE y la UPC.

El 4 de julio de 2012 los científicos del CERN anunciaron el descubrimiento del bosón de Higgs basado en las colisiones detectadas en los detectores ATLAS y CMS en el gran colisionador de hadrones (LHC). El bosón de Higgs es responsable del origen de la masa de las partículas subatómicas, y es un componente esencial del Modelo Estándar, uno de los marcos teóricos más exitosos de la física. Gracias a este descubrimiento, el 10 de diciembre de 2013 F. Englert y P. Higgs recibieron el Premio Nobel de Física por su predicción teórica en 1964.

El LHC ha demostrado ser fundamental para el avance de nuestro conocimiento de la materia y del Modelo Estándar. Sin embargo, la energía de colisión de los protones de 13 TeV que produce no puede explorar cuestiones clave sobre el Universo de gran relevancia actual, como la materia oscura y la energía oscura (juntas forman el 95 % del Universo), la supersimetría, el origen de las masas de neutrinos, o la existencia de dimensiones adicionales. Se necesitan colisiones de energía más altas.

Con este fin, el estudio del futuro colisionador circular (FCC) explora las opciones para una próxima generación de colisionadores de hadrones, que debería suceder al LHC, de 27 km, al final de su vida productiva. El objetivo del FCC es conseguir los 100 TeV de energía de colisión protón-protón en el anillo de 100 km de circunferencia que estará situado cerca de las instalaciones del CERN.



## Por qué superconductores?

Se necesitan imanes superconductores enfriados a temperaturas muy bajas (1,9 K), que generan un campo magnético muy potente de 16 T (1.600 veces más potente que los imanes de cocina), para dirigir el haz de protones dentro del FCC. Los protones acelerados que circulan por el túnel FCC pierden energía en forma de radiación de sincrotrón (28 W/m/haz), que podría calentar los imanes si no estuvieran debidamente protegidos. Una pantalla de acero inoxidable protege a los imanes de esta radiación, permitiendo así una mejor eficiencia criogénica y un mejor consumo de energía.

Otra consecuencia de las partículas aceleradas es la formación de corrientes de imagen en la pantalla protectora. Estas corrientes de imagen producen campos eléctricos que podrían desestabilizar el haz de protones e impedir las colisiones fructíferas tan deseadas. Para evitar este fenómeno, la pantalla de 27 km en el LHC se mantiene entre 5 y 20 K, y está cubierta con una capa de cobre. A esta baja temperatura, el cobre tiene una resistencia muy baja, minimizando así los campos eléctricos creados por las corrientes de imagen inducidas por los protones acelerados.

Sin embargo, no es viable ni económicamente posible mantener el FCC a estas bajas temperaturas: el FCC es mucho más largo (100 km en lugar de 27 km), y la intensidad de la radiación sincrotrón generada por las partículas es 100 veces más potente. Por lo tanto, se necesita mucha más energía para mantener las bajas temperaturas y, eventualmente, un costo energético y económico inasequible.

El rango de temperatura en el que el FCC debe trabajar es de entre 40 K y 60 K, y en este rango de temperatura, la resistencia superficial del cobre puede no ser lo suficientemente baja como para garantizar un funcionamiento estable del FCC. ¿Qué material podría utilizarse en este rango de temperaturas, con una baja resistencia (alta conductividad) y que podría utilizarse para revestir fácilmente la pantalla protectora del FCC?

Científicos del grupo Superconducting Materials and Large Scale Nanostructures (SUMAN) del Instituto de Ciencia de Materiales de Barcelona (ICMAB-CSIC) han propuesto una solución a este reto: recubrir la pantalla protectora con un superconductor de alta temperatura en lugar de cobre. Los superconductores de alta temperatura del tipo REBa<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>7-x</sub> (donde RE es un metal de las tierras raras, como Y (itrio) o Gd (gadolinio)), se producen como materiales flexibles en cintas de cientos de kilómetros de longitud y podrían ser candidatos ideales. Los científicos del grupo SUMAN tienen una larga trayectoria con su fabricación y estudio.

Científicos dentro de un consorcio formado por el ICMAB, el ALBA, el IFAE y la UPC han demostrado que los superconductores de alta temperatura son capaces de superar la resistencia superficial del cobre en un factor de 40 o más en las condiciones que se encuentran en el FCC. "Además, ya estamos desarrollando una tecnología que permitirá



revestir el interior del anillo de 100 km del FCC con estos superconductores en lugar de cobre", explica Joffre Gutiérrez, investigador del ICMAB que participa en el estudio.

El Estudio FCC del CERN, es una colaboración internacional de más de 150 universidades, institutos de investigación y socios industriales de todo el mundo para explorar conceptos para el colisionador de partículas más potente y para desarrollar tecnologías avanzadas. En el estudio se analizarán diferentes formatos de los colisionadores circulares, las nuevas instalaciones de detección de partículas, la infraestructura asociada, las estimaciones de costes, las aplicaciones a escala mundial, así como las estructuras de gobernanza internacional adecuadas.

Artículo:

Teresa Puig, Patrick Krkotic, Artur Romanov, Joan O'Callaghan, Danilo Andrea Zanin, Holger Neupert, Pedro Costa Pinto, Pierre Demolon, Ângelo Rafael Granadeiro Costa, Mauro Taborelli, Francis Perez, Montse Pont, Joffre Gutierrez y Sergio Calatroni. **Coated Conductor technology for the beamscreen chamber of future high energy circular colliders.** *Superconductor Science and Technology*. Accepted Manuscript online 1 July 2019. DOI: [10.1088/1361-6668/ab2e66](https://doi.org/10.1088/1361-6668/ab2e66)

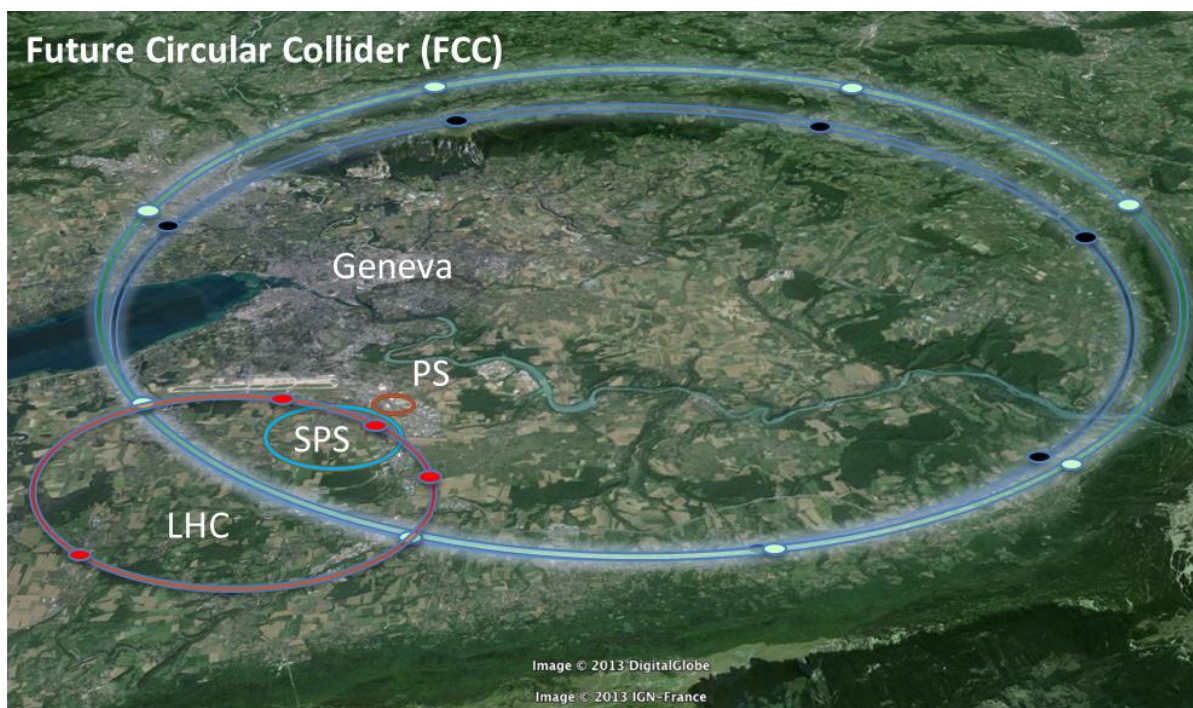


Figura: Representación de los anillos LHC y FCC

Barcelona, 30 de julio de 2019



Barcelona, 31 de juliol de 2019

## Superconductors en lloc de coure per al futur accelerador del CERN

- El Futur Col·lisionador Circular (FCC), amb una circumferència de 100 km, permetrà continuar la investigació que s'està duent a terme al Gran Col·lisionador d'Hadrons (LHC) en busca de la nova física.
- Els superconductors d'alta temperatura, com el YBCO, estan sent estudiats per a ser usats com a revestiment per l'anell del FCC en lloc de coure. Els investigadors han trobat que aquests materials superen en un factor de 40 el rendiment del coure, el que milloraria enormement l'eficiència del FCC i proporcionaria un gran estalvi energètic.
- El grup de Materials Superconductors i Nanoestructures a la Gran Escala (SUMAN) de l'ICMAB-CSIC participa en aquest estudi com a part d'un consorci amb el Síncrotró ALBA, l'IFAE i la UPC.

El 4 de juliol de 2012 els científics del CERN van anunciar el descobriment del bosó de Higgs basant-se en les col·lisions detectades en els detectors ATLAS i CMS al gran col·lisionador d'hadrons (LHC). El bosó de Higgs és responsable de l'origen de la massa de les partícules subatòmiques, i és un component essencial del Model Estàndard, un dels marcs teòrics més reeixits de la física. Gràcies a aquest descobriment, el 10 de desembre de 2013 F. Englert i P. Higgs van rebre el Premi Nobel de Física per la seva predicció teòrica en 1964.

L'LHC ha demostrat ser fonamental per a l'avanç del nostre coneixement de la matèria i del Model Estàndard. No obstant això, l'energia de col·lisió dels protons de 13 TeV que produeix no és suficient per explorar qüestions clau sobre l'Univers de gran rellevància actualment, com la matèria fosca i l'energia fosca (juntament formen el 95 % de l'Univers), la supersimetria, l'origen de les masses de neutrins, o l'existència de dimensions addicionals. Calen col·lisions d'energia més altes.

Amb aquesta finalitat, l'estudi del futur col·lisionador circular (FCC) explora les opcions per a una pròxima generació de col·lisionadors d'hadrons, que hauria de substituir l'LHC, de 27 km, al final de la seva vida productiva. L'objectiu del FCC és aconseguir els 100 TeV d'energia de col·lisió protó-protó en l'anell de 100 km de circumferència que estarà situat a prop de les instal·lacions del CERN.

### Per què superconductors?



Es necessiten imants superconductors refredats a temperatures molt baixes (1,9 K), que generen un camp magnètic molt potent de 16 T (1.600 vegades més potent que els imants de cuina), per dirigir el feix de protons dins el FCC. Els protons accelerats que circulen pel túnel FCC perden energia en forma de radiació de sincrotró (28 W/m/feix), que podria escalfar els imants si no estiguessin degudament protegits. Una pantalla d'acer inoxidable protegeix els imants d'aquesta radiació, permetent així una millor eficiència criogènica i un millor consum d'energia.

Una altra conseqüència de les partícules accelerades és la formació de corrents d'imatge a la pantalla protectora. Aquests corrents d'imatge produeixen camps elèctrics que podrien desestabilitzar el feix de protons i impedir les col·lisions fructíferes tan desitjades. Per evitar aquest fenomen, la pantalla de 27 km al LHC es manté entre 5 i 20 K, i està coberta amb una capa de coure. A aquesta baixa temperatura, el coure té una resistència molt baixa, minimitzant així els camps elèctrics creats pels corrents d'imatge induïdes pels protons accelerats.

No obstant això, no és viable ni econòmicament possible mantenir el FCC a aquestes baixes temperatures: el FCC és molt més llarg (100 km en lloc de 27 km), i la intensitat de la radiació sincrotró generada per les partícules és 100 vegades més potent. Per tant, es necessita molta més energia per mantenir les baixes temperatures i, eventualment, un cost energètic i econòmic inassequible.

El rang de temperatura en el qual el FCC ha de treballar és d'entre 40 K i 60 K, i en aquest rang de temperatura, la resistència superficial del coure pot no ser prou baixa com per garantir un funcionament estable del FCC. Quin material podria utilitzar-se en aquest rang de temperatures, amb una baixa resistència (alta conductivitat) i que podria utilitzar-se per a revestir fàcilment la pantalla protectora del FCC?

Científics del grup Superconducting Materials and Large Scale nanostructures (SUMAN) de l'Institut de Ciència de Materials de Barcelona (ICMAB-CSIC) han proposat una solució a aquest repte: recobrir la pantalla protectora amb un superconductor d'alta temperatura en lloc de coure. Els superconductors d'alta temperatura del tipus REBa<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>7-x</sub> (on RE és un metall de les terres rares, com I (itri) o Gd (gadolini)), es produeixen com materials flexibles en cintes de centenars de quilòmetres de longitud i podrien ser els candidats ideals. Els científics del grup SUMAN tenen una llarga trajectòria amb la seva fabricació i estudi.

Científics dins d'un consorci format per l'ICMAB, l'ALBA, l'IFAE i la UPC han demostrat que els superconductors d'alta temperatura són capaços de superar la resistència superficial del coure en un factor de 40 o més en les condicions que es troben al FCC. "A més, ja estem desenvolupant una tecnologia que permetrà revestir l'interior de l'anell de 100 km de l'FCC amb aquests superconductors en lloc de coure", explica Joffre Gutiérrez, investigador de l'ICMAB que participa en l'estudi.





L'Estudi FCC del CERN és una col·laboració internacional de més de 150 universitats, instituts de recerca i socis industrials de tot el món per explorar conceptes per al col·lisionador de partícules més potent i per desenvolupar tecnologies avançades. En l'estudi s'analitzaran diferents formats dels col·lisionadors circulars, les noves instal·lacions de detecció de partícules, la infraestructura associada, les estimacions de costos, les aplicacions a escala mundial, així com les estructures de governança internacional adequades.

Article:

Teresa Puig, Patrick Krkotic, Artur Romanov, Joan O'Callaghan, Danilo Andrea Zanin, Holger Neupert, Pedro Costa Pinto, Pierre Demolon, Ângelo Rafael Granadeiro Costa, Mauro Taborelli, Francis Perez, Montse Pont, Joffre Gutierrez y Sergio Calatroni. **Coated Conductor technology for the beamscreen chamber of future high energy circular colliders.** *Superconductor Science and Technology*. Accepted Manuscript online 1 July 2019. DOI: [10.1088/1361-6668/ab2e66](https://doi.org/10.1088/1361-6668/ab2e66)

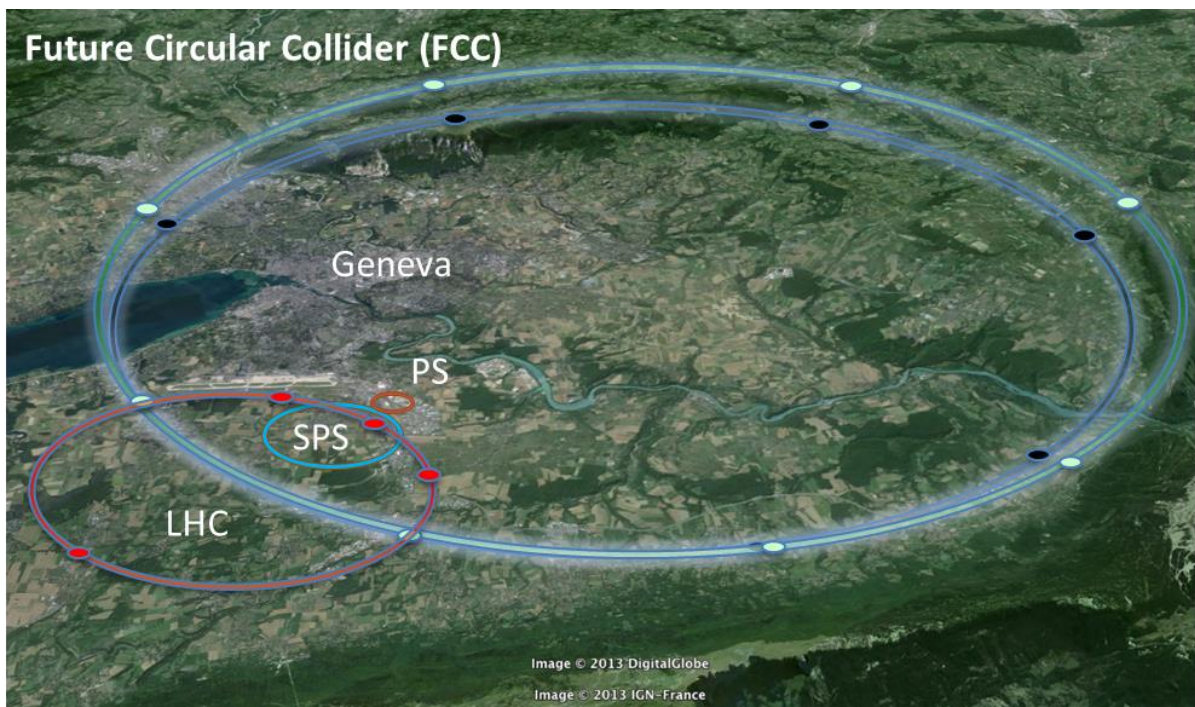


Figura: Representació dels anells LHC i FCC