



**IGFAE**

Instituto Galego de Física de Altas Enerxías



EXCELENCIA  
MARÍA  
DE MAEZTU



**Universitat**  
de les Illes Balears



**Institute of Applied Computing  
& Community Code.**



UNIVERSITAT  
DE VALÈNCIA



Valencia Virgo Group



**Institut de Física  
d'Altes Energies**



EXCELENCIA  
SEVERO  
OCHOA



**Institut de Ciències del Cosmos**  
UNIVERSITAT DE BARCELONA



EXCELENCIA  
MARÍA  
DE MAEZTU

## LIGO i Virgo reprenen la recerca d'arrugues en l'espai-temps

Els detectors Virgo i LIGO estan preparats per a començar el nou període d'observació anomenat O3. La caça d'ones gravitacionals està llesta per a encetar l'1 d'abril quan el detector europeu Virgo, amb base a Itàlia a l'Observatori Gravitacional Europeu (EGO, per les seues sigles en anglès), i els detectors bessons de LIGO finançats per la NSF, situats en els estats de Washington i Louisiana (EUA), començaran a prendre dades per esdevenir-se, conjuntament, l'observatori d'ones gravitacionals més sensible fins ara. Durant aquest període, que durarà un any, la Col·laboració LIGO-Virgo registrarà dades científiques de manera contínua, i els tres detectors operaran com un observatori global. Des d'agost de

2017, quan va acabar el segon període d'observació (anomenat O2), les dues col·laboracions han treballat intensament en els seus interferòmetres per millorar la sensibilitat i fiabilitat.

"Per a aquest tercer període d'observació, hem aconseguit millores significativament més importants pel que fa a la sensibilitat dels detectors de l'últim període", diu Peter Fritschel, científic cap del detector LIGO al MIT. "I amb LIGO i Virgo observant junts durant el proper any, detectarem amb seguretat moltes més ones gravitacionals i de més tipus de fonts que mai hem vist. Estem ansiosos per veure també nous esdeveniments, com ara la col·lisió d'un forat negre i una estrella de neutrons."

En 2015, després que LIGO va començar a observar per primera vegada en un programa actualitzat anomenat LIGO Avançat, prompte va fer història en [realitzar la primera detecció directa d'ones gravitacionals](#). Les ondulacions van viatjar a la Terra procedents de la col·lisió de dos forats negres situats a 1.300 milions d'anys llum de distància --un descobriment que va conduir a la concessió del [Premi Nobel en Física en 2017](#).

Des de llavors, la xarxa de detectors LIGO-Virgo ha descobert nou fusions addicionals de forats negres i un xoc explosiu de dues estrelles de neutrons. Aquest esdeveniment, etiquetat com GW170817, va generar no només ones gravitacionals sinó també llum, que va ser observada per dotzenes de telescopis terrestres i espacials.

"Amb els nostres tres detectors operatius en aquest moment amb una sensibilitat significativament millorada, la xarxa global de detectors LIGO-Virgo espera realitzar diverses noves deteccions. A més permetrà la triangulació precisa de les fonts d'ones gravitacionals. Això serà un pas important cap a la nostra recerca en l'astronomia de multi-missatgers (fenòmens astronòmics observables per diferents canals, com llum i ones gravitacionals)", comenta Jo van den Brand de Nikhef (Dutch National Institute for Subatomic Physics) i VU University Amsterdam, portaveu de la col·laboració Virgo.

"Anar des de l'època pionera que va conduir al descobriment històric fins a l'època actual d'observacions, on el interferòmetre i la infraestructura hauran d'operar impecablement 24 hores al dia, 7 dies a la setmana, durant un any complet, era i continua sent un desafiament considerable", diu Stavros Katsanevas, Director d'EGO. "Confie però que afrontarem aquest repte amb el mateix èxit amb el qual afrontem l'anterior."

La sensibilitat del detector se sol donar en termes de la distància a la qual es pot observar la fusió d'un sistema binari d'estrelles de neutrons. "Durant O2 Virgo Avançat podia observar esdeveniments associats a estrelles de neutrons fins a una distància de 88 milions d'anys llum", comenta Alessio Rocchi, investigador de l'INFN i coordinador de la posada en marxa de Virgo. "Les dues col·laboracions LIGO i Virgo han estat treballant per millorar la sensibilitat dels detectors, aprofitant també les actualitzacions instal·lades als interferòmetres. No ha sigut un camí directe en absolut però certament molt gratificant."

"La qualitat de les dades registrades pels instruments és un factor determinant per detectar senyals d'ones gravitacionals enterrades en el soroll i mesurar les seues propietats", diu

Nicolas Arnaud, investigador del CNRS actualment promocionat a coordinador de caracterització del detector de EGO i Virgo. "S'ha aconseguit progressar molt en aquesta direcció des d'O2, gràcies a l'esforç combinat de tota la col·laboració, des dels instrumentalistes als analistes de dades".

S'espera que el resultat científic d'O3 siga revolucionari, i potencialment revelarà nous senyals emocionants procedents de noves fonts com ara la fusió de sistemes binaris formats per un forat negre i una estrella de neutrons. O3 tindrà així mateix com a objectiu les ones gravitacionals de llarga durada, produïdes per exemple per estrelles de neutrons girant de manera no simètrica respecte al seu eix de rotació. No obstant això, la detecció de tals senyals, així com les d'aquelles procedents d'explosions supernova produïdes després del col·lapse de nuclis estel·lars i altres fonts, és encara un desafiament enorme i la col·laboració LIGO-Virgo està treballant per aconseguir aquest objectiu. A més, gràcies a les actualitzacions de Virgo i LIGO, s'espera que senyals procedents de la fusió de forats negres, com ara GW150914, la primera detecció d'ones gravitacionals, siguin molt comuns, fins a una per setmana. Els científics també esperen observar potser fins a desenes de fusions d'estrelles de neutrons, com GW170817, que va obrir l'era de l'astronomia de multi-missatgers així com proporcionar revelacions en l'evolució de sistemes binaris, la física nuclear, la cosmologia i la física fonamental .

Els científics també han millorat l'anàlisi de les dades a posteriori i en temps real, i han desenvolupat encara més els procediments per al comunicat de les Alertes Públiques Obertes: notificaran en qüestió de minuts a les comunitats de física i astronomia l'observació d'un candidat potencial d'ones gravitacionals. "El nou programari que hem construït és capaç d'enviar Alertes Públiques Obertes en 5 minuts", diu Sarah Antier, investigadora postdoctoral a la Universitat Paris Diderot i responsable del programa de baixa latència de la col·laboració Virgo. "Això permetrà fer un seguiment del senyal d'ona gravitacional amb recerques electromagnètiques i de neutrins, conduït per tant a descobriments en l'astronomia de multi-missatgers. Les observacions de molts senyals, que s'espera tinguin lloc durant O3, proporcionaran un cens de la població de romanents de massa estel·lar i una millor comprensió de l'univers violent. "

Des d'agost de 2017 les dues col·laboracions, LIGO i Virgo, han actualitzat els seus observatoris i els han posat a prova. En particular, Virgo ha reemplaçat completament els cables d'acer que van ser usats en O2 per suspendre els 4 miralls principals de l'interferòmetre de 3 km de longitud: els miralls ara estan suspesos amb fibres de silici foses molt fines (en essència, vidre), un procediment que ha permès incrementar la sensibilitat a la regió de freqüències baixes i mitges, i que ha tingut un impacte dramàtic en les capacitats de detecció de fusions de sistemes binaris d'objectes compactes. Una segona important actualització va ser la instal·lació d'una font de làser més potent, que millora la sensibilitat a freqüències altes. Finalment, si bé no menys important, ara s'injecten estats de buit comprimits a Virgo Avançat, gràcies també a una col·laboració amb l'Institut Albert Einstein a Hannover, Alemanya. Aquesta tècnica aprofita la naturalesa quàntica de la llum i millora la sensibilitat a altes freqüències.

La tècnica d'injecció d'estats de buit comprimits és una actualització significativa també implementada en els dos interferòmetres LIGO als Estats Units per al proper període d'observació. A més, s'ha doblat la potència del làser amb l'objectiu de mesurar de manera més precisa l'efecte del pas d'ones gravitacionals. S'han dut a terme altres actualitzacions en els miralls de LIGO en ambdós observatoris, amb un total de 5 dels 8 miralls reemplaçats per versions amb millor rendiment.

"Havíem de trencar les fibres que sostenien als miralls, treure'ls amb molta cura i reemplaçar-los", comenta Calum Torrie, cap d'enginyeria del sistema òptic-mecànic de LIGO a Caltech. "Va ser una tasca d'enginyeria enorme."

Durant O3, la col·laboració LIGO-Virgo continuarà comunicant les noves troballes a la comunitat científica i la societat. A més, els científics seguiran extraient tots els resultats físics possibles de les dades.

La xarxa global LIGO-Virgo proporcionarà localitzacions ràpides de senyals d'ones gravitacionals i informarà sobre esdeveniments amb alta fiabilitat a través del sistema d'Alertes Públiques Obertes, amb l'objectiu de maximitzar la ciència que la comunitat científica al complet pot dur a terme amb les deteccions d'ones gravitacionals, i minimitzar l'oportunitat de perdre qualsevol contrapartida electromagnètica o de neutrins.

S'espera que el detector japonès KAGRA s'unisca a la xarxa global LIGO-Virgo en l'última part d'O3, augmentant les capacitats de detecció i apuntament de la xarxa global.

Cinc grups a Espanya estan contribuint a l'astronomia d'ones gravitacionals de LIGO-Virgo, en àrees que van des del modelatge teòric de les fonts astrofísiques fins a la millora de la sensibilitat del detector per als períodes d'observació actuals i futurs. Dos grups, a la UIB i el IGFAE-USC, formen part de la Col·laboració Científica LIGO, mentre que la Universitat de València (UV), el ICCUB i l'IFAE de Barcelona són membres de Virgo.

Després dels meravellosos descobriments que van portar els dos primers períodes d'observació, els grups LIGO-Virgo espanyols estan esperant ansiosament l'imminent període d'observació O3. Les millores significatives en la sensibilitat i els grans avançaments tecnològics aconseguits en els tres detectors per part dels equips de posada en marxa des d'O2 han estat absolutament notables. Els seus esforços prompte es veuran recompensats amb una altra esperada i important onada de nous i emocionants descobriments, que impulsarà encara més el camp emergent de l'astrofísica de multi-missatgers.

El grup de física gravitacional a la UIB seguirà un ampli programa científic per estudiar les ones gravitacionals emeses per forats negres i estrelles de neutrons. L'equip continuarà liderant les recerques de senyals d'ones contínues provinents d'estrelles de neutrons desconegudes, així com els senyals transitòries emeses després de la fusió de dues estrelles de neutrons. Els models del senyal d'ona gravitacional provinents de la fusió de forats negres són una part essencial del procés d'anàlisi de dades, i la UIB participa en el desenvolupament d'un dels dos models clau utilitzats fins ara. Després d'aproximadament

tres anys de desenvolupar una descripció millorada i més precisa de la fusió dels forats negres, el grup UIB està ansiós per provar el valor del model al fer nous descobriments. A més, un estudiant de doctorat del grup, Pep Covas, passarà els pròxims tres mesos en LIGO Hanford, i contribuirà directament a operar el detector durant aquest emocionant temps.

El grup d'Ones Gravitacionals IGFAE a la Universitat de Santiago de Compostel·la és el membre més 'jove' de la Col·laboració LIGO a Espanya. El grup té una gran experiència en els mètodes d'anàlisi per detectar senyals d'ones gravitacionals procedents de la fusió de sistemes binaris de forats negres i estrelles de neutrons, com ara els 11 esdeveniments catalogats fins al moment per la col·laboració LIGO-Virgo. IGFAE-GW està actualment treballant en l'actualització dels canals de detecció d'aquest tipus d'esdeveniments per mitjà del programari PyCBC amb l'objectiu de maximitzar l'abast de les recerques de binàries en la nova presa de dades anomenada O3. El grup està també involucrat en la deducció d'informació referent a les poblacions de fonts d'ones gravitacionals, incloent els indicis que les dotzenes de noves deteccions probables de binàries de forats negres proporcionaran sobre la formació i evolució d'aquests misteriosos sistemes binaris. Membres del grup IGFAE-GW també treballen a l'observatori de raigs còsmics Pierre Auger, sent de fet coautors juntament amb les col·laboracions LIGO i Virgo de treballs en què s'han establert els límits més restrictius a l'emissió de neutrins d'ultra-alta energia procedents de la fusió del sistema binari d'estrelles de neutrons GW170817. Aquests investigadors continuaran treballant en el seguiment multi-missatger dels esdeveniments d'O3 usant les dades recollides a l'observatori Pierre Auger.

El grup Virgo de la Universitat de València espera amb expectació la promesa d'O3 d'augmentar el nombre de deteccions de sistemes binaris d'estrelles de neutrons i, potser, les primeres observacions de sistemes encara no detectats mai, com les fusions mixtes d'un forat negre i un estel de neutrons i les explosions supernova produïdes després del col·lapse de nuclis estel·lars (aquest últim escenari bastant improbable a causa de la baixa amplitud de l'ona gravitacional i la reduïda taxa d'esdeveniments). Fonts astrofísiques d'ones gravitacionals com estrelles de neutrons i progenitors de supernoves són els focus principals del grup Virgo a València, pel que fa a la investigació relativa al modelatge de formes d'ona a través de simulacions de relativitat numèrica, estimació de paràmetres, i anàlisi de dades. A més, aquests escenaris són els candidats principals per fer el seguiment d'observacions de senyals electromagnètiques associades, un programa d'investigació en el qual el grup de la Universitat de València estarà també involucrat durant O3.

El grup Virgo de l'Institut de Ciències del Cosmos de la Universitat de Barcelona (ICCUB) ajudarà en el processament i anàlisi d'una quantitat vasta de dades de O3 d'una manera més eficient i fiable. L'experiència del grup pel que fa a la manipulació de dades massius i instrumentació i electrònica puntera, adquirida gràcies a l'exitosa participació de l'ICCUB en grans projectes de física d'altres energies (LHCb) i enormes censos astronòmics (Gaia), està sent transferida a Virgo. D'aquesta manera, els experts multidisciplinaris de l'ICCUB contribuiran a la detecció i anàlisi d'ones gravitacionals proporcionant instrumentació i programari, a més d'anàlisi de dades i els seus grans coneixements científics especialment en el camp de la cosmologia.

IFAE ha assumit responsabilitats significatives en l'experiment Virgo relacionades amb el control de la llum difusa dins de l'experiment. El grup ha jugat ja un paper important en la posada a punt l'interferòmetre, prèvia al començament d'O3. Aquesta implicació energètica en l'experiment continuarà en aspectes relacionats amb operacions i l'actualització de l'interferòmetre. Per a això, IFAE està treballant en la construcció de nous deflectors instrumentats amb fotosensors al voltant dels miralls principals en les àrees suspeses, permetent un alineament molt més eficient i un ajust precís dels paràmetres de l'interferòmetre durant les operacions; una millor descripció dinàmica dels miralls utilitzant les distribucions de llum difusa i simulacions; i la supressió del desenvolupament d'alts modes en l'interferòmetre, conduint a patrons que es poden reconèixer en la distribució de la llum en els deflectors. L'equip de IFAE ha desenvolupat un programa d'investigació complet que se centra en aspectes relacionats amb física fonamental. Això inclou proves de models exòtics de Gravetat més enllà de la Relativitat General; recerques de forats negres primordials com a candidats de matèria fosca; la determinació precisa del factor d'expansió de l'univers; i l'ús d'ones gravitacionals com a proves de la inflació i les transicions de fase en l'univers primerenc. En col·laboració amb l'equip de l'IFAE en CTA / MAGIC i Cosmologia Observacional, el grup en Virgo està en una posició privilegiada per aprofitar al màxim l'enfocament de l'astronomia de multi-missatger.

LIGO està finançat per la NSF i operat per Caltech i MIT, que van concebre LIGO i van conduir als projectes de LIGO Inicial i Avançat. El suport econòmic per al projecte LIGO Avançat va ser liderat per la NSF juntament amb Alemanya (Societat Max Planck), el Regne Unit (Consell d'Instal·lacions Científiques i Tecnològiques, Science and Technology Facilities Council en anglès) i Austràlia (Consell OzGrav australià d'Investigació, Australian Research Council-OzGrav en anglès) realitzant compromisos significatius i contribucions al projecte. Al voltant de 1300 científics de tot el món participen en l'esforç conjunt a través de la Col·laboració Científica LIGO, que inclou a la Col·laboració GEO. Una llista dels socis addicionals està disponible en <https://my.ligo.org/census.php>.

La Col·laboració Virgo està composta actualment per uns 350 científics, enginyers i tècnics d'al voltant de 70 institucions de Bèlgica, França, Alemanya, Hongria, Itàlia, els Països Baixos, Polònia i Espanya. L'Observatori Europeu Gravitacional (EGO, per les seues sigles en anglès) acull al detector Virgo prop de Pisa a Itàlia, i ha estat fundat pel Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS) a França, l'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (INFN) a Itàlia, i Nikhef als Països Baixos. Una llista dels grups en la Col·laboració Virgo pot trobar-se en <http://public.virgo-gw.eu/the-virgo-collaboration/>. Més informació està disponible a la pàgina web de Virgo: <http://www.virgo-gw.eu>.

### **Contactes de medis de comunicació d'EGO-Virgo**

INFN Press Office

Antonella Varaschin, Eleonora Cossi

+39 06 6868162

antonella.varaschin@presid.infn.it ; eleonora.cossi@presid.infn.it

CNRS Press Office  
Clémence EPITALON  
Clemence.EPITALON@cns.fr + 33 1 44 96 40 35

Nikhef Press Office  
Martijn Van Calmthout  
martijn.van.calmthout@nikhef.nl

Livia Conti  
Coordinadora de Divulgació de Virgo  
livia.conti@pd.infn.it , +39 049 8068 826

Valerio Boschi  
Coordinador de Divulgació de EGO  
valerio.boschi@ego-gw.it; +39 050 752 463

Isabel Cordero-Carrión  
Universitat de València  
Coordinadora de Divulgació del grup Virgo a València  
[isabel.cordero@uv.es](mailto:isabel.cordero@uv.es); +34 963543233

Sebastian Grinschpun  
IFAE Outreach Officer  
[sgrinschpun@ifae.es](mailto:sgrinschpun@ifae.es); +34 93 170 2723

Esther Pallarés Guimerà  
Institute of Cosmos Sciences (University of Barcelona) Communication Office  
[estpallqui@icc.ub.edu](mailto:estpallqui@icc.ub.edu); 934020146

### **Contactes de medis de comunicació de LIGO**

Kimberly Allen  
Director of Media Relations and Deputy Director  
MIT News Office  
allenkc@mit.edu; +1 617-253-2702

Whitney Clavin  
Senior Content and Media Strategist  
Caltech Communications  
wclavin@caltech.edu; +1 626-395-1856

John Toon  
Institute Research and Economic Development Communications  
Georgia Institute of Technology  
john.toon@comm.gatech.edu; +1 404-894-6986

Amanda Hallberg Greenwell  
Head, Office of Legislative and Public Affairs  
National Science Foundation  
agreenwe@nsf.gov; +1 703-292-8070

Andreu Perelló Ferrando  
Servei de Comunicació, Promoció i Imatge  
Universitat de les Illes Balears  
andreu.perello@uib.cat  
Tel. + 34 971 17 34 74 / 971 17 25 51/ 620 881 284

Ricardo Rodriguez  
Chief Operating Officer  
IGFAE, University of Santiago de Compostela  
[ricardojulio.rodriguez@usc.es](mailto:ricardojulio.rodriguez@usc.es)  
+34 881 81 40 68  
IGFAE Outreach team  
outreach@igfae.usc.es