

The background features a series of vibrant purple light trails that curve and sweep across the frame, creating a sense of motion and energy. The trails are most concentrated in the center-left, where they form a wave-like shape, and then taper off towards the right. The overall color palette is a gradient from deep blue to bright purple.

Resumen

Resumen

1. El TPCE: Ciencia y Tecnología de 2021, una conferencia en formato híbrido-virtual

La conferencia El TPCE: Ciencia y Tecnología de 2021, la sexta de la serie, se celebró del 28 de junio al 2 de julio de 2021. La conferencia estuvo dedicada a los avances científicos y tecnológicos de importancia para la Organización del Tratado de Prohibición Completa de los Ensayos Nucleares (OTPCE) y su red de vigilancia, y su objetivo principal era encontrar oportunidades y métodos que permitieran mejorar la vigilancia y la verificación de los ensayos nucleares. Esta edición fue la mayor de su historia, ya que en ella participaron más de 1.600 personas. En total se impartieron 89 ponencias orales y en la plataforma de la conferencia se cargaron los archivos de diapositivas y de video relativos a 365 pósteres. En el apéndice 2 del presente informe se ofrecen más datos estadísticos.

La conferencia se celebró en plena pandemia mundial de enfermedad por coronavirus (COVID-19). Las restricciones a los viajes y las limitaciones a la asistencia física hicieron necesario cambiar el formato habitual. La jornada inaugural fue un acto híbrido celebrado ante un público reducido, de unas 200 personas, presente en el Palacio Hofburg de Viena, Austria y un público virtual repartido por todo el mundo. Incluso en la primera jornada fueron mayoría los participantes conectados en línea, ya que muchos de los oradores y más de 1.000 asistentes participaron a distancia. Las jornadas restantes de la conferencia se celebraron únicamente en formato virtual, y el Centro Internacional de Viena (CIV) fue el centro de conexión desde el que se gestionaron las distintas sesiones de la conferencia.

Los pósteres se cargaron con antelación en la plataforma, lo que permitió su consulta por un tiempo prolongado. Los ponentes tuvieron ocasión de participar en diez mesas redondas que suscitaron un gran interés, y en algunas hubo más de 250 participantes en línea. Sin duda, los pósteres recibieron una difusión mucho mayor de lo habitual en las anteriores ediciones “normales” de la conferencia, que fueron presenciales. Aunque, ciertamente, la interacción en persona comporta algunas ventajas, las salas virtuales con transmisión de video y los chats permitieron a los participantes interactuar con los autores de los pósteres.

La plataforma virtual de la conferencia, llamada vSnT2021, funcionó con el apoyo técnico de Superevent B.V. Todos los usuarios registrados tuvieron acceso a ella tanto en navegadores como en dispositivos móviles. Durante la semana de la conferencia se registraron en la plataforma y se conectaron a ella 1.458 participantes, una cifra sin precedentes. Las sesiones se celebraron en salas virtuales de WebEx y se transmitieron en vivo en “escenarios” alojados en la plataforma vSnT2021. Esta demostró una gran fiabilidad desde el punto de vista técnico y durante la conferencia no hubo ningún problema reseñable.

Aunque, técnicamente, la organización de esta conferencia virtual fue muy distinta a la de las conferencias anteriores, el programa, en su mayor parte, siguió el mismo modelo, en vista del éxito de las ediciones precedentes. La mayor parte del tiempo se transmitieron tres escenarios en vivo de manera simultánea, y los participantes en línea pudieron pasar fácilmente de una sesión a otra. Las sesiones fueron gestionadas desde el CIV casi íntegramente por personal de la Secretaría Técnica Provisional (STP). Cada sesión contó con un pequeño equipo de apoyo técnico formado por tres o cuatro personas y un equipo de contenido compuesto por una persona que coordinaba la sesión y otra que moderaba las preguntas de los asistentes. Los panelistas de todas las mesas redondas se conectaron por Internet desde fuera del CIV.

to read the full report

En algunas mesas redondas, incluso la propia persona encargada de moderar el debate se conectó desde fuera del CIV. En esos casos, el coordinador de la STP presente en la sala de juntas del CIV se ocupó de dar el apoyo necesario para que los debates discurrieran sin interrupciones.

Se alentó encarecidamente a todos los oradores a que cargasen grabaciones de sus ponencias antes de la conferencia. Esos archivos se cargaron en la base de datos de Indico de la conferencia. En el caso de las ponencias orales, durante las sesiones, bien se proyectaron grabaciones, bien se realizaron intervenciones en vivo. La transición entre el contenido en vivo y el contenido grabado fue gestionada por los equipos de la STP responsables de WebEx y se realizó de manera fluida y sin apenas problemas técnicos. Las sesiones quedaron grabadas en video y a disposición del público en YouTube. En el apéndice 1 del informe se incluye el programa de la conferencia, el cual contiene los enlaces a los videos de las distintas sesiones alojados en YouTube.

Los archivos de las ponencias orales y las exposiciones de pósteres que se cargan en la plataforma son un recurso inestimable. En este informe, los resúmenes de las distintas charlas, mesas redondas y exposiciones contienen hipervínculos que llevan a los archivos cargados correspondientes. Sobre todo en el caso de las exposiciones de pósteres, esta es una forma excepcional de conservar los conocimientos que no se ofreció en las anteriores conferencias presenciales. Este elemento del formato de conferencia virtual tiene una gran importancia para la conservación del material presentado, y por ello se recomienda firmemente que se mantenga en las ediciones futuras, sea cual sea su formato.

El porcentaje de las ponencias impartidas realmente, con relación al número de resúmenes recibidos y aceptados, fue de aproximadamente el 80 %, que es superior al de las ediciones anteriores. En cuanto a los pósteres, solo se consideraron

presentados y se han incluido en este informe aquellos cuyos autores cargaron los archivos correspondientes. El grado de cumplimiento fue notable, máxime si se tiene en cuenta que el formato de la conferencia no se anunció hasta febrero, varios meses después de que venciera el plazo para enviar los resúmenes.

Aunque se tienen grandes esperanzas de que las futuras ediciones de El TPCE: Ciencia y Tecnología puedan celebrarse presencialmente, el formato de conferencia virtual presenta varios elementos importantes que son beneficiosos y que merece la pena conservar. La posibilidad de asistir a la conferencia y presentar ponencias y pósteres en línea permite que participen también quienes no puedan desplazarse para asistir en persona. De ese modo, aumentan las oportunidades de que en la conferencia se realicen ponencias y exposiciones excepcionales. La carga por anticipado de los pósteres y demás archivos relativos a las mesas redondas permitieron que esos trabajos pudieran ser consultados durante mucho más tiempo y por muchas más personas. Además, mejoró el nivel de la documentación relacionada con las ponencias y exposiciones, gracias a que se cargaron los pósteres, archivos de diapositivas y grabaciones de las charlas y debates. Esos elementos deberían mantenerse en las ediciones futuras de la conferencia.

2. Jornada inaugural, ponencias a cargo de oradores invitados, charlas destacadas y mesas redondas

Buena parte del contenido de las conferencias El TPCE: Ciencia y Tecnología se ha basado en los resúmenes recibidos. Sin embargo, la columna vertebral de la edición de 2021 fueron las ponencias a cargo de oradores invitados y las mesas redondas, que son un mecanismo importante para examinar cuestiones relevantes para la OTPCE, incluidas algunas que reciben menos atención en los resúmenes recibidos. En la edición de 2021

to read the full report

hubo dos temas especiales principales: el 25º aniversario de la apertura a la firma del Tratado, que brindó la oportunidad de examinar los avances científicos y tecnológicos y de pronosticar nuevos adelantos, y la pandemia de COVID-19, que ha supuesto una prueba de resiliencia para el sistema de vigilancia.

El 25º aniversario del Tratado fue el tema de varios debates en la jornada inaugural y de varias mesas redondas y ponencias a cargo de oradores invitados. En el capítulo 2 del presente informe se reseñan los debates de la jornada inaugural. Se reproduce íntegramente el mensaje inaugural del Sr. Lassina Zerbo, Secretario Ejecutivo, en la sesión 1, y seguidamente se informa sobre la ceremonia inaugural, los discursos políticos y el coloquio “25 años de TPCE: evolución del TPCE, la Organización y sus tecnologías y la función modélica del TPCE en cuanto a la inclusión y la cooperación científica”. La sesión 2 de la jornada inaugural comenzó con un discurso principal a cargo de Dimitri Kusnezov, titulado “La inteligencia artificial: qué, cómo y por qué podría transformar nuestros cometidos”, tras el cual tuvieron lugar la mesa redonda titulada “La ciencia y la tecnología espaciales al servicio del desarrollo sostenible, la paz y la seguridad en el mundo” y el coloquio de la Unión Europea y la OTPCE titulado “Hacia un mundo libre de ensayos nucleares para la juventud y las próximas generaciones”. En el capítulo 2 también se examina la participación de la juventud, tema que recibió especial atención a lo largo de la conferencia.

En el capítulo 3 se resumen las ponencias impartidas por oradores invitados sobre el 25º aniversario del Tratado. Esas ponencias son un recurso de gran valor, pues ofrecen amplias perspectivas sobre el desarrollo de la red de vigilancia a lo largo de los últimos 25 años, debates sobre los retos actuales y recomendaciones para el futuro. A continuación se detallan las ponencias de los oradores invitados:

- [I01-722](#) – “Retos y logros de la vigilancia de explosiones nucleares de ensayo en el contexto del TPCE”, a cargo de Paul G. Richards
- [I02-718](#) – “La red hidroacústica del TPCE 25 años después”, a cargo de Martin Lawrence
- [I03-714](#) – “25 años de vigilancia infrasónica: logros y nuevos retos”, a cargo de Elisabeth Blanc
- [I04-717](#) – “La red de vigilancia de radionúclidos del SIV: una maquinaria única aún desaprovechada”, a cargo de Anders Ringbom
- [Is6-454](#) – “Perspectivas del aprendizaje automático para el procesamiento automático de los datos sismológicos, hidroacústicos e infrasónicos”, a cargo de Christos Saragiotis
- [Is1-353](#) – “Nuevas aplicaciones en el CID para el análisis técnico de los datos sismológicos, hidroacústicos e infrasónicos por expertos”, a cargo de Ivan Kitov
- [P3.5-507](#) – “¿Es posible seguir mejorando los métodos de análisis de espectros utilizados en el CID para las mediciones de radionúclidos con arreglo al TPCE tras 25 años de desarrollo progresivo?”, a cargo de Boxue Liu
- [Is2-283](#) – “Avances en el procesamiento de las señales hidroacústicas en el CID durante los últimos 20 años y planes de futuro”, a cargo de Ronan Le Bras
- [Is3-381](#) – “El sistema de procesamiento de datos infrasónicos en el CID: de lo rudimentario a la madurez”, a cargo de Pierrick Mialle
- [Is4-332](#) – “Avances en la modelización del transporte atmosférico en la STP de la OTPCE durante los últimos 20 años y planes de futuro”, a cargo de Jolanta Kusmierczyk-Michulec

to read the full report

- [Is7-604](#) – “Examen y perspectiva de futuro de los métodos de examen de radionúclidos para diferenciar entre las señales de explosiones nucleares y la radiactividad de fondo normal en la atmósfera”, a cargo de Theodore Bowyer
- [I05-727](#) – “Estado de los preparativos para apoyar las inspecciones in situ”, a cargo de Peter Labak
- [Is5-239](#) – “Elaboración del primer proyecto de lista exhaustiva de equipo para su utilización durante las inspecciones in situ”, a cargo de Gregor Malich

Además, se impartieron tres charlas destacadas sobre los subtemas siguientes: “La corteza terrestre y su estructura”, “Los océanos y sus propiedades” y “La atmósfera y sus dinámicas”. En el capítulo 4 se resumen las charlas siguientes:

- [H1-720](#) – “Obtención de imágenes de las capas profundas de la Tierra mediante ondas sísmicas”, a cargo de Barbara Romanowicz
- [H2-716](#) – “Mejora de la vigilancia oceánica mediante la ampliación de la Red Sismográfica Mundial”, a cargo de John Orcutt
- [H3-715](#) – “La predictibilidad de la evolución del sistema de la Tierra y de la atmósfera: perspectiva histórica y retos futuros respecto de la meteorología, el clima y la calidad del aire”, a cargo de Guy Brasseur

El capítulo 5 está dedicado a las mesas redondas técnicas celebradas con ocasión del 25º aniversario del Tratado. En ellas se examinaron los retos que tenía ante sí el sistema de vigilancia y diversas maneras innovadoras de hacer frente a esos retos. Estas fueron las siete mesas redondas técnicas:

- [J03](#) – “Lecciones aprendidas de las explosiones nucleares de ensayo a lo largo de la historia y utilidad

de las señales grabadas para la ciencia en la que se sustenta la vigilancia”

- [J04](#) – “Innovaciones que repercuten en el TPCE: el Sistema Internacional de Vigilancia (sensores del SIV)”
- [J05](#) – “Innovaciones que repercuten en el TPCE: el análisis de datos en el CID (necesidades, ideas y vías de aplicación)”
- [J06](#) – “Aplicaciones civiles y científicas: perspectivas”
- [J07](#) – “Datos regionales para la vigilancia del cumplimiento del Tratado”
- [J08](#) – “Los humanos frente a las máquinas”
- [J09](#) – “Sinergia entre los sistemas de vigilancia para mitigar los riesgos y hacer frente a los retos mundiales”

Algunas de las mesas redondas técnicas estuvieron precedidas de charlas introductorias. La mesa redonda [J06](#) estuvo precedida de las charlas [I06-721](#), titulada “Aplicaciones civiles y científicas de los datos del SIV”, a cargo de Zeinabou Mindaoudou Souley, e [I06-719](#), titulada “El desarrollo sostenible, la reducción del riesgo de desastres y el régimen de verificación de la OTPCE”, a cargo de Öcal Necmioğlu. La mesa redonda [J08](#) estuvo precedida de la charla introductoria [I08-723](#), titulada “El conocimiento frente a los datos”, a cargo de Stuart Russell. La charla [I07-529](#), titulada “El uso de los datos infrasónicos para la notificación temprana de los Centros de Avisos de Cenizas Volcánicas”, a cargo de Philippe Hereil, y la charla [I09-742](#), titulada “Bienvenidos al riesgo; pero, ¿lo conocemos bien?”, a cargo de Loretta Hieber-Girardet, sirvieron como introducción a la mesa redonda [J09](#).

Además, en el capítulo 5 se resumen dos charlas especiales sobre “El Antropoceno” que se impartieron en memoria del científico Paul Crutzen (1933–2021): [I10-749](#), “Las múltiples razones del Antropoceno: la contribución de Paul Crutzen para

to read the full report

salvar los límites planetarios”, a cargo de Hartmut Grassl, e [110-752](#), “La precipitación de radionúclidos artificiales: un indicador del comienzo del Antropoceno”, a cargo de Colin Waters. Asimismo, en el capítulo 5 se incluyen resúmenes de la mesa redonda [J11](#), “Cómo deben los científicos comunicar la incertidumbre a las autoridades políticas y al público”, y una [sesión](#) dedicada a los centros nacionales de datos.

3. Ponencias orales y exposiciones de pósteres

Excepto en la jornada inaugural, todas las intervenciones en la edición de 2021 de la conferencia El TPCE: Ciencia y Tecnología se realizaron en línea, bien como ponencias orales, bien como exposiciones de pósteres. Los resúmenes relativos a esas ponencias y exposiciones se recibieron entre octubre de 2020 y enero de 2021, y poco antes de la conferencia se distribuyó en formato de libro electrónico un compendio de los resúmenes de esta edición. El porcentaje de las ponencias y exposiciones que tuvieron lugar finalmente en la conferencia fue elevado con relación al número de resúmenes que se habían aceptado (alrededor del 80 %). Las ponencias orales se impartieron bien en vivo por Internet, bien mediante grabaciones realizadas previamente. En cuanto a las exposiciones de pósteres, se cargaron anticipadamente breves grabaciones de video y archivos de diapositivas y, además, los autores que lo quisieron, participaron en una de las diez mesas redondas dedicadas a los pósteres.

Las ponencias orales y las exposiciones de pósteres se agruparon según los cinco temas establecidos para esta edición:

Tema 1: La Tierra como sistema complejo

- T1.1 La atmósfera y sus dinámicas
- T1.2 La corteza terrestre y su estructura
- T1.3 Los océanos y sus propiedades

Tema 2: Los eventos y los polígonos de ensayos nucleares

- T2.1 Caracterización de eventos pertinentes para el Tratado
- T2.2 Los retos de las inspecciones in situ
- T2.3 Las fuentes sismoacústicas: teoría y práctica
- T2.4 Los radionúclidos de fondo en la atmósfera y en el subsuelo y su dispersión
- T2.5 Datos históricos sobre la vigilancia de ensayos nucleares

Tema 3: Aplicación de las tecnologías y técnicas de verificación

- T3.1 Diseño de sistemas de sensores y tecnologías de sensores avanzados
- T3.2 Laboratorios, incluido el equipo móvil y sobre el terreno
- T3.3 Plataformas de teleobservación, obtención de imágenes y adquisición de datos
- T3.5 Algoritmos de análisis de datos
- T3.6 Inteligencia artificial y aprendizaje automático

Tema 4: Evaluación y optimización del rendimiento

- T4.1 Evaluación y vigilancia del rendimiento del sistema de verificación al completo, incluidos sus componentes
- T4.3 Tecnología de la información, sistemas de suministro de energía y otras tecnologías instrumentales
- T4.4 Sostenibilidad de redes
- T4.5 Resiliencia del régimen de vigilancia del cumplimiento del TPCE, incluidas las lecciones aprendidas de la pandemia de COVID-19

Tema 5: El TPCE en un contexto mundial

- T5.1 La ciencia en los debates en torno a políticas y lecciones aprendidas de otros acuerdos y arreglos en materia de control de armamentos
- T5.2 Experiencia en cuestiones de interés mundial, como la mitigación del riesgo de desastres, los estudios del cambio climático y los Objetivos de Desarrollo Sostenible, y posibles contribuciones adicionales a esas cuestiones

to read the full report

T5.3 Fomento de la capacidad, educación, comunicación y sensibilización del público

El capítulo 6, dedicado a las ponencias orales y las exposiciones de pósteres, es la sección más extensa del informe, pues representa aproximadamente dos tercios de su contenido. Está organizado con arreglo a los temas de la conferencia. Debajo de cada tema se destacan algunos contenidos de las ponencias y exposiciones de pósteres y, seguidamente, se incluyen los resúmenes de todas ellas. En cada sección de contenidos destacados, todas las referencias a ponencias o pósteres tienen hipervínculos al resumen correspondiente y a la base de datos de Indico de la plataforma SnT2021. Como se indicó anteriormente, en el presente informe solo se hace referencia a las ponencias y exposiciones de pósteres cuyos archivos se cargaron en Indico.

El subtema 4.5, relativo a la resiliencia del régimen de vigilancia del TPCE, incluidas las lecciones aprendidas de la pandemia de COVID-19, fue uno de los temas especiales de la edición de 2021. La pandemia mundial que se desató a principios de 2020 repercutió muy negativamente en numerosos sistemas, y el régimen de vigilancia del TPCE no fue la excepción. Al mismo tiempo, la crisis se convirtió en una prueba de resiliencia notable y útil en lo que se refiere al funcionamiento de todos los sistemas bajo una presión considerable, sobre todo a causa de los confinamientos y de las restricciones a los viajes. Esa cuestión se examinó en las ponencias orales y exposiciones de pósteres agrupadas bajo el subtema 4.5, así como en una mesa redonda organizada a tal efecto ([J02](#)) y en dos actos especiales ([M1](#), [M2](#)). En esas intervenciones se expusieron las reflexiones de diferentes estaciones, CND y la STP. Los operadores de estaciones han tenido que bregar con problemas logísticos, demoras en los envíos de repuestos, graves limitaciones a los viajes, dificultades para enviar muestras de radionúclidos con fines de control y garantía de la calidad, retrasos en las calibraciones programadas de las

estaciones e inestabilidad de los enlaces de comunicaciones. La comunicación, la disponibilidad y la flexibilidad constantes para proporcionar apoyo a los operadores fueron determinantes para gestionar la red.

4. Contenidos pertinentes para las actividades de la OTPCE y para la ciencia relacionada con la verificación

En el capítulo 7 se resumen algunos contenidos destacados de la conferencia, haciendo hincapié en los que podrían ser pertinentes para las actividades futuras de la OTPCE y para la ciencia en la que se sustenta la verificación. A diferencia de los capítulos anteriores, en ese capítulo se reúnen diversas cuestiones planteadas en relación con distintos temas y subtemas y en distintas ponencias a cargo de oradores invitados y mesas redondas. El capítulo está organizado por materias y estructurado de la manera siguiente:

1. Sensores y mediciones
 - Tecnologías de radionúclidos
 - Sensores sismológicos
 - Infrasonidos
 - Tecnologías hidroacústicas
 - Calibración
2. Sistemas de suministro de energía, manejo de datos y sistemas de comunicación
3. Mantenimiento
4. Evaluación y optimización del rendimiento
5. Resiliencia del régimen de vigilancia del TPCE: la pandemia de COVID-19
6. Propagación de señales
7. Modelización del transporte atmosférico

to read the full report

8. Radionúclidos de fondo
9. Procesamiento de señales de radionúclidos
10. Procesamiento de señales de datos sismológicos, hidroacústicos e infrasónicos
11. Datos y eventos históricos, características físicas de eventos y métodos de examen de eventos
 - Datos de eventos históricos
 - Ensayos nucleares anunciados por la República Popular Democrática de Corea
 - Características físicas y modelización de fuentes
 - Métodos de examen de eventos y determinación de sus parámetros
 - La explosión en el puerto de Beirut (Líbano) (4 de agosto de 2020)
 - Boletines y catálogos de eventos
12. Inspección in situ
13. Aplicaciones civiles y científicas

A continuación se incluyen algunos fragmentos del capítulo 7 a modo de muestra del extenso material que se presentó durante la conferencia El TPCE: Ciencia y Tecnología de 2021. Muchas contribuciones importantes no se han incluido en el presente resumen por limitaciones de espacio. Se recomienda vivamente consultar la versión íntegra del informe para aprovechar plenamente ese importante compendio de ponencias y exposiciones.

Sensores y mediciones

Es indispensable que la STP se mantenga al día de los adelantos más recientes en relación con todos los tipos de sensores para que pueda continuar su alto nivel de rendimiento, garantizar la sostenibilidad de la red y proteger y mejorar la capacidad de

verificación del cumplimiento del Tratado. La mesa redonda [J04](#) trató sobre los sensores de nueva generación que ya podrían estar disponibles, y también sobre actividades innovadoras encaminadas a lograr nuevos adelantos. Entre los temas examinados cabe mencionar las redes de sensores infrasónicos, los sensores sismológicos de rotación y dirección combinados, las estaciones hidroacústicas de hidrófonos de diseño modular, los cables y sensores subacuáticos para la vigilancia científica y las telecomunicaciones fiables (SMART), los hidrófonos y sismómetros de fibra óptica y varios conceptos mejorados para las estaciones de radionúclidos y los sistemas de gases nobles de nueva generación. También se habló de los sensores en el subtema específico 3.1, así como en ponencias agrupadas bajo otros subtemas.

Tecnologías de radionúclidos

Actualmente, la mayoría de los sensores nuevos están dedicados a los radionúclidos. Varios sistemas de nueva generación para medir el xenón que poseen mayor capacidad de detección podrán implantarse próximamente y ya están sometidos a calibración, validación y ensayos de aceptación (p. ej. MIKS y Xenon International). Dos sistemas han superado satisfactoriamente el proceso de aceptación (SAUNA III y SPALAX NG). El primer sistema SAUNA III se puso en funcionamiento en septiembre de 2021, poco después de que se celebrara la conferencia. En las ponencias [02.4-510](#), [P3.1-512](#) y [P3.2-518](#) de esta edición se mostraron los trabajos relativos al SPALAX NG y los futuros avances en los sistemas de detección de gases nobles. En [P3.1-434](#) se informó sobre los resultados de los ensayos relativos al sistema modernizado de detección del prototipo del complejo MIKS, y en [P3.1-616](#) y [02.4-138](#) se informó sobre la primera fase de los ensayos de aceptación de Xenon International. En la ponencia [104-717](#), a cargo de un orador invitado, se planteó que, si la red se considerase como un sistema único de medición, se abriría la posibilidad de introducir muchas mejoras en cuanto a las mediciones y al análisis de datos. En [P3.1-375](#) se presentaron

to read the full report

los resultados obtenidos en los ensayos del primer complejo del mundo dedicado al radioxenón. El complejo consta de cinco unidades SAUNA CUBE, situadas a una distancia de entre 200 y 500 km entre sí.

La tecnología que se utiliza para captar las partículas radiactivas está afianzada y es fiable, pero para aumentar en gran medida el volumen de aire se precisa un cambio tecnológico. En [P3.1-669](#) se analizó la integración de un precipitador electrostático en RASA 2.0 para captar partículas de radionúclidos. En [P3.1-299](#) se examinó la integración en Cinderella G2 de un muestreador de aire automático de nueva generación. En [O3.1-316](#) y [P3.1-670](#) se describieron los trabajos relativos a algunos materiales que podrían mejorar la adsorción de xenón, por ejemplo, zeolitas con intercambio de metales que son interesantes para mejorar el rendimiento en lo que a captación y purificación se refiere.

En [P3.1-303](#) se informó sobre los ensayos realizados con un sistema detector de coincidencias a fin de medir muestras de partículas en la estación de ensayo de la OTPCE, en Viena. En [P3.1-309](#) se mostró un novedoso detector de telururo de cadmio y zinc. La tecnología de nueva generación para la medición de coincidencias gamma-gamma podría mejorar notablemente la confianza en la detección de partículas de radionúclidos de interés para la vigilancia de explosiones nucleares. En [P3.1-312](#) y [P3.1-187](#) se describió la labor de desarrollo de prototipos y los experimentos pertinentes. En [O3.2-482](#) se comparó el rendimiento de distintos sistemas de detección de xenón de resolución alta y baja en cuanto a la detección de la radiación beta-gamma. En [P3.1-216](#) se describió el desarrollo de una celda beta de silicio que podría llevar a la sustitución de un módulo en el sistema de nueva generación de Xenon International.

Sensores sismológicos

Solo unas pocas exposiciones se dedicaron a los avances en los sensores sismológicos terrestres. En [P3.1-180](#) se habló de los sensores de rotación para sismometría, concretamente, de los aspectos metrológicos de esa esfera en desarrollo. En [P3.1-666](#) se describió un giroscopio de fibra óptica que sirve para medir movimientos rotatorios del terreno. En [P2.1-162](#) se propuso utilizar unos sensores de rotación portátiles específicos para aplicaciones sismológicas con objeto de aumentar la resolución del tensor isotrópico de momento sísmico mediante el análisis de los movimientos rotatorios del terreno. En la sismometría de precisión en períodos largos, una de las causas principales del "ruido" es la fluctuación térmica de los elementos mecánicos de los dispositivos y sensores. Con el fin de reducir ese ruido, en [P3.1-393](#) se propuso utilizar unos sensores térmicos de precisión de tamaño reducido.

Sensores infrasónicos

En los últimos años se ha desarrollado un número cada vez mayor de sensores infrasónicos de bajo costo. En [P3.1-221](#) se informó de la labor de seguimiento del desarrollo de esos sensores que se ha efectuado en la STP para hallar nuevas oportunidades para el sistema de vigilancia del futuro. En [P3.1-618](#) se informó de la ampliación de la red infrasónica mediante microbarógrafos digitales con condensador de bajo costo. Al aumentar el número de sensores en los complejos infrasónicos se incrementa su poder de resolución, lo que facilita la detección de señales leves y la diferenciación entre múltiples ondas simultáneas procedentes de distintas direcciones. [P3.1-665](#) demostró que es posible mejorar drásticamente el grado de detalle y el poder de resolución de los análisis de los complejos si se aumenta el número de sensores que los conforman. En [P3.1-520](#) se presentó un sistema de reducción del ruido eólico que cumplía todos los requisitos y las restricciones topológicas de las estaciones infrasónicas de la red del SIV.

to read the full report

Tecnologías hidroacústicas

En [P4.4-276](#) se resumieron los proyectos en curso de sostenimiento del SIV mediante soluciones para restablecer los tramos dañados, estudios de mitigación de riesgos y medidas de protección de los sensores hidrofónicos. En [P1.3-270](#) se expuso el desarrollo de un nuevo concepto de diseño modular para las estaciones hidrofónicas de nueva generación que permitirá sustituir componentes averiados sobre el terreno.

En la mesa redonda [J04](#) se resaltaron las grandes posibilidades que ofrecen las tecnologías de fibra óptica, entre ellas, los inclinómetros ópticos de pozo somero, los extensómetros de fibra óptica y la detección acústica distribuida (DAS). En los últimos diez años se han desarrollado métodos en los que se utilizan técnicas de láser con los cables de telecomunicaciones actuales para medir señales sísmicas, acústicas y térmicas con una sensibilidad sorprendente; en algunos casos, con una resolución espacial inferior a un metro y, en otros casos, con cables de más de 100 km de longitud. En [O3.1-384](#) se examinó la posibilidad de integrar sensores de fibra óptica distribuidos en los sistemas hidroacústicos del SIV. En [O1.3-705](#) se informó de las novedades en los cables subacuáticos SMART para vigilar los océanos y la tierra a escala planetaria. En [P3.1-293](#) se compararon las observaciones efectuadas mediante DAS utilizando un cable submarino de fibra óptica y los datos obtenidos con hidrófonos colocalizados.

Calibración

El tema de la calibración es común a todas las tecnologías. Reviste especial importancia en un sistema de vigilancia mundial en el que se reúnen y conjugan los datos remitidos por sensores muy diseminados para inferir información sobre eventos. En la mesa redonda [J04](#) se trataron varios aspectos de la calibración y se señaló la importancia de cuestiones como la trazabilidad mediante una jerarquía nacional de calibración, el aseguramiento de la calidad y la vigilancia

mediante mediciones comparativas. Se formuló la propuesta de avanzar en cuanto a la trazabilidad de los sensores del SIV mediante la aplicación del Sistema Internacional de Unidades y las normas reconocidas a nivel internacional. En [O4.1-213](#) se expusieron los trabajos de la comunidad dedicada a la metrología para mejorar las normas de medición en las que se sustenta la calidad de los datos en las actividades de vigilancia del TPCE. Con ello se pretende fomentar el contacto con diversas partes interesadas pertinentes con miras a establecer normas metrológicas primarias. El proyecto referido también se ocupará de los requisitos para disponer de sensores de referencia que establezcan un nexo entre las capacidades de calibración en el laboratorio y las necesidades sobre el terreno a fin de garantizar la trazabilidad de las mediciones.

En [P3.1-243](#) se presentó una aplicación web creada en la STP para la calibración de los sistemas geofísicos que podía aplicarse a todas las tecnologías de forma de onda del SIV. En [O3.1-467](#) se presentó un sistema con calibrador externo que pronto estará listo para su uso. El dispositivo integrado, que consta de un sensor infrasónico y un calibrador externo, funciona como un sensor con autocalibración. En [P4.1-336](#) se describió un sistema que generaba información exhaustiva sobre la red que servía como referencia para las actividades de aseguramiento de la calidad que tenían lugar en etapas posteriores. En [P1.2-631](#) se mostró la manera de calcular la incidencia de intervalos sospechosos en los instrumentos. En [P3.5-250](#) se examinaron herramientas con las que realizar comprobaciones automáticas de la calidad de los archivos de calibración en relación con las estaciones de partículas de radionúclidos. En [P3.5-234](#) se examinaron las mediciones de control de la calidad que se efectuaban para vigilar y corregir las desviaciones por exceso de los detectores nucleares de radioxenón usando una fuente de ^{137}Cs . En [P3.5-280](#) se describió un método para vigilar las variaciones por exceso de los sensores de radiación beta-gamma asociada al radioxenón. Aunque se pueden utilizar varias líneas de rayos gamma, el detector de radiación beta no

to read the full report

genera picos claros. Si se utilizan las estadísticas de recuento derivadas de la línea de la dispersión de Compton se obtienen resultados fiables. [P3.1-485](#) demostró la capacidad de producir radionúclidos en estado gaseoso con fines de calibración y aseguramiento de la calidad. En [P4.1-196](#) se explicó cómo rastrear las desviaciones por exceso de los sensores de radiación gamma. En [P1.3-284](#) se describió un método con el que estimar mejor la localización relativa de los hidrófonos del SIV. Ese trabajo demuestra que, para determinar la localización exacta de un evento mediante la estimación del azimut inverso, es indispensable conocer la posición exacta de despliegue de cada hidrófono de un triplete de una estación hidrofónica del SIV. [O3.1-579](#) trató sobre los ensayos de un sistema innovador para calibrar los sensores infrasónicos.

Sistemas de suministro de energía, manejo de datos y sistemas de comunicación

En cumplimiento del mandato de sostener una elevada disponibilidad de datos en toda la red del SIV, se han diseñado sistemas de suministro de energía de nueva generación para aumentar la resiliencia de las estaciones del SIV frente a fallos catastróficos. En la ponencia [O4.3-266](#) se describieron cinco prototipos normalizados de sistemas de suministro de energía para el SIV que se desarrollaron, homologaron y sometieron a concienzudos ensayos de aceptación en fábrica. Los nuevos sistemas se están sometiendo a ensayos prolongados en condiciones sobre el terreno. En [O4.3-514](#) se presentó un sistema modular de suministro de energía adaptado a la red del SIV. Todos esos sistemas de suministro de energía cuentan con un sistema informático propio que muestra el estado de funcionamiento y permite una vigilancia continua. En [P4.3-329](#) se describió una solución para el suministro continuo de energía a una estación sismológica. En [P4.3-653](#) se presentó un modelo para incorporar un sistema más resistente de suministro de energía para las estaciones del SIV.

La computación en la nube ha aumentado de manera notable en los últimos años. El uso del conjunto de aplicaciones “Los CND en un estuche” en las plataformas en la nube podría ampliar las capacidades de los CND y aumentar el uso que estos hacen de los datos del SIV al aprovechar los recursos que ofrece la nube para efectuar análisis y extracciones de datos, lo que a su vez reduce los problemas locales relacionados con la infraestructura y el ancho de banda ([O4.3-167](#)).

En [P4.3-334](#) se describió un nuevo configurador creado para la interfaz estándar de las estaciones (SSI). Seguir buenas prácticas de gestión de las bases de datos es importante para garantizar que los productos se generen en tiempo real y que los datos estén protegidos y disponibles en la base de datos principal, en los servidores y en las copias de seguridad, lo que a su vez evita tráfico innecesario que sobrecarga la red ([P4.3-066](#), [P4.3-140](#)). En [P4.3-570](#) se describió en líneas generales cómo utilizar la información obtenida de un sistema de gestión de red para analizar interrupciones de la transmisión de datos a fin de determinar la causa fundamental y las mejoras necesarias en la infraestructura. En [P4.3-558](#) se examinaron las dificultades que entraña el uso de enlaces por radiofrecuencia para las comunicaciones internas en las estaciones de tecnologías de forma de onda del SIV.

En [P4.3-414](#) se informó sobre los principales cambios introducidos en el diseño del Sistema de Comunicación de Expertos (SCE). El SCE es una aplicación segura mediante la que los usuarios registrados de los Estados signatarios y la STP pueden acceder, a través de Internet, a la documentación oficial de la OTPCE y a otros tipos de material. En [P4.3-445](#) se describió un proyecto destinado a crear un nuevo dominio de correo electrónico para los datos de verificación en una infraestructura aparte. Para los sistemas de verificación se escogió el dominio @ctbto.int.

to read the full report

Mantenimiento

Pese a la COVID-19, en 2020-2021 la disponibilidad de datos en el conjunto de las tecnologías fue, en promedio, muy elevada. Entre los retos para el futuro cabe mencionar el envejecimiento de la red del SIV, la necesidad de seguir ampliando y completando la red de estaciones homologadas con un presupuesto constante para mantenimiento y la imposibilidad de aumentar la plantilla. La División de Mantenimiento del SIV aplicó varios métodos para mejorar la disponibilidad de datos ([O4.4-528](#)). Entre ellos cabe mencionar la normalización del equipo, las mejoras de la infraestructura, una mejor gestión de los repuestos, una mejor capacitación técnica con un enfoque práctico, la mejora de la documentación y la implantación de procedimientos de envío seguro de detectores de germanio hiperpuro.

El sostenimiento de la red hidroacústica de hidrófonos del SIV comporta una gran dificultad. En [P4.4-276](#) se resumieron los proyectos en curso de sostenimiento del SIV mediante soluciones para restablecer los tramos dañados, estudios de mitigación de riesgos y medidas de protección. Se describieron varias soluciones innovadoras de diseño modular para facilitar la reparación de los componentes subacuáticos y aumentar la resiliencia, así como varias medidas de protección de los aparatos electrónicos instalados en tierra.

Continúan los trabajos relacionados con el mantenimiento predictivo y la capacidad de vigilancia del estado de funcionamiento ([P4.4-152](#), [O4.4-209](#), [P4.4-382](#)), cuyo objetivo es detectar fallos en componentes y diseñar técnicas de mantenimiento preventivo para las estaciones del SIV. Hay trabajos en curso dedicados a desarrollar modelos con los que entender los datos y las tendencias en relación con el estado de funcionamiento, así como algoritmos para integrar la vigilancia predictiva en el análisis de los datos sobre el estado de funcionamiento. En [O4.4-135](#) y [P4.4-134](#) se informó sobre el funcionamiento de una estación sismológica temporal

del SIV durante la modernización de gran envergadura de un complejo sismográfico. El complejo temporal resultó ser una inversión valiosa, ya que tuvo un costo razonable y permitió que la vigilancia sísmica se viera mínimamente afectada durante la modernización.

Evaluación y optimización del rendimiento

La operación y el sostenimiento de una red mundial de sistemas de vigilancia plantea retos nada desdeñables. La adquisición y el envío casi en tiempo real de datos continuos y segmentados y, seguidamente, su procesamiento y análisis deben cumplir y sostener unos requisitos estrictos para garantizar la disponibilidad operacional de los datos, su calidad y su puntualidad. El rendimiento depende de manera decisiva de tecnologías instrumentales, como la tecnología de la información y los sistemas de suministro de energía. En la evaluación y optimización del rendimiento del sistema de verificación del TPCE entran en juego factores como las mejoras de su eficiencia y su eficacia en función de los costos, su fiabilidad y su seguridad. Las ponencias agrupadas bajo el subtema 4.1 se centraron en la evaluación y la modelización del rendimiento, pero esa cuestión también se trató en otras sesiones, mesas redondas y ponencias a cargo de oradores invitados. La pandemia de COVID-19 trajo consigo retos sin precedentes para el sistema de vigilancia. Pese a la pandemia mundial, en 2020-2021 la disponibilidad de datos en el conjunto de las tecnologías fue, en promedio, muy elevada.

En la mesa redonda [J04](#) y la ponencia [I04-717](#), los oradores se refirieron a las ventajas que ofrecen los complejos y el aumento del número de sensores. Con respecto a los sensores infrasónicos, en la mesa redonda se afirmó que el desarrollo de sensores de bajo costo y bajo consumo energético podía facilitar la instalación de complejos en sustitución de los sensores únicos. También se recomendó incrementar el uso de las estaciones auxiliares. En la ponencia, el orador invitado

to read the full report

indicó que, debido al corto período de semidesintegración de los isótopos pertinentes, era necesario aumentar la cobertura de la red en cuanto a su capacidad de detección de xenón. En la mesa redonda [J04](#) se sugirió que, cuando el Tratado entrase en vigor, la Conferencia de los Estados Partes podría estudiar la posibilidad de aumentar de 40 a 80 el número de sistemas de gases nobles, lo cual mejoraría enormemente la capacidad de verificación del cumplimiento del Tratado.

En [P4.1-324](#) se presentó el estado del proyecto de reestructuración del procesamiento de los datos sismológicos, hidroacústicos e infrasónicos en el CID. El objetivo del proyecto es crear un software de código abierto más moderno para el procesamiento de dichos datos y, al mismo tiempo, mejorar las posibilidades de mantenimiento y ampliación del sistema. En [P4.1-113](#) se destacó la necesidad de actualizar la guía para los usuarios sobre el procesamiento de los datos sismológicos, hidroacústicos e infrasónicos en el CID, que se había redactado en 2002. En [O4.1-624](#) se presentó un método innovador para computar las características de las fuentes de los eventos infrasónicos. Los eventos se localizaban combinando la inferencia bayesiana habitual y el muestreo a lo largo de un metamodelo. En [O4.1-519](#) se presentó un método estocástico totalmente automático para calcular la distribución óptima de las estaciones que conforman una red sismológica permanente o temporal. En [P4.1-339](#) se utilizaron los datos sobre explosiones relativamente pequeñas para evaluar la exactitud de la localización y la magnitud estimada de los eventos registrados por la red del SIV. En [O4.1-121](#) se presentó el Simulador para Capacitación sobre Campos de Radiación (RaFTS), que era una metodología innovadora de inyección de señales. [P3.1-115](#) se centró en un proyecto de modernización de gran envergadura llevado a cabo en un complejo infrasónico ubicado en un lugar remoto en el que las condiciones climáticas son rigurosas.

Los Ejercicios sobre el Grado de Preparación de los CND ofrecen a esos centros una gran oportunidad de investigar un escenario

dado para detectar explosiones nucleares en consonancia con el marco de vigilancia previsto en el TPCE. En [O4.1-636](#) se expuso en detalle el escenario del ejercicio correspondiente realizado en 2019. Dos CND presentaron sus respectivas investigaciones en [P4.1-365](#) y [P4.1-613](#). El proceso relativo al Ejercicio sobre el Grado de Preparación de los CND de 2019 sufrió retrasos debido a que en 2020 y 2021 se aplazaron las reuniones en persona en los CND.

Resiliencia del régimen de vigilancia del TPCE: la pandemia de COVID-19

La pandemia de COVID-19 dio a los operadores de estaciones y de redes, así como a la STP, la oportunidad de comprobar su grado de preparación para responder a limitaciones y restricciones en dichas redes. Como consecuencia de la crisis se han aprendido muchas lecciones y se han aplicado o se están aplicando numerosas soluciones. De la multitud de lecciones aprendidas se pusieron de relieve los aspectos siguientes:

- Se ha demostrado que es viable, e incluso eficaz, controlar el funcionamiento de redes a distancia. Sin embargo, el mantenimiento de las estaciones exige contar con un buen apoyo local.
- Mejorar las capacidades de mantenimiento y resolución de problemas a distancia es fundamental para que el funcionamiento y el mantenimiento de las estaciones sean eficaces.
- El apoyo local a las estaciones es determinante para resolver problemas y realizar reparaciones. Es fundamental que el personal local de apoyo esté debidamente capacitado, pues reduce en gran medida la cantidad de viajes necesarios.
- Es de suma importancia idear y aplicar métodos fiables de comunicación con los operadores locales, los operadores de las estaciones y todas las partes

to read the full report

involucradas en el funcionamiento y el mantenimiento de las estaciones. Ha resultado útil aplicar un enfoque más flexible en lo que respecta a la comunicación por distintas vías.

- Para ser resilientes, las estaciones deben contar con una base sólida, lo que implica sensores de gran calidad, capacidad local de almacenamiento de los datos y necesidades mínimas en cuanto al suministro de energía.
- Una buena labor de logística en los repuestos es la base de un mantenimiento eficiente, sobre todo cuando se rompen componentes. Ello incluye contar con almacenes deslocalizados de repuestos, componentes intercambiables en caliente (hot-swap) y ensayos previos concienzudos de los repuestos.
- Las visitas de mantenimiento preventivo y el funcionamiento regionalizado (p. ej., en las regiones de clima extremo) reducen el tiempo de inactividad y la indisponibilidad de datos.
- La capacitación a distancia, el aprendizaje electrónico y los videos para la resolución de problemas pueden servir para superar los inconvenientes de las restricciones a los viajes.

Propagación de señales

Para el sistema de vigilancia es indispensable conocer mejor los medios por los que se propagan todas las señales pertinentes. Esos medios —el terreno, en el caso de las señales sísmicas; la atmósfera, en el de los infrasonidos y los radionúclidos; y el océano, en el de las señales hidroacústicas— determinan el tiempo que transcurre hasta la llegada de las señales hasta los sensores y afectan a la intensidad de la señal y, en el caso de las formas de onda, a la forma de la señal por el efecto de la dispersión. En la edición de 2021 de la conferencia se

impartieron tres charlas destacadas sobre las propiedades del terreno ([H1-720](#)), la atmósfera ([H3-715](#)) y los océanos ([H2-716](#)).

La mayoría de los organismos de vigilancia se valen de modelos terrestres rápidos, unidimensionales (1-D) y dependientes de la distancia para calcular la localización de los eventos sísmicos con celeridad y casi en tiempo real. El paquete informático RSTT (acrónimo en inglés de “tiempo de propagación regional de ondas sísmicas”), que se presentó en [P1.2-120](#), refleja los importantes efectos de la estructura tridimensional (3-D) de la corteza y del manto superior de la Tierra en los tiempos de propagación regional de las ondas sísmicas y, a la vez, ofrece una gran velocidad de predicción (en milisegundos). El CID y muchos CND probaron extensamente el RSTT y realizaron contribuciones contundentes que permitieron introducir mejoras notables, sobre todo en el modelo de incertidumbre ([J05](#)). Las mejoras del modelo del RSTT permiten calcular con más precisión el tiempo de propagación de las señales regionales.

El aprendizaje automático emula eficazmente los cálculos del tiempo de propagación, lo que ofrece la posibilidad de utilizar en el sistema operativo los modelos terrestres más avanzados ([03.6-118](#)). En [03.5-119](#) se propuso la realización de comparaciones sistemáticas de la exactitud de la localización sísmica de los modelos de velocidad en 2-D y 3-D elaborados con distintos parámetros de inversión y algoritmos de trazado de rayos. En [P1.2-369](#) se analizó la diferencia entre la velocidad de las ondas de Rayleigh y las ondas de Love para determinar la anisotropía radial. En [01.2-165](#) y [01.2-412](#) se analizaron los datos de las ondas P para mejorar los modelos de velocidad en Oriente Medio. En [P2.5-086](#), [P2.5-092](#) y [05.3-072](#) se ofrecieron más ejemplos del uso del RSTT a escala regional. En [P1.2-041](#) se construyó un modelo a escala continental de la velocidad de las ondas de cizalla en la litosfera sobre la base de un análisis conjunto del ruido ambiente sísmico y los datos de seísmos. En

to read the full report

[P1.2-368](#) se presentaron los resultados de la perforación de rocas corticales y de estudios sísmológicos activos.

En la ponencia [I03-714](#), la oradora invitada explicó que clasificar las señales infrasonicas y localizar los eventos con exactitud es una tarea compleja porque la atmósfera no es homogénea y cambia constantemente y por la gran variabilidad de las condiciones ambientales en los emplazamientos en los que se registran los datos. La variabilidad de la atmósfera intermedia es muy importante. Las observaciones realizadas a largo plazo han demostrado que los modelos atmosféricos encierran deficiencias en los conocimientos. En la atmósfera se producen perturbaciones que pueden dar lugar a falsas detecciones de eventos. En [P1.1-627](#) se presentó un marco híbrido para derivar modelos probabilísticos del pasado mediante la modelización de datos de forma de onda.

En [P1.3-490](#) se examinó un método para computar la propagación de las señales acústicas en 3-D en un océano estratificado. En [P1.3-526](#) se utilizó un método combinado, basado en el modelo del modo normal y en el método de la ecuación parabólica, para modelizar la propagación de las señales acústicas oceánicas. En [P1.3-408](#) se recalcó la necesidad de tener en cuenta que la velocidad del sonido en el océano puede sufrir cambios locales y temporales, lo cual podría repercutir en la propagación de las señales acústicas de frecuencia media y alta.

Modelización del transporte atmosférico

La atmósfera plantea dificultades especiales por sus dinámicas y su variabilidad. La modelización del transporte atmosférico (MTA) es necesaria para poder relacionar un evento sísmico y una serie de detecciones de radionúclidos. En la ponencia [Is4-332](#) se explicó cómo se implementa un sistema de MTA. El sistema operativo actual de MTA está basado en FLEXPART, un modelo lagrangiano de dispersión de partículas, y utiliza datos meteorológicos de todo el mundo.

La simulación regresiva es el método preferido cuando se desconoce la fuente. En casos especiales, cuando se conoce la fuente, la modelización se realiza hacia delante en el tiempo. Gracias a la optimización de FLEXPART y a los nuevos servidores para MTA adquiridos en 2019, actualmente se puede llevar a cabo una simulación en un plazo de cuatro horas. En [Is4-332](#), [O2.4-056](#) y [P2.4-637](#) se describieron los trabajos efectuados en la tercera edición del Desafío de MTA, un ejercicio que se puso en marcha en noviembre de 2019 a nivel internacional cuyo objetivo es determinar el radioxenón de fondo. Es muy difícil generar modelos atmosféricos con resoluciones a microescala por encima de un terreno complejo. En [O1.1-596](#) y [P1.1-650](#) se expusieron los experimentos sobre el terreno realizados para evaluar el rendimiento de los modelos y se examinaron las diferencias en cuanto a la sensibilidad al modelizar de manera regresiva o hacia delante en el tiempo.

Radionúclidos de fondo

Es fundamental poder diferenciar entre las señales de una explosión nuclear y la radioactividad natural y antropogénica existente en la atmósfera. Se ha determinado que, a nivel mundial, los isótopos del xenón de fondo son más abundantes de lo que se creía hace 25 años, cuando se redactó el Tratado, principalmente a causa de las emisiones de xenón debidas a la producción de isótopos para fines médicos. Para distinguir entre las señales de una explosión nuclear y la radioactividad de fondo normal en la atmósfera, el mayor impedimento es la gran variabilidad de ese fondo tanto en el tiempo como en el espacio ([Is7-604](#)). A fin de eliminar el efecto de esas fuentes, puede ser útil usar datos registrados en emplazamientos conocidos.

Aunque, por lo general, los coeficientes isotópicos de fondo se diferencian de los relacionados con una explosión nuclear, la interpretación de las mediciones del SIV no está exenta de incertidumbre. La fiabilidad de la verificación aumentaría si fuera posible determinar la fuente de las emisiones de

to read the full report

xenón de origen civil. En [P2.4-211](#) y [P2.4-078](#) se describió STAX (Source Term Analysis of Xenon), una red experimental de sensores para detectar y cuantificar las emisiones de isótopos del xenón procedentes de la producción de isótopos de uso médico y de otras instalaciones nucleares. En [P2.4-206](#) se describieron las mediciones realizadas para caracterizar mejor las emisiones de radionúclidos procedentes de un reactor nuclear de potencia. En [02.4-138](#) se informó sobre las primeras observaciones de ^{125}Xe , ^{127}Xe y ^{129}mXe en el medio ambiente. De manera similar, en [P2.4-607](#) se presentó una investigación sobre el radioxenón generado por fuentes de activación como, por ejemplo, un reactor o una fuente potente de neutrones por espalación. Los estudios de casos realizados ofrecen pruebas de que una fuente de neutrones por espalación pudo ser la causa de ciertas observaciones pasadas de ^{133}Xe y ^{135}Xe . En [02.4-510](#) se presentó un análisis de las detecciones de radioxenón realizadas en 2019 por el sistema SPALAX-NG de nueva generación en las proximidades de París. La elevada sensibilidad del sistema permitió realizar numerosas detecciones de múltiples isótopos, como ^{133}Xe , ^{135}Xe y ^{131}mXe . Los resultados de la MTA mostraron que las detecciones observadas provenían del principal emisor, situado en Fleurus (Bélgica), pero también de un productor local de radioelementos para fines médicos. En [02.4-709](#) se presentaron dos métodos estadísticos (uno paramétrico y el otro no) que, cuando se aplicaban a las mediciones de la concentración de actividad de ^{133}Xe , permitían conocer mejor el fondo atmosférico y los valores anómalos. En [02.4-406](#), [P2.4-260](#) y [P2.4-261](#) se dieron ejemplos de la aplicación de esos métodos estadísticos.

Procesamiento de señales de radionúclidos

Las observaciones de radionúclidos que realiza el SIV son un elemento importante del régimen de verificación del TPCE, ya que permiten diferenciar entre las explosiones convencionales y las explosiones nucleares. En la mesa redonda [J05](#), los

panelistas aseguraron que se habían logrado progresos muy notables en lo concierne al procesamiento de radionúclidos. Actualmente se pueden aprovechar tanto las detecciones como las no detecciones para generar distribuciones de la probabilidad respecto del lugar en que se produce la liberación original de radionúclidos y para calcular el momento en el tiempo y la magnitud de esta. Se plantearon cuatro desafíos fundamentales: 1) ¿Cómo combinar las mediciones del xenón y de los aerosoles? 2) ¿Cómo tener en cuenta los radionúclidos de fondo? 3) ¿Cómo emplear los coeficientes isotópicos como herramienta de cribado? y 4) ¿Cómo generar automáticamente una lista de las mediciones asociadas que sea equivalente a la asociación entre las formas de onda?

Para distinguir entre las señales de una explosión nuclear y la radiactividad de fondo normal en la atmósfera, el mayor impedimento es la gran variabilidad de ese fondo tanto en el tiempo como en el espacio ([Is7-604](#)). En ocasiones, la liberación de radioxenón generado por activación puede interferir en el análisis de la espectroscopia de rayos beta-gamma del radioxenón. En [03.5-456](#) se informó sobre las simulaciones realizadas para comprobar la hipótesis de que los coeficientes de actividad isotópica pueden servir para diferenciar entre la activación y la fisión. El ^{37}Ar es un indicador importante de una explosión nuclear subterránea. En [P3.5-483](#) se presentó un método para evaluar las emisiones de ^{37}Ar procedentes de reactores nucleares de investigación fijándose en un indicador apropiado, como el ^{41}Ar , sobre el que se dispone de datos relativos a las cantidades liberadas por chimeneas.

En las ponencias [P3.5-507](#) y [03.5-573](#) se mostraron sucintamente los métodos de análisis de radionúclidos que se utilizan en el CID. Entre las mejoras posibles de los métodos actuales cabe mencionar el análisis regresivo de espectros normalizados para su optimización, el ajuste tridimensional y los cómputos brutos, y el aprendizaje automático. En [P3.5-610](#)

to read the full report

se propusieron varios proyectos científicos dedicados a seguir desarrollando los métodos para asociar múltiples muestras a un mismo evento de liberación de radionúclidos y reconstruir la trayectoria hasta fuentes conocidas. En [03.6-225](#) y [P3.6-509](#) se propuso un modelo de clasificación de espectros de radioxenón basada en la coincidencia beta-gamma por medio del aprendizaje profundo (técnica CNN) para la preselección de muestras pertinentes para el TPCE. En [P3.6-516](#) se informó sobre la aplicación de la detección automática de radionúclidos, utilizando redes neuronales profundas, a los datos registrados por los detectores de rayos gamma. En [P3.5-245](#) se describió el desarrollo de un proceso automático para fusionar las corrientes de datos de MTA y de radionúclidos que, además, proporciona mapas virtuales interactivos que permiten consultas rápidas de datos. En [P3.5-026](#) se describió un método para clasificar los espectros de partículas de radionúclidos como “probablemente normal” o como “requiere un examen a fondo” sin tener en cuenta en absoluto la ciencia relativa a los radionúclidos.

Procesamiento de datos sismológicos, hidroacústicos e infrasónicos

El tema del análisis de datos (que incluye métodos basados en la inteligencia artificial y en el aprendizaje automático) se trató en el discurso principal de la jornada inaugural ([G3](#)), en dos mesas redondas ([J05](#), [J08](#)), en varias ponencias a cargo de oradores invitados ([I01-722](#), [I08-723](#), [Is1-353](#), [Is6-454](#)) y en numerosas ponencias orales y exposiciones de pósteres, sobre todo en relación con los subtemas 3.5 y 3.6. Los debates y las ponencias se centraron en el uso del aprendizaje automático y la inteligencia artificial, las herramientas de análisis, el paso de los parámetros de la hora de llegada al análisis de todos los datos de forma de onda, la mejora de la comprensión de los márgenes de incertidumbre, las aplicaciones de fusión de datos y los nuevos paradigmas y métodos relacionados con la cadena de procesamiento.

NET-VISA es un modelo generativo de la sismología a escala mundial que está basado en la física y que se ha sumado recientemente a los programas informáticos operacionales del CID. Las ventajas que ofrece NET-VISA se examinaron en ponencias a cargo de oradores invitados ([I08-723](#), [Is6-454](#)), en una ponencia oral [03.6-400](#) y en exposiciones de pósteres ([P1.1-158](#), [P3.6-651](#), [P4.1-294](#), [P4.1-330](#)). En origen, NET-VISA se creó para relacionar eventos sísmicos, pero ahora también sirve de apoyo en lo que respecta a los datos de eventos hidroacústicos ([Is2-283](#)) e infrasónicos ([Is3-381](#), [P1.1-158](#)). Se prevé que NET-VISA se erija en el sistema de asociación de fases por defecto. Otra novedad es la herramienta SIG-VISA ([I08-723](#), [Is2-283](#)), que tendrá en cuenta las formas de onda al completo y permitirá que en los análisis se tomen en consideración la morfología general de las formas de onda datos y la velocidad de desintegración de la coda, la superposición de señales, la continuidad espacial de los valores residuales en los tiempos de propagación y la repetibilidad de las formas de onda, entre otras cosas. Un aspecto importante que se mencionó reiteradamente fue la necesidad de utilizar modelos basados en la física para que la explicabilidad siga siendo un elemento importante del proceso de interpretación (mesa redonda [J08](#)).

La STP desarrolla y distribuye el paquete de programas informáticos “Los CND en un estuche” y presta el apoyo técnico necesario al respecto. Ese paquete permite a los CND realizar diversas funciones, como recibir, archivar, procesar y analizar los datos de las estaciones del SIV. En [P3.5-584](#) se mostró cómo se integró el detector de F generalizado (Gen-F) en un marco de detección y extracción de características (DFX) existente en un CND. En [P4.1-294](#) se presentaron los resultados de los ensayos de la versión más reciente, que contiene el sistema de asociación NET-VISA con SeisComp3.

En [I01-722](#) se resaltó una importante transición en el análisis de datos, a saber, de utilizar las horas de llegada a aprovechar

to read the full report

todos los datos de forma de onda. En [03.5-398](#) se informó sobre el uso de la correlación cruzada para detectar las ondas Lg y, de ese modo, hallar y localizar nuevos eventos sísmicos con la ayuda de una red sismológica temporal dispersa. En [Is1-353](#) se presentaron varias aplicaciones nuevas posibles para el análisis técnico por expertos. En [P3.5-194](#) se informó sobre el diseño de una herramienta semiautomática de estimación de la profundidad para eventos localizados a menos de 3 km de profundidad. En [01.2-277](#) se propusieron dos métodos complementarios para mejorar las relaciones señal/ruido y reconocer automáticamente fases de profundidad coherentes. La herramienta de verificaciones esporádicas (Spot Check Tool) ([P3.5-355](#), [P3.5-354](#)) se basa en la correlación cruzada de las formas de onda y utiliza información sobre eventos de boletines de eventos revisados (BER) históricos. En [P3.5-183](#) se informó sobre los intentos de mejorar la eficacia de las detecciones de correlaciones cruzadas de las formas de onda utilizando metadatos de eventos a modo de plantilla y el análisis de red de las estaciones corroboradoras. La herramienta de calibración de la coda (Coda Calibration Tool, CCT) es una plataforma rápida y sencilla basada en Java ([P3.5-453](#)) que es entre tres y cuatro veces menos variable que las estimaciones tradicionales basadas en las ondas directas.

La identificación automática de eventos sísmicos repetidos, como réplicas y explosiones mineras, puede ayudar a mejorar la calidad de los boletines automáticos y reducir el volumen de trabajo de los analistas ([P2.3-356](#)). La red neuronal profunda ArrNet ([P3.6-707](#)) es una herramienta que puede afinar con fiabilidad las llegadas seleccionadas automáticamente y aumentar la calidad de las listas de eventos generadas de manera automática y, por consiguiente, acortar el tiempo invertido en el examen interactivo.

A diferencia de las estaciones de complejo, la estimación del azimut inverso en las estaciones de 3-C puede ser inestable

([Is6-454](#)). BazNet ([P3.6-706](#)) es una red neuronal profunda que prevé el azimut de estaciones concretas y proporciona, además, una medida de la incertidumbre. En [03.5-462](#) se abogó por aprovechar los tres componentes de los complejos sismográficos íntegramente de 3-C para sacar partido a la coherencia de los componentes horizontales. Aunque toda información resulta útil para la verificación, se puede aumentar todavía más la utilidad de las mediciones realizadas con múltiples tecnologías mediante la fusión de datos, la cual consiste en integrar fuentes dispares de datos en un análisis de eventos unificado y exhaustivo ([P3.5-476](#), [P3.5-127](#), [02.3-130](#), [P2.3-116](#), [P2.3-246](#), [P2.3-366](#) y [P3.1-265](#)). Por lo general, los datos de forma de onda están contaminados con ruido de diversas fuentes. En [P3.6-124](#) se informó sobre la aplicación de un método de eliminación del ruido en los datos sismológicos para el que se utiliza un modelo entrenado basado en una red CNN profunda. En [P3.6-615](#) se describió la labor realizada para crear una red neuronal profunda de nueva generación con la que pronosticar el ruido infrasónico de fondo.

Datos y eventos históricos, características físicas de los eventos y métodos de examen de eventos

En los 25 años transcurridos desde que el Tratado se abrió a la firma solamente se han realizado unas pocas explosiones de ensayo. Aunque esto es un gran logro, también plantea dificultades para validar las herramientas y los métodos que se utilizan en la red de vigilancia de la OTPCE. Como se señaló en la mesa redonda [J03](#), las observaciones históricas relacionadas con las explosiones nucleares de ensayo constituyen un valiosísimo recurso para efectuar estudios de casos realistas con los que validar los métodos, el objetivo de lo cual es determinar la fuente de un evento pertinente para la vigilancia del cumplimiento del Tratado. Esos datos también se pueden utilizar para determinar posibles carencias de la vigilancia de explosiones nucleares, con fines de capacitación y para realizar ejercicios que mejoren el rendimiento de los CND.

to read the full report

Se precisan datos históricos de tantas regiones y tantas características geológicas distintas como sea posible. Se deberían conservar las señales relativas a los ensayos realizados en la atmósfera, bajo el agua y bajo tierra. La mayoría de las actividades en curso a ese respecto se centran en los datos sismológicos, dado que los datos hidroacústicos e infrasónicos históricos son infrecuentes y los datos sobre radionúclidos son muy escasos.

Se han de tener en cuenta cuatro aspectos en relación con los datos históricos: 1) qué datos están disponibles y se pueden extraer y utilizar; 2) el escaneado o el escaneado y la digitalización de los datos; 3) los metadatos; y 4) la presentación a la comunidad en general. La calibración mediante los mecanismos de los eventos conocidos es una de las maneras de recuperar respuestas desconocidas de sensores que han registrado eventos. Comparar los registros obtenidos por instrumentos cuyas respuestas se conocen en unos casos sí y en otros no, ayuda a entender las respuestas desconocidas. En [02.5-298](#) y [P2.5-297](#) se describió el catálogo de datos sismológicos sobre 47 ensayos nucleares realizados en el polígono de Lop Nor (China) entre 1964 y 1996. En [P2.5-594](#) y [P2.5-499](#) se informó sobre la recuperación y la digitalización de los registros sísmicos relativos a las explosiones nucleares realizadas con fines pacíficos por la Unión Soviética en marcos geológicos y zonas geográficas de gran diversidad. Se ensayó el uso de las relaciones espectrales de las amplitudes como criterio discriminatorio. Las explosiones químicas históricas también pueden servir como eventos relacionados con la realidad del terreno para calibrar las redes sismológicas regionales. En [P2.5-176](#) se describieron los datos disponibles sobre las grandes explosiones químicas realizadas en Kazajstán en la época soviética. En [P2.5-086](#) y [P2.5-089](#) (Asia Central) y en [P2.5-181](#) (Kazajstán) se presentaron más datos relativos a eventos sísmicos históricos. En [02.5-481](#) se presentó un estudio bibliográfico sobre la vigilancia de los radionúclidos en la atmósfera que abarcó

35 ensayos nucleares realizados entre 1964 y 1996. Aunque la mayoría de esos ensayos se efectuaron en la atmósfera, también se observaron residuos nucleares expulsados como consecuencia de los ensayos nucleares realizados bajo tierra.

Aunque el ensayo nuclear más reciente anunciado por la República Popular Democrática de Corea tuvo lugar en 2017, continúa la labor de análisis de los ensayos realizados por ese país. En [02.1-275](#) se informó sobre la detección en varias estaciones de hidrófonos del SIV de las fases primarias y terciarias relacionadas con el ensayo más reciente. Aparentemente, se trata de las primeras detecciones de esa clase realizadas por las estaciones de hidrófonos del SIV. En [P2.1-643](#) se ofreció una visión exhaustiva de cómo la MTA apoyó el análisis de las detecciones de radionúclidos en relación con los ensayos realizados en la República Popular Democrática de Corea. Se hallaron coincidencias en los coeficientes isotópicos y también similitudes en las condiciones atmosféricas de dos de los ensayos (el de 2006 y el 2013). Los resultados respecto de dos ensayos eran congruentes, pero no concluyentes, y solo se detectó ^{133}Xe (enero de 2016 y 2017). Respecto de otros dos ensayos (el de 2009 y el de septiembre de 2016) no fue posible hallar detecciones de radioxenón que pudieran guardar relación entre sí.

En [P2.1-123](#) se informó sobre la realización de análisis de discriminación en los que se combinaron coeficientes interespectrales de Pg/Lg y Pn/Lg extraídos de estaciones regionales. El análisis permitió diferenciar el hundimiento de la cavidad de la población de explosiones nucleares. No obstante, la distinción entre los seísmos y el hundimiento de la cavidad no estaba clara. En [P2.1-371](#) se informó sobre la formulación de un método rápido y automático de caracterización plena de fuentes sísmicas que identificó correctamente todos los ensayos nucleares anunciados por la República Popular Democrática de Corea.

to read the full report

Dado que no se detectaron señales de radionúclidos en relación con todos los ensayos subterráneos anunciados, es importante comprender las condiciones que influyen en la liberación de los gases y las partículas. En [02.4-477](#) se presentaron los resultados de una serie de experimentos a mesoescala para entender mejor la interacción entre la potencia de la fuente y los parámetros ambientales. En [02.1-208](#) se examinó cómo repercute la evolución de la cavidad tras una explosión nuclear subterránea en la composición de isótopos del radioxenón, y se apuntó la posibilidad de hallar coeficientes isotópicos que difieran del fondo de origen civil más de lo previsto por el modelo normalizado idealizado, al tiempo que se pronosticó una cantidad reducida de radioxenón liberado.

La intensidad de las explosiones nucleares no incumbe directamente a la OTPCE; no obstante, reviste interés para los Estados signatarios a fin de caracterizar la capacidad de la red del SIV. Según se informó en [101-722](#), en datos históricos sobre ensayos se observó que gran parte de la energía liberada había sido absorbida por las rocas aplastadas en la zona aledaña a la cavidad y en un amplio perímetro en el que las explosiones habían causado deformaciones anelásticas.

Uno de los grandes retos para la OTPCE es lograr distinguir entre los numerosísimos eventos naturales y antropogénicos que se detectan y una posible explosión nuclear. Se han diseñado métodos de examen para las señales captadas por todas las tecnologías de la red de vigilancia. En relación con el examen de los radionúclidos, en [1s7-604](#) se analizaron varios métodos de examen con los que diferenciar entre las señales de una explosión nuclear y la radioactividad de fondo que es normal en la atmósfera. Ocasionalmente es posible que se confundan las características respectivas y se generen falsos positivos. En [P2.3-415](#) se informó sobre el análisis de los datos relativos a la erupción y la secuencia de colapso de un volcán en 2018 que son similares a los fenómenos que se producen después de las explosiones nucleares. En origen, la escala de

magnitud de las ondas internas y el método Mb/Ms para el examen de los eventos se crearon basándose principalmente en los datos relativos a las ondas internas (mb) registrados por instrumentos comunes de período corto. Actualmente, con los instrumentos de período corto y de banda ancha, se pueden entender las variaciones de las mb, lo cual mejora el examen de los eventos ([P2.3-240](#)).

La información sobre los tensores de momento es importante para entender el origen de los eventos. Sin embargo, es complejo calcular los tensores de momento cuando se trata de eventos sísmicos leves. En [P1.2-659](#) se informó sobre un nuevo análisis de los métodos de inversión de las amplitudes de las ondas P y S y de inversión de todas las formas de onda procedentes de las estaciones de 3-C, lo cual se complementó con las polaridades de los primeros movimientos. Como se indicó en [1s1-353](#), la intersección entre las poblaciones de terremotos y explosiones es un aspecto importante cuando se utiliza el mecanismo focal como parámetro de examen. La profundidad es un parámetro muy eficaz en el examen de los eventos, y también es el aspecto principal en la aplicación ParMT. En [01.2-277](#) se caracterizaron las incertidumbres que comporta la determinación de la profundidad mediante las señales telesísmicas.

Hubo una subsección especial dedicada a los resultados del análisis de las señales captadas tras la trágica explosión del 4 de agosto de 2020 en el puerto de Beirut (Líbano). La explosión generó señales sismológicas, acústicas, infrasónicas e hidroacústicas que se propagaron por la litosfera, la atmósfera y la hidrosfera. En las ponencias se informó sobre la combinación de la información procedente de diferentes sensores y tecnologías del sistema de vigilancia del TPCE con objeto de estimar la intensidad del evento. Obtener estimaciones exactas a partir de los datos sismológicos es complicado por la incertidumbre que conlleva relacionar la explosión acontecida en la superficie terrestre y las ondas sísmicas. La

to read the full report

mayoría de las estimaciones sobre la intensidad de la explosión se situaron en un intervalo de entre 0,5 y 1 kt ([02.1-656](#), [02.1-228](#), [02.1-191](#), [P2.1-195](#), [02.1-290](#), [02.1-656](#), [P2.1-540](#), [P1.1-401](#), [P1.1-137](#), [P1.1-588](#) y [P1.1-672](#)). Se demostró la utilidad de combinar los datos de distintas tecnologías; por ejemplo, el error en la localización se redujo drásticamente al añadir una señal sísmológica a las señales infrasónicas.

En [P4.1-446](#) se informó sobre el análisis de las estadísticas relativas a los eventos de forma de onda vinculados con sismicidad principalmente natural que se han procesado y analizado en los últimos 20 años en el CID y publicado en el BER a diario desde febrero de 2000. En [01.1-389](#) y [P1.1-399](#) se informó sobre un reprocesamiento general de la base de datos infrasónicos del SIV que abarcó el período comprendido entre enero de 2003 y diciembre de 2020 y comprendió los datos de hasta 53 estaciones. Las estaciones de hidrófonos del SIV suministran datos de gran calidad con escaso ruido de fondo. En [P1.3-402](#) se presentó un análisis de los datos procesados durante varios años con el algoritmo de detección DTK-PMCC. En [P2.5-086](#) y [P2.5-089](#) se informó sobre la creación de un boletín sísmológico unificado sobre Asia Central para el que se han utilizado datos del período 1949–2009. En [P1.2-155](#) se examinó la coherencia entre la magnitud de los terremotos calculada por el CID y el Centro Internacional de Sismología. En la ponencia [108-723](#), el orador invitado propuso que se considerase la posibilidad de utilizar boletines que muestren múltiples hipótesis y probabilidades. Se señaló que la norma en cuanto a destacar eventos debería fundamentarse en el conocimiento de los costos que comportan los falsos positivos y los falsos negativos.

Inspección in situ

Dos de las ponencias a cargo de oradores invitados trataron sobre el componente de IIS del régimen de verificación. La IIS

también se trató en el subtema 2.2. En la ponencia [105-727](#) se ofreció un panorama general de la notable evolución de las capacidades de IIS y de la relación que existe entre ellas. Un producto fundamental de los trabajos a ese respecto es el primer proyecto de lista exhaustiva del equipo que se utilizará durante las IIS, lista que incluye sus especificaciones ([1s5-239](#)). En [P4.4-257](#) se presentaron las fases de desarrollo del programa de ensayo de la tecnología de IIS. Otro resultado fundamental de los trabajos realizados en los últimos 25 años es el programa de formación en IIS para los posibles futuros inspectores, quienes son designados por los Estados signatarios. Hasta ahora se han completado tres ciclos de formación. En [105-727](#) se resaltaron los posibles avances técnicos e innovaciones en relación con la IIS. Algunos ejemplos son la finalización de ciclo de desarrollo de las técnicas actuales, el desarrollo de otras técnicas como la sismometría de resonancia, los levantamientos sísmológicos activos y las perforaciones, el aumento de la eficiencia y la eficacia en la realización de IIS, y el desarrollo de las capacidades de IIS en condiciones ambientales inusuales y entornos que no sean bajo tierra.

La infraestructura es un aspecto clave para llevar a cabo las IIS. Esa infraestructura se ha creado tanto en la sede de la STP en Viena (el Centro de Apoyo a las Operaciones de IIS) como en el Centro TeST, donde se encuentra el Centro de Almacenamiento y Mantenimiento de Equipo para IIS, en Seibersdorf (Austria). Otro aspecto importante es la infraestructura sobre el terreno. En [P2.2-220](#) se explicaron las novedades respecto del diseño y la organización del Centro de Apoyo a las Operaciones de IIS, que es una parte específica del Centro de Operaciones de la OTPCE. En [P2.2-575](#) se habló de la homologación, calibración y mantenimiento del equipo para IIS.

Varias ponencias trataron las técnicas para IIS y las firmas respectivas. En [02.1-420](#) se describió un método nuevo para detectar las cavidades originadas por una explosión nuclear subterránea en el que se utiliza la potencia espectral con

to read the full report

intervalos finitos (método Finite-interval Spectral Power (FISP)) del ruido ambiente sísmico. En [03.1-296](#) se estudiaron las posibilidades que ofrece el levantamiento sísmológico en intervalos de tiempo para determinar el punto cero mediante la vigilancia de los fenómenos dinámicos posteriores a la explosión. En [P3.2-691](#) se resumió la disposición y el diseño del laboratorio de campo de nueva generación para IIS centrándose en los requisitos para medir los isótopos del xenón y el argón pertinentes para una IIS. También se informó sobre las mejoras introducidas en los sistemas de detección de xenón aptos para su uso sobre el terreno en una IIS ([P3.2-424](#), [P3.2-518](#)). En [03.2-654](#) se explicaron las dificultades que comporta la medición del ^{37}Ar . En [P2.1-474](#) se evaluó la viabilidad de usar el ^{39}Ar como indicador a largo plazo. Con respecto al procesamiento de imágenes, en varias ponencias se examinó toda una gama de sensores ópticos y de radar ([03.3-117](#), [03.3-085](#), [P3.3-586](#), [P3.3-132](#)).

Aplicaciones civiles y científicas

La ponencia [106-721](#), dedicada a las aplicaciones civiles y científicas de las tecnologías relacionadas con el TPCE, fue impartida por la Directora de la División del CID, quien resaltó que el propósito primordial del régimen de verificación es confirmar el cumplimiento del Tratado. No obstante, en el Tratado se señala expresamente que para los Estados partes puede resultar beneficioso utilizar un recurso fabuloso, como son los datos del SIV para fines pacíficos y científicos. La Comisión Preparatoria ha decidido proporcionar datos para dos aplicaciones civiles concretas: la alerta contra tsunamis y las emergencias radiológicas y nucleares. Mantener un vínculo estrecho entre la comunidad científica y tecnológica y la OTPCE es una manera de velar por que el SIV se mantenga a la vanguardia de las innovaciones tecnológicas y ninguna explosión nuclear pueda pasar desapercibida (mesa redonda [J04](#)). Desde 2011, el centro virtual de explotación de datos (vDEC) permite a los científicos e investigadores acceder a los datos del SIV.

Se examinaron diversas aplicaciones científicas y civiles en la mesa redonda [J06](#), así como en las ponencias [106-719](#) y [109-742](#), a cargo de oradores invitados. Numerosas ponencias orales y exposiciones de pósteres, sobre todo las agrupadas bajo el subtema 5.2, se dedicaron a otras contribuciones posibles a cuestiones de interés mundial como la mitigación del riesgo de desastres, el estudio del cambio climático y los Objetivos de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas. En las ponencias agrupadas bajo los subtemas 1.1, 1.2, 1.3, 2.3 y 5.2 se examinaron de manera extensa la vigilancia y la comprensión de las erupciones volcánicas y los terremotos.

Sin duda, los datos del SIV pueden ofrecer más aplicaciones civiles, aparte de la alerta temprana contra tsunamis y la cooperación internacional en caso de emergencias nucleares y radiológicas. Por ejemplo, en [P1.1-133](#), [P1.1-588](#), [01.1-457](#), [P2.3-708](#), [P1.1-253](#) y [P5.2-395](#) se informó sobre la vigilancia de erupciones volcánicas recientes. Distintos progresos en el ámbito de la investigación demuestran la importante función de la red del SIV, y también muestran cómo esta se puede perfeccionar mediante un diseño cabal y la optimización de las redes infrasónicas regionales ([P1.1-264](#)) con miras a informar a la sociedad civil y mitigar los riesgos causados por los volcanes ([01.1-536](#) y [P1.1-133](#)). Es fundamental tener en cuenta las posibilidades que ofrecen los enfoques multidisciplinares ([107-529](#)).

to read the full report