

NORUEGA

Verificación de la prohibición completa de los ensayos nucleares

Informe relativo al Seminario sobre aspectos sismológicos de la verificación de la prohibición de los ensayos nucleares, celebrado en Oslo, Noruega, del 14 al 17 de febrero de 1990

La prohibición completa de los ensayos nucleares debe ir acompañada de medidas eficaces de verificación destinadas a garantizar que no se realicen explosiones nucleares en ningún medio, es decir, en la atmósfera, el espacio, debajo del agua y debajo de tierra. La sismología es el principal instrumento para detectar e identificar explosiones nucleares subterráneas, por lo que constituye la base de la vigilancia de la prohibición completa de los ensayos en el medio subterráneo. Teniendo esto presente, se celebró en Oslo, Noruega, del 14 al 17 de febrero de 1990 un Seminario sobre aspectos sismológicos de la verificación de la prohibición de los ensayos nucleares.

El Seminario fue patrocinado por el Ministerio de Relaciones Exteriores de Noruega y organizado por el Complejo Sismológico Noruego (NORSAR) en colaboración con el Consejo Noruego sobre Control de los Armamentos y Desarme.

El objetivo del Seminario era el de arrojar nueva luz sobre los aspectos sismológicos de la verificación de una prohibición completa de los ensayos nucleares, mediante sesiones de información y demostraciones en instalaciones sismológicas de Noruega y la presentación de adelantos recientes de la investigación.

Asistieron al Seminario 76 científicos y representantes de 21 países, incluido gran número de sismólogos que participan en la labor del Grupo de expertos científicos de la Conferencia de Desarme, en Ginebra. El Embajador Miljan Komatina, Secretario General de la Conferencia de Desarme, participó como invitado especial en virtud de una invitación formulada por el Gobierno de Noruega.

En su alocución de bienvenida, el Secretario de Estado de Relaciones Exteriores de Noruega, Sr. Knut Vollebaek, afirmó que la celebración de dicho seminario en Oslo demostraba la gran importancia que el Gobierno de Noruega atribuía a la Conferencia de Desarme y a la participación de Noruega en ella. Subrayó que una verificación eficiente era un componente vital de una prohibición de los ensayos, tanto para garantizar el cumplimiento como para fomentar la confianza. En relación con la labor del Grupo de expertos científicos, el Sr. Vollebaek dijo que una red sismológica mundial

constituiría un elemento fundamental de un sistema de verificación de una prohibición de los ensayos nucleares. En opinión del Gobierno noruego, dicha red debería estar equipada con instrumentos de alta calidad y debería contar con los adelantos tecnológicos recientes en materia de tecnología de computadoras y de comunicación de datos. A este respecto, el Sr. Vollebaek hizo especial referencia a los avanzados complejos de pequeña apertura NORESS y ARCESS, instalados en Noruega en los últimos años y afirmó que este tipo de complejos podría aportar una contribución importante a la red sismológica mundial propuesta por el Grupo de expertos científicos.

El Secretario de Estado de Relaciones Exteriores subrayó que las investigaciones realizadas en el NORSAR eran uno de los esfuerzos de Noruega por hallar soluciones a las cuestiones de verificación pendientes relacionadas con la prohibición de los ensayos nucleares. Se atribuía considerable importancia al mantenimiento del NORSAR en cuanto instalación de investigación abierta a científicos de todos los países, algunos de los cuales habían realizado investigaciones en el NORSAR durante períodos de hasta dos años. El Sr. Vollebaek confirmó también que el Gobierno noruego pondría las instalaciones sismológicas de Noruega a disposición de una red mundial en cuanto observatorios contribuyentes a ella.

El Director del NORSAR, Dr. Frode Ringdal, hizo una exposición introductoria del programa de verificación sismológica de Noruega. En el Centro de Tratamiento de Datos del NORSAR los participantes asistieron a una demostración que incluyó:

- Presentación de los complejos de Noruega;
- Detección de terremotos y explosiones nucleares subterráneas;
- Análisis de las señales sísmicas utilizando datos de complejos regionales;
- Intercambio internacional de datos sismológicos, haciendo hincapié en el Segundo Experimento Técnico del Grupo de Expertos Científicos.

Los participantes examinaron también las instalaciones sobre el terreno del Complejo Sismológico de Noruega (NORESS), que es un complejo sismológico de pequeña apertura que incluye los adelantos científicos y tecnológicos más recientes en materia de diseño de complejos sismológicos, instrumentación y tratamiento de datos. Un complejo gemelo (ARCESS) está situado en la región ártica de Finnmark, en Noruega septentrional. Habida cuenta del potencial de estos complejos para proporcionar una capacidad de vigilancia mucho mayor para un futuro tratado de prohibición completa de los ensayos nucleares, Noruega ha propuesto a la Conferencia de Desarme (CD/714) que el concepto NORESS/ARCESS constituya la base de las estaciones sismológicas de la red mundial prevista por el Grupo de expertos científicos.

Las sesiones de información y demostraciones fueron seguidas de un simposio científico de tres días de duración cuya finalidad fue la de evaluar el estado de la investigación en materia de complejos sísmicos regionales y cuestiones conexas. En particular, se centró la atención en el simposio en los resultados obtenidos con las investigaciones realizadas sirviéndose

del NORESS y el ARCESS. Se dedicó una sesión especial a resumir las experiencias y debatir ulteriores planes para el segundo experimento técnico internacional que estaba realizando el Grupo de expertos científicos.

En un anexo al presente documento se examinan brevemente algunos de los resultados presentados durante el simposio científico.

En conclusión, el Seminario de Oslo demostró los considerables progresos obtenidos en la vigilancia sismológica en los últimos años. Se puso de relieve en particular los adelantos técnicos en cuanto a instrumentos sismológicos, comunicación de datos y tratamiento con computadora, según ponía de manifiesto el desarrollo de complejos sismológicos regionales avanzados con medios automáticos e interactivos de tratamiento de la señal muy perfeccionados. Las presentaciones realizadas en el simposio científico muestran que esos avances tecnológicos van acompañados de considerables progresos científicos, aunque queda mucho por hacer para explotar plenamente las posibilidades que ofrecen los complejos regionales en un contexto de vigilancia sismológica. Las investigaciones encaminadas a tal objetivo constituirán el foco de los esfuerzos constantes del programa de verificación sismológica de Noruega y los resultados serán presentados al Grupo de expertos científicos en Ginebra.

Anexo

RESUMEN DE LAS PRESENTACIONES CIENTIFICAS OFRECIDAS DURANTE EL SEMINARIO DE OSLO DE 1990 SOBRE COMPLEJOS SISMICOS REGIONALES Y LA VERIFICACION DE LA PROHIBICION DE LOS ENSAYOS NUCLEARES

Desarrollo de complejos regionales

Se presentan estudios de la evolución reciente en relación con los complejos sismológicos regionales respecto del NORESS y ARCESS en Noruega 1/, GERESS en la República Federal de Alemania 2/ y FINESA en Finlandia 3/. En el documento 1/ se resumen las consideraciones de diseño que han conducido al establecimiento del primer complejo regional, NORESS, y se describe la manera en que el éxito de este nuevo concepto de complejo motivó el emplazamiento de nuevos complejos análogos. En dicho documento se indican las técnicas básicas de tratamiento de la señal utilizadas en el análisis de datos en tiempo real para los complejos regionales y se demuestran las excelentes capacidades de detección de esos complejos a distancias regionales (inferiores a 2.000 km). Se muestra que el NORESS y el ARCESS son capaces de detectar fenómenos sísmicos de magnitud 2,5 con un 90% de probabilidad si esos fenómenos ocurren dentro de una distancia de 1.000 km. Se subraya, no obstante, que el umbral de identificación de fenómenos es necesariamente más alto que el umbral de detección. También se muestra que el complejo FINESA tiene un excelente rendimiento 3/ y, tomados conjuntamente, estos tres complejos son capaces de localizar fenómenos sísmicos de poca intensidad en Fennoscandia con mucha precisión (característicamente con una aproximación de 10 a 20 km). El complejo GERESS que se está desarrollando actualmente presenta muchas de estas excelentes características 2/ y contribuirá todavía más a una inmejorable cobertura regional de grandes partes de Europa septentrional.

Tratamiento de datos de una red de complejos regionales

Los adelantos tecnológicos recientes han permitido la aplicación de técnicas de tratamiento muy perfeccionadas en la investigación sobre vigilancia sismológica utilizando una red de complejos sismológicos y de estaciones aisladas, como pone de manifiesto el desarrollo del Sistema de Vigilancia Inteligente 4/, 5/. Dos de los objetivos de este sistema son 1) demostrar el rendimiento y capacidad de vigilancia del sistema respecto de fenómenos poco intensos a distancias regionales y 2) investigar las posibilidades de un enfoque basado en sistemas técnicos para mejorar la vigilancia a medida que se adquiera experiencia. La primera versión operacional, descrita en 4/, elabora datos procedentes del NORESS y ARCESS, mientras que las versiones posteriores se ampliarán para incluir redes integradas tanto por complejos como estaciones aisladas. El sistema de vigilancia inteligente es ambicioso por cuanto investiga e integra muchas tecnologías nuevas de computadoras, pero la validez del concepto viene documentada por una evaluación de su rendimiento operacional inicial 5/.

Métodos de análisis de la señal

En diversas presentaciones se abordaron métodos para elaborar señales sísmicas registradas por complejos y estaciones de tres componentes. Se demostró que ambos tipos de estaciones pueden proporcionar información

muy útil en cuanto a la identificación de fases, estimación del azimut y cálculo de la velocidad aparente de las fases detectadas. Partiendo de consideraciones teóricas, así como de una comparación experimental 12/, 26/, 14/, se muestra que los complejos son superiores en este sentido a relaciones bajas señal/ruido, aunque la precisión del cálculo del azimut viene influida por diversos factores, incluido el tipo de fase, frecuencia de la señal y sesgo sistemático ocasionado por las heterogeneidades terrestres 14/, 18/, 26/. Un enfoque muy prometedor, que se examina en 17/ es el del análisis conjunto de datos de complejos y de tres componentes.

Los métodos de detección de la señal se examinan en diversos documentos. En 11/ se presenta un sistema para el análisis de la señal y la detección en línea según se aplica a una estación soviética de tres componentes en el Kazajistán. En 13/ se describe una técnica de detección utilizando datos del complejo NORESS y de tres componentes. En 7/ se presenta un enfoque estadístico, utilizando técnicas adaptativas, para elaboración de la detección y estimación respecto de datos de complejos y en 15/ respecto de datos de tres componentes. En 25/ se presenta un nuevo enfoque para obtener estimaciones precisas de la localización relativa de fenómenos sísmicos, utilizando registros de alta frecuencia.

Identificación de la fuente

Tradicionalmente, las investigaciones en materia de discriminación sísmológica se han centrado en establecer una distinción entre terremotos y explosiones nucleares subterráneas. Con arreglo a un tratado de prohibición completa de los ensayos, se hará hincapié en la detección e identificación de fenómenos sísmicos débiles y será importante examinar una tercera categoría, a saber, explosiones químicas de gran potencia para fines industriales (por ejemplo, minería). En 10/ se aplica un método muy prometedor a datos del NORESS para discriminar entre terremotos y explosiones de cantera con defasaje de milisegundos (consistentes en varias explosiones estrechamente agrupadas en el espacio y el tiempo). Mediante la utilización de las características espectrales de las señales, se propone un elemento discriminador "automático" calculando la probabilidad de que se trate de un defasaje en cada caso determinado.

En 8/ se utiliza un criterio nuevo, basado en redes neurales artificiales, para desarrollar un procedimiento de clasificación entre terremotos y explosiones mineras. También en este criterio, las características espectrales de la señal constituyen el fundamento de los elementos discriminadores. La red neural parece mejorar en particular la clasificación de los datos aberrantes de la población y reducir el número de fenómenos inciertos. También se examina en 9/ la aplicación de redes neurales para mejorar la elaboración sísmológica.

Reviste asimismo considerable interés para la identificación de la fuente el método propuesto en 16/, que aplica funciones de transferencia a efectos de proceder a una transformación, por ejemplo entre registros de presuntas explosiones aisladas y explosiones con defasaje de milisegundos y también entre registros en diferentes sensores de NORESS respecto de un fenómeno determinado. Esto promete mejorar la coherencia de las fases sísmicas registradas en un complejo, con las consecuencias lógicas para mejorar la

estimación de los parámetros de la fuente. En 6/ se examina un enfoque casuístico razonado de los casos para la identificación de fenómenos y se aplica una técnica de comparación de la envolvente de la forma de onda a un conjunto de terremotos y explosiones en Noruega occidental.

Umbrales de detección y redes nacionales

Si bien los complejos regionales fueron diseñados inicialmente para acrecentar las capacidades de detección y caracterización de fenómenos sísmicos de pequeña magnitud a distancias regionales, se ha encontrado también que son muy eficaces en la gama de distancias telesísmicas. Como ejemplo de ello, se han utilizado las potencias publicadas de las explosiones nucleares subterráneas soviéticas en Semipalatinsk para evaluar el umbral de detección del NORESS en función de la potencia explosiva respecto de fenómenos ocurridos en ese polígono de ensayos 21/. Se calcula que el umbral de detección en el NORESS es de 0,1 kt, suponiendo que se dé un acoplamiento completo y condiciones de ruido normales. Se señala que el NORESS tiene condiciones especialmente favorables para detectar fenómenos de pequeña magnitud en ese polígono de ensayos y que el umbral de identificación sismológica será necesariamente más alto que el umbral de detección.

Los datos obtenidos de estaciones de la nueva red sismológica mundial emplazadas en la Unión Soviética en cuanto proyecto cooperativo entre científicos estadounidenses y soviéticos se han utilizado en varios estudios para abordar los problemas concernientes a una red de vigilancia nacional. En 17/ se analizan los niveles de ruido sísmico en esas estaciones y se encuentra que son superiores a los del NORESS en la banda de 1 a 20 Hz, con una diferencia máxima que oscila entre 7 y 25 dB, según la estación. Sin embargo, puede lograrse una reducción considerable del ruido mediante pozos de sondeo.

Utilizando datos procedentes de estaciones de la URSS se ha estudiado en 22/ la atenuación de fases sísmicas regionales en función de la frecuencia. Se ha encontrado que las características de la atenuación son análogas a las observadas en Escandinavia, pero con una amplitud absoluta P_n de casi un factor de dos veces más en el Kazajstán oriental respecto de una magnitud fija L_g .

Se han analizado en 20/ los registros de explosiones nucleares en Semipalatinsk en estaciones de la nueva red sismológica mundial en la Unión Soviética, junto con datos procedentes de estaciones en China, y se muestra que en un sistema de vigilancia regional puede medirse la L_g en estaciones ampliamente separadas con un notable grado de coherencia. La desviación uniforme de las diferencias entre pares de estaciones es de 0,03-0,04 en unidades logarítmicas y pueden efectuarse mediciones fiables a una magnitud (m_p) de aproximadamente 4,0 en estaciones situadas a unos 1.500 km de distancia de Semipalatinsk. Se señala la importancia de esta observación en lo que se refiere al cálculo de la potencia de explosiones nucleares de hasta un kilotón e incluso de menor potencia.

Estructura de la Tierra, propagación de las ondas, dispersión

Varios de los documentos eran estudios de problemas generales de sismología y geofísica en cuestiones relativas a la vigilancia sismológica. La estructura de la corteza y del manto superior en partes de Eurasia septentrional se examina en los documentos 23/, 24/, 27/ y 29/, en los tres últimos de los cuales se utilizan concretamente datos de complejos regionales. La propagación y dispersión de las ondas sísmicas se estudian en diversos documentos, por ejemplo 13/, 26/, 28/, 29/, 30/.

Notas

- 1/ Svein Mykkeltveit¹, Frode Ringdal¹ and Ralph W. Alewine²
- ¹ NOR SAR, Norway, and ² DARPA, USA: "Application of Regional Arrays in Seismic Verification Research".
- 2/ Hans Peter Harjes - Bochum Univ., Fed. Rep. of Germany: "Design and Siting of a New Regional Array in Central Europe".
- 3/ Marja Uski - University of Helsinki, Finland: "The Upgraded FINESA Array and Experiences of Data Analysis".
- 4/ Thomas C. Bache¹, James Wang¹, Robert M. Fung², Cris Kobryn¹ and Jeffrey Given¹ - ¹ Science Applications International Corp., USA, and ² Advanced Decision Systems, USA: "The Intelligent Monitoring System".
- 5/ Steven Bratt, Henry Swanger, Richard Stead and Floriana Ryall - Science Applications International Corp., USA: "Results from the Intelligent Monitoring System".
- 6/ Douglas Baumgardt and Gregory Young - ENSCO, Inc., USA: "Regional Seismic Waveform Patterns and Case-based Event Identification using Regional Arrays".
- 7/ A. Kushnir, V. Laphsin, V. Pinsky and V. Pisarenko - Inst. of Physics of the Earth, USSR: "Statistical Procedures for Seismic Signal Detection and Estimation by using Small Array Data".
- 8/ Paul Dysart¹ and Hay Pulli² - ¹ Science Applications International Corp., USA, and ² Radix Systems, Inc., USA: "Regional Seismic Event Classification at the NORESS Array: Seismological Measurements and the Use of Trained Neural Networks".
- 9/ Kenneth Anderson - BBN, USA: "Automatic Improvement of Seismic Array Performance".
- 10/ Michael J. Hedlin, J. Bernard Minster and John A. Orcutt - Scripps Inst. of Oceanography, UCSD, USA: "An 'Automatic' Means to Discriminate between Earthquakes and Quarry Blasts".

11/ O. K. Kedrov and V. M. Ovtchinnikov - Inst. of Earth Physics, USSR: "An On-Line Analysis System for Three-Component Seismic Data: Method and Preliminary Results".

12/ David B. Harris - Lawrence Livermore National Laboratory, USA: "A Comparison of the Direction Estimation Performance of High-Frequency Seismic Arrays and Three-Component Stations".

13/ B. O. Ruud, E. S. Husebye and S. C. Bannister - University of Oslo, Norway: "NORESS Recording - Joint 3C and Array Analysis".

14/ Anne Suteau-Henson - Science Applications International Corp., USA: "Estimating Azimuth and Slowness from Three-Component and Array Stations".

15/ A. Kushnir, V. Pinsky, V. Pisarenko and I. Savin - Institute of Physics of the Earth, USSR: "Wavelet Decomposition and Parameter Estimation Using 3-Component Seismograms".

16/ Zoltan A. Der¹ and Tovert H. Shumway² - ¹ ENSCO, Inc., USA, and ² University of California at Davis, USA: "Coherent Array Processing of Regional Seismic Data for Ripple Fire Patterns, Source Mechanisms and Source Azimuths".

17/ D. C. Jepsen and B. L. N. Kennett - Australian National University, Canberra, Australia: "Three-component Array Analysis of Regional Seismograms".

18/ Dorthé Bame, Marianne C. Walck and Kathie L. Hiebert-Dodd - Sandia National Laboratory: "Azimuth Estimation Capabilities of the NORESS Regional Seismic Array".

19/ Holly K. Given - Scripps Inst. of Oceanography, UCSD, USA: "Broadband Seismic Noise and Detection Experiments at IRIS/IDA Stations in the USSR".

20/ Roger A. Hansen¹, Frode Ringdal¹ and Paul G. Richards² - ¹ NORSAR, Norway, and ² Lamont-Doherty Geological Observatory, USA: "The Stability of RMS Lg Measurements, and their Potential for Accurate Estimation of the Yields of Soviet Underground Nuclear Explosions".

21/ Frode Ringdal - NORSAR, Norway: "Teleseismic Event Detection using the Small-Aperture NORESS and ARCESS Arrays".

22/ Thomas Sereno - Science Applications International Corp., USA: "Frequency-Dependent Attenuation in Eastern Kazakhstan and Implications for Seismic Detection Thresholds in the Soviet Union".

23/ A. Egorkin - International Inst. of Earthquake Prediction, USSR: "New Methods of Seismic Surface Wave Data Processing and its Application for the Study of the North Eurasian Shelf Structure".

24/ Vladimir Ryaboy - Science Applications International Corp., USA: "Upper Mantle Structure along a Profile from Oslo (NORESS) to Helsinki to Leningrad, based on Explosion Seismology".

25/ Hans Israelsson - Science Applications International Corp., USA:
"Studies Using Seismic High Frequency Data".

26/ Erik Ødegaard¹, Durk Doornbos¹ and Tormod Kvaerna²
- ¹ University of Oslo, Norway, and ² NORSAR, Norway: "Topographic
Effects on Arrays and Three-Component Stations".

27/ Kristin Vogfjord and Charles Langston - Penn State Univ., USA:
"Analysis of Regional Events Recorded at NORESS".

28/ I. Gupta, C. S. Lynnes and R. A. Wagner - Teledyne geotech, USA:
"F-K Analysis of NORESS Array and Single-Station Data to Identify Sources of
Near-Receiver and Near-Source Scattering".

29/ Douglas Baumgardt - ENSCO, Inc., USA: "Investigation of Teleseismic
Lg Blockage and Scattering using the NORESS and ARCESS Regional Arrays".

30/ Anton Dainty and M. Nafi Toksoz - Earth Resources Lab., MIT, USA:
"Array Analysis of Seismic Scattering".

Las actas del Simposio se publicarán en un número especial del Bulletin of the Seismological Society of America, cuya publicación está prevista en otoño de 1990. Se distribuirán ejemplares de este número especial a todos los participantes en el Grupo de expertos científicos.
