

DEL OBSERVATORIO DE CARTUJA AL INSTITUTO ANDALUZ DE GEOFISICA Y PREVENCION DE DESASTRES SIMICOS.

J. Morales, F. Vidal, y G. Alguacil.

Instituto Andaluz de Geofísica. Universidad de Granada. 18071-Granada. morales@iag.ugr.es, fvidal@iag.ugr.es, alguacil@iag.ugr.es.

Introducción.

El actual Instituto Andaluz de Geofísica y Prevención de Desastres Sísmicos de la Universidad de Granada se cimienta sobre las bases científica y de infraestructura con las que contaba el Observatorio de Cartuja a finales de la década de los 70's y comienzos de los 80's.

Los comienzos del Instituto y de la primera infraestructura de investigación, lo que hoy conocemos como Red Sísmica de Andalucía, no fueron fáciles. La escasez de fondos y la poca sensibilidad de las autoridades en temas como el desarrollo de equipos y de infraestructuras básicas para la investigación hizo que las dificultades fuesen aún mayores.

La serie sísmica que sacude a Granada en el año 1979 es la que impulsa a los investigadores (Fernando de Miguel, Francisco Vidal y Gerardo Alguacil) a buscar financiación por conseguir una infraestructura científica estable, esencialmente una red de microsismicidad y los laboratorios de instrumentación y de proceso de datos necesarios para el diseño, la experimentación y el análisis, que llevara a la tradicional investigación sísmica que se realizaba en el Observatorio de Cartuja a niveles de prestigio internacional. Para llevar a cabo ese salto tanto cualitativo como cuantitativo se necesitaba acometer los estudios sísmicos en diferentes campos y desde diferentes disciplinas y urgía desarrollar e instalar una red sísmica moderna y operativa tanto desde el punto de vista de la logística de su distribución espacial y calidad de los datos como en la rapidez en la obtención de los parámetros focales (localización hipocentral y magnitud fundamentalmente). El desarrollo de dicha red, desde las estaciones experimentales hasta la instalación definitiva de estaciones telemétricas, así como de las recientes estaciones sísmicas de banda ancha, está detallado en un trabajo de G. Alguacil, recogido en esta publicación. Veremos mas adelante como esa misma necesidad es la que nos impulsa en la actualidad en la remodelación y ampliación de la red sísmica de Andalucía que gestiona el Instituto Andaluz de Geofísica para disponer de unas de las mejores redes no solo europeas sino mundiales y seguir estando en primera fila de la investigación en nuestro campos de trabajo.

Durante la serie sísmica granadina del año 1979, así como durante toda la década de los 70, el Observatorio sólo contaba con un sismómetro Hiller-Stuttgar que el Instituto Geográfico Nacional instaló en el año 1966. Este sismómetro triaxial, de registro en papel fotográfico, sin duda útil en los años 60 y comienzos de los 70, representaba una clara incomodidad para el análisis de series sísmicas, como p.e. la del año 1979, sobre todo cuando se requería una evaluación rápida y fiable de la actividad sísmica que tenía atemorizada a la población. Además, la baja resolución del equipo y su alto nivel de ruido de fondo debido a su ubicación dentro de una ciudad evidenciaban claramente estas carencias así como la necesidad de abordar un cambio profundo en la

infraestructura sísmica existente con el fin de poder abordar los estudios sísmicos con una base instrumental más moderna.

La Universidad de Granada, sensibilizada por la serie sísmica de 1979 y por la insistencia de los investigadores del Observatorio, dotó, a propuesta del entonces Vicerrector de Investigación Vara Thorbeck, de una subvención de un millón de pesetas para comenzar el diseño y la “autoconstrucción” de una infraestructura sísmica que dotara al Observatorio y a la propia Universidad de una red de microsismicidad moderna.

En aquellos momentos, la creación de una red sísmica de alta ganancia para registrar microterremotos tenía varios inconvenientes, unos puramente económicos (debido a la reducida dotación presupuestaria) y otros de carácter técnico, que había que solucionar además con un minúsculo grupo de investigadores. Entre los imponderables técnicos estaban los propios del diseño y construcción de las estaciones sísmicas remotas y los de la transmisión en tiempo real de los datos, que debía de hacerse vía radio (la más económica) y obviamente utilizando lugares que tuvieran visión directa con el Observatorio, y los correspondientes a la Estación Central de Registro junto con la obtención de una señal horaria que diese uniformidad a los datos, todo ello condicionado por las carencias ya mencionadas.

La puesta en marcha de toda esta infraestructura incentivó a los investigadores a avanzar también en otras tareas como la digitalización y la adquisición automática de las señales sísmicas y la detección automática de los eventos sísmicos, todo ello con microcomputadores, lo que era una auténtica innovación para la época. A estas tareas se fueron incorporando gradualmente investigadores y técnicos de la Universidad, formando un grupo pequeño cohesionado y altamente motivado.

Paralelamente se avanzó en el desarrollo de algoritmos de localización, evaluación de la magnitud, cálculos de mecanismos focales, etc. y en la evaluación automática de los terremotos detectados. Así mismo, se profundizaron y ampliaron los temas de investigación sismológica del Observatorio: sismicidad histórica, espacial, temporal y energética, y se incorporaron otros como desarrollo instrumental, proceso de datos sísmicos, sismotectónica, peligrosidad sísmica, etc. Frutos científicos de esta primera etapa de investigación fueron una serie de tesis doctorales de alta calidad, alguna de ellas recibió el premio a la mejor tesis doctoral de la Facultad de Ciencias en el bienio 1986-1987.

Creación del Instituto Andaluz de Geofísica.

El Instituto Andaluz de Geofísica y Prevención de Desastres Sísmicos se crea formalmente en 1989, con base en el antiguo Observatorio de Cartuja. Su finalidad es la investigación, docencia y divulgación en temas geofísicos y especialmente en los campos de la sismología, la ingeniería sísmica y la prevención sísmica.

En 1984 se firmó el Convenio Marco entre la Universidad de Granada y la Consejería de Gobernación de la Junta de Andalucía con el fin de desarrollar e impulsar la Red Sísmica de Andalucía (RSA) y los estudios sísmicos en nuestra región. El 15 de Mayo de 1989 se aprobó por el Claustro de la Universidad de Granada la creación del Instituto de carácter mixto, con el apoyo de la Consejería de Gobernación de la Junta de

Andalucía, con la que se han mantenido relaciones plasmadas en siete convenios específicos, centrados en materias de vigilancia, prevención sísmica y protección civil. El 11 de Octubre de 1989 fue aprobado definitivamente el Instituto por el Consejo Social de la Universidad de Granada.

En el Instituto se integran inicialmente profesores de la Universidad de Granada, incluido un grupo del entonces Colegio Universitario de Almería, hoy Universidad de Almería, que siguen vinculados al Instituto como investigadores. Actualmente forman parte del mismo profesores de diversos departamentos de las Universidades de Granada, Almería y Pablo Olavide, becarios Pre y Postdoctorales, personal de Administración y Servicios adscritos al mismo y personal técnico e investigador con contratos a cargo de Proyectos de Investigación y de Ramón y Cajal. Actualmente hay 8 grupos de investigación involucrados en los trabajos y proyectos del Instituto.

Actividades relevantes en los 80 y en los 90.

Resumir dos decenios de actividad científica, docente y divulgadora requeriría un gran espacio que sobrepasa nuestra intención de dar una visión concisa de los campos trabajados y de los hechos más relevantes realizados en los mismos, pudiendo ampliarse esta información a través de toda una serie de publicaciones nacionales e internacionales, de informes específicos, de las hemerotecas, etc.

Desde la primera etapa de puesta en marcha la Red Sísmica de Andalucía (RSA) la actividad en el campo de la instrumentación ha sido intensa y fructífera. Posteriormente se darán algunos datos del estado actual de estas instalaciones y en el trabajo de G. Alguacil se recogen, en forma resumida, las etapas por las que ha ido pasando este desarrollo instrumental y la instalación de dichas estaciones sísmicas. Tan solo indicar que en la etapa previa al inicio de la colaboración con la Consejería de Gobernación de la Junta de Andalucía, las dificultades y la falta de recursos eran un serio obstáculo que se superó solo gracias a un afán desmedido por obtener abundantes datos de calidad de sismos locales y también gracias a un trabajo agotador de los miembros del Observatorio y de los colaboradores a los que se les contagiaba el entusiasmo de los primeros. Las grandes dificultades para el diseño, construcción e instalación de los primeros equipos sísmicos, de transmisión telemétrica y de registro de las señales, no impidieron que se fuesen realizando estas, aunque en realidad los primeros equipos eran realmente prototipos que pronto eran remodelados y luego sustituidos por nuevas versiones más robustas y compactas.

Con la colaboración iniciada con la Junta de Andalucía, gracias al interés y empeño de los máximos responsables del Servicio de Protección Civil de la misma, G. Del Castillo y V. Medrano, se impulsan trabajos en varios campos. Por un lado los correspondientes a la vigilancia y seguimiento de la actividad sísmica, lo que implica el desarrollo de la Red Sísmica de Andalucía, el proceso de los datos, la información inmediata, la estimación de intensidades y la comunicación de las características de las zonas sísmicamente activas. Por otro lado los ligados a la peligrosidad sísmica, con los correspondientes trabajos en la sismicidad histórica y características espacio-temporales de los terremotos del Sur de España, la atenuación sísmica y los efectos de amplificación de las sacudidas sísmicas. Otro campo que se inició fue el de la estimación del riesgo sísmico de la región, con los correspondientes estudios de

vulnerabilidad sísmica y de estimación de escenarios de daños sísmicos, tanto ante terremotos típicos como en casos y zonas concretas. A esto hay que añadir la colaboración en los planes de emergencia y en la divulgación de los temas anteriores, especialmente en las medidas preventivas y de protección sísmicas. Todas estas actividades eran programadas a través de convenios específicos y sus resultados iban siendo paulatinamente entregados al Servicio de Protección Civil de la Junta de Andalucía y en Memorias anuales se resumían las actividades realizadas.

En cuanto a la vigilancia e información sísmicas destacar que se ha venido dando información de cada evento registrado por la RSA, lo que necesitó de sucesivas versiones de programas de lectura de fases, localización, cálculo de magnitudes, determinación de mecanismos focales, estimación teórica de las áreas de intensidad, parámetros espectrales de la fuente sísmica, etc. Esta información se viene dando en comunicados vía fax y recientemente vía internet (correo electrónico y página web). Además, en casos de series sísmicas, se iniciaba un seguimiento de las mismas, un análisis de su evolución y de la importancia de la zona activa. En este sentido, destacar p.e. las series sísmicas de Loja (Granada) de los años 1984 y 1985, la de Agrón (Granada) de 1988, de Antequera (Málaga) de 1989, etc. que no produjeron daños, en las que, gracias a estos análisis de su evolución se reconocieron las características de la actividad y se tranquilizó a la población, o p.e. la de los terremotos de 1983 de Cabo Gata (Almería), de 1984 de Alhama de Granada (Granada), que no produjeron daños pero sí gran alarma social (magnitud $m=5.0$), o los que sí causaron algunos daños como los de Isla Cristina (Huelva) de 1989, los de Berja (Almería) de 1993 y Adra (Almería) de 1994, de Mula (Murcia) de 1999 y de Gergal (Almería) 2002, cuyos daños fueron además analizados in situ.

Los trabajos de sismicidad histórica condujeron a la recogida y análisis de documentación de los terremotos destructores ocurridos en Andalucía desde el siglo XV, confeccionando un catálogo y realizando un estudio de los efectos destructores de los mismos, y se trazaron mapas de isosistas en los que había suficiente información documental. Se determinó la gran importancia de terremotos como p.e. los de 1431, 1522 y 1531, se revisaron en profundidad terremotos destructores andaluces como p.e. los de 1518, 1504, 1522, 1531, 1680, 1806 y 1884. Asimismo se recogió documentación de terremotos hasta el siglo IX.

En el estudio de la sismicidad instrumental destacar la revisión de las magnitudes de todos los terremotos de las Béticas, del golfo de Cádiz y del mar de Alborán, la relocalización de los de magnitud igual o mayor que 5.0 desde 1960 y de los de magnitud igual o mayor que 3.0 desde 1983. Se determinó que los terremotos de las Béticas tenían profundidades superficiales e intermedias (hasta 130 km) y tan solo unos pocos se localizaban a gran profundidad (630 km). Se determinó la distribución espacial de esta actividad sísmica y su complejidad. Se calcularon los mecanismos focales de los terremotos importantes desde 1950 y de terremotos pequeños desde 1983. Todo ello supuso un avance importante en el conocimiento de las características de esta región sísmicamente activa. Además se ha analizado la ocurrencia temporal de terremotos en Béticas-Alborán utilizando técnicas multivariantes, viéndose la dependencia espaciotemporal entre los eventos sísmicos para diferentes rangos de magnitud umbral. Estas técnicas y otras técnicas (análisis fractal, dinámica de caos, entropía, etc.) se han aplicado recientemente a terremotos y microterremotos evaluados con la RSA.

Se han determinado parámetros espectrales y leyes de escala de fuentes sísmicas de la región Béticas-Alborán. Se ha estimado la peligrosidad sísmica del sur de España con diferentes técnicas y para diferentes períodos de retorno. Se han estimado espectros de respuesta mediante técnicas de simulación, obteniendo valores máximos esperables del movimiento del suelo de terremotos probables en diferentes áreas fuente.

Dada la influencia de las características del terreno en el comportamiento dinámico del suelo, se han venido realizando determinaciones de la estructura geológica superficial (hasta 3 ó 4 km de profundidad) con técnicas de dispersión de ondas superficiales. En ámbitos locales, se ha determinado la estructura geológica muy somera (unas decenas de metros de profundidad) con perfiles de refracción sísmica, con ello se han podido modelar los efectos de sitio. Además con estudios de unidades geomorfológicas y análisis de microtremor se ha realizado la microzonación sísmica de algunas ciudades y poblaciones andaluzas como p.e. Granada, Almería, Adra, Berja, Dalías, Balerna, Balanegra, Vera, Motril, etc.. En esta línea de investigación se ha trabajado con investigadores de varias universidades japonesas (Tokio Institut of Technology, Universidad de Kanagawa, Universidad Metropolitana de Tokio, etc.), realizando estancias de trabajo de investigadores españoles en Japón y a la inversa. Asimismo se ha participado, en estos temas, en proyectos internacionales en diferentes países.

En el análisis de vulnerabilidad de edificios y daños sísmicos, se realizaron estudios de tipologías constructivas, y posteriormente se analizaron los factores que tenían influencia en la vulnerabilidad (estado de degradación, asimetrías, cimentación, etc.), y se sistematizaron dichos análisis creándose una metodología. Asimismo se comprobó el comportamiento dinámico de edificios mediante análisis de ruido ambiental y de técnicas de simulación. Se realizó una revisión de terremotos destructores para confeccionar matrices de daños en función de las tipologías y de los grados de vulnerabilidad así como los que predecían modelos teóricos y semiempíricos, con lo que se pudieron determinar los daños esperables para cada grado de intensidad y de vulnerabilidad. Estos modelos se compararon con los observados en los terremotos que han producido en el Sur y en el Levante español.

Como fruto de esta intensa actividad, se realizaron tesis doctorales en estos campos, se publicaron una gran cantidad de artículos en revistas internacionales de prestigio y también se presentaron cientos de comunicaciones en reuniones internacionales y nacionales, todo ello ha supuesto situar a los investigadores del Instituto a un nivel internacional y, consecuentemente, el reconocimiento internacional de la actividad del centro.

En la docencia hay que destacar los programas de doctorado, primero de Sísmología y posteriormente de Sísmología e Ingeniería Sísmica. Además se realizaron gran cantidad de Seminarios y Cursos especializados, con una nutrida participación de profesores de alto nivel internacional, pudiendo citarse, a modo de ejemplo, el Curso Europeo de Peligrosidad Sísmica o los de Prevención Sísmica. La docencia dada por miembros del Instituto ha sido también impartida en otros países (Japón, Italia, Argentina, El Salvador, México, etc.).

Las participaciones del centro en situaciones de emergencia sísmica han sido numerosas, muchas de ellas evaluando el grado bajo de dicha actividad y en otras, como

p.e. en la serie de 1993-1994 realizando estudios de escenarios de daños, y colaborando en el desarrollo e implantación de nuevos planes de emergencia en las poblaciones del Poniente Almeriense.

Los trabajos de divulgación sobre el riesgo sísmico de Andalucía y medidas preventivas y de protección sísmicas se iniciaron con las visitas al Observatorio y se ampliaron con la realización de campañas con el fin de educar a la población; la primera de estas fue con motivo del centenario del terremoto de 1884, se realizaron exposiciones y ciclos de conferencias en los pueblos importantes de las provincias de Granada y Málaga que fueron afectados por el terremoto. A esta siguieron otras campañas de divulgación, como por ejemplo las de 1985 en Granada, Motril, Málaga, Ronda, Almería y Berja, y otras muchas en las que existían exposiciones itinerantes, ciclo de conferencias y distribución de material con medidas preventivas y de protección sísmicas elaboradas por el Instituto. En los medios de comunicación también se divulgaban estas medidas tras la ocurrencia de terremotos sentidos, cuando la población estaba más sensibilizada. Asimismo, se han realizado campañas en colegios e institutos con material divulgativo adaptado a esos niveles.

Infraestructura científico-técnica del Instituto.

Servicio de Prospección Geofísica.

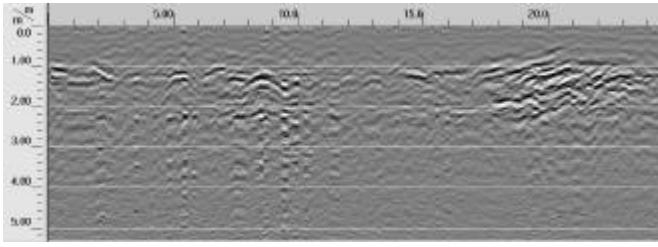
Representa la parte más novedosa del Instituto en cuanto se trata de una apuesta tanto a nivel científico como de servicio. La infraestructura científica ha venido de la mano de fondos FEDER y de proyectos de investigación. Esta faceta del Instituto intenta abrir su campo de actuación a otras líneas de investigación del subsuelo y su aplicación a otras disciplinas como la ingeniería civil, la arqueología, la paleosismología etc.. Esta área de actuación está pensada también como oferta de servicio geofísico de exploración no destructiva de subsuelo a otras empresas u organismos que soliciten trabajos más técnicos sobre investigaciones de exploración.

Constituida en 1994, empezó realizando labores de Geofísica aplicada a la Arqueología (métodos eléctricos y magnéticos). Posteriormente amplió su campo de acción, al reconocimiento del subsuelo en general, mediante el empleo de métodos electromagnéticos y sísmicos de alta resolución. Para su actividad dispone de: equipo de radar de subsuelo, equipo de prospección sísmica, equipo de prospección magnética y material auxiliar.

El radar de subsuelo

El georradar o radar de subsuelo, emplea una técnica de prospección basada en la emisión de pulsos electromagnéticos y en la recogida de las reflexiones, que se producen por los cambios del valor de la constante dieléctrica del terreno asociada a los distintos materiales.

Se consiguen profundidades de penetración de hasta 40 m (según los materiales atravesados) obteniéndose imágenes del subsuelo de alta resolución, lo que la hace especialmente apta para la delimitación de estructuras naturales o artificiales poco profundas (arqueología; tuberías y otras infraestructuras soterradas), detección de fluidos (agua o contaminantes), etc.



La ilustración corresponde a un radargrama tratado, sin migración.

Material disponible:

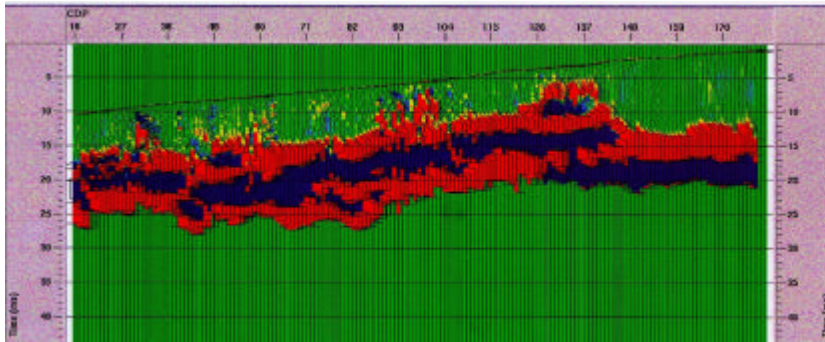
- Rádar de subsuelo SIR 2000, de GSSI (foto)
- Antenas de:
 - 900 MHz
 - 400 MHz (foto de la derecha)
 - 200 MHz
 - 100 MHz
 - Multifrecuencia de 15, 20, 35, 40 y 80 MHz
- Programas y accesorios



La prospección sísmica

Los métodos sísmicos se basan en la detección del frente de ondas elásticas producidas por una fuente artificial (martillo, explosivo, vibrador etc.), propagadas a través del subsuelo que se investiga y detectadas en superficie mediante sensores (geófonos).

Estas técnicas se aplican a investigaciones de alta resolución que permiten obtener estructura y morfología del subsuelo, estado de compactación y fracturación de los materiales, medición de parámetros para la ingeniería y la geotécnica, etc.



En la figura un ejemplo de perfil de refracción CMP, en el yacimiento arqueológico de Los Millares, (Almería).

Material disponible:

- Sismógrafo STRATA-VIZOR NZ24 de *Geometrics*
- Conmutador de geófonos Rollalong 96/24
- Geófonos
 - 48 verticales de 40 Hz
 - 24 verticales de 100 Hz
 - 24 horizontales de 10 Hz
- 2 líneas de 24 tomas espaciadas 5 m
- Programas y accesorios



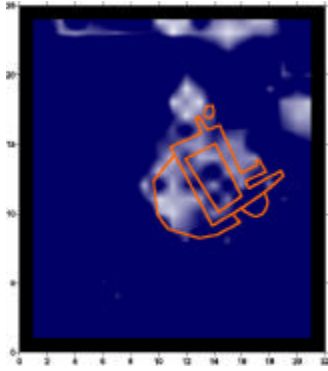
En la imagen el Sismógrafo STRATA-VIZOR NZ24

La Prospección magnética

Los métodos magnéticos se basan en la detección de variaciones del campo magnético local debidas a la presencia de estructuras subsuperficiales. Las anomalías que se miden son debidas a la imanación inducida o remanente de los materiales.

Esta técnica es especialmente útil para obtener información sobre estructuras arqueológicas que hayan estado sometidas a altas temperaturas y localización de cuerpos metálicos en general.

Actualmente se dispone de un magnetómetro de protones *Geometrics* que puede actuar como gradiómetro. Consta de dos sensores con un disparador que los activa secuencialmente y controlado por una única consola.



En la imagen se muestra un mapa de anomalías correspondiente al yacimiento Nazari de Garbín, Baza, Granada.

La Red Sísmica de Andalucía.

El análisis de la microsismicidad (terremotos de magnitud que 3.0 y sin efectos sobre la población) ha llevado a la progresiva instalación de estaciones sísmicas en la región por parte del Instituto Andaluz de Geofísica. Esta red sísmica, actualmente denominada Red Sísmica de Andalucía¹, nace, a principios de los años 80, como Red Sísmica de la Universidad de Granada y como ampliación y modernización de la primitiva estación de Cartuja establecida en 1903. El objetivo primordial de esta estructura de registro sísmico es la detección y análisis de la actividad sísmica de la región y el uso posterior de sus datos en investigaciones científicas y técnicas, algunas con una aplicación directa a la prevención sísmica o la protección civil, aspectos, todos ellos, de gran trascendencia social en una región sísmicamente activa que tiene la mayor peligrosidad sísmica de España.

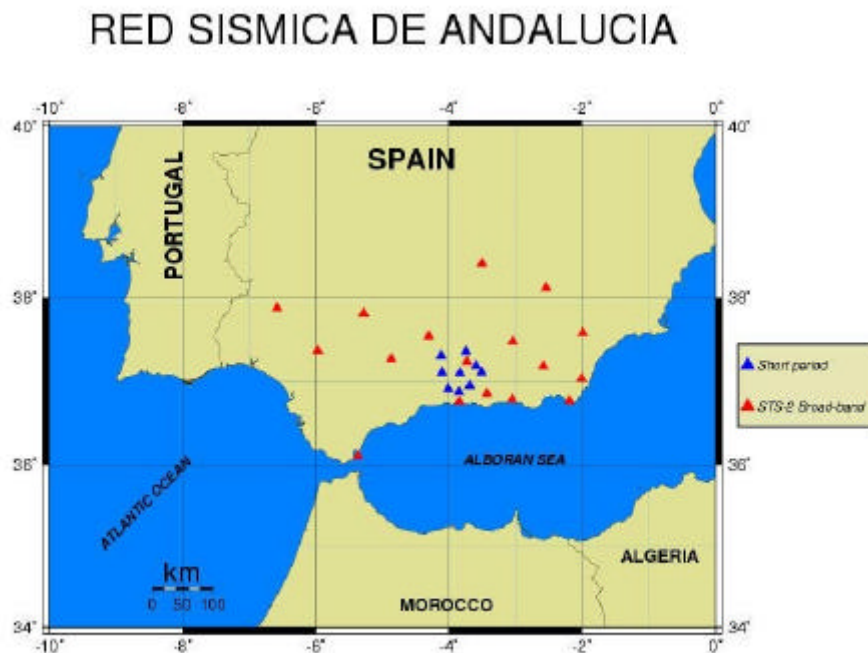
La Red Sísmica de Andalucía es el pilar fundamental de la investigación que se desarrolla en el Instituto, y este centro sigue la tradición de los fundadores del Observatorio en sus líneas básicas de innovación instrumental, estudios sísmicos y servicio a la sociedad andaluza. Esta Red Sísmica está compuesta de:

Red de microsismicidad y vigilancia sísmica.

En la actualidad la red de microsismicidad consta de 13 estaciones sísmicas fijas, de componente vertical, de período corto y de transmisión por telemetría analógica, desplegadas en diferentes puntos de Andalucía. Las estaciones, de desarrollo y construcción propios, constan de equipos de campo, que transmiten la señal vía radio a nodos situados en Granada y Almería, y de ahí a la estación central de registro, que se encuentra ubicada en el edificio del Observatorio de Cartuja. Estos instrumentos suministran información en tiempo real 24 horas al día de la actividad sísmica regional, nacional y global. Las señales analógicas se digitalizan a 100 m.p.s., los eventos se detectan con una aplicación informática que declara evento, almacena los datos en el disco duro y transfiere los datos a otras aplicaciones de lectura de fases y localización automática de sismos.

¹ El desarrollo de los instrumentos de esta red está detallado en un trabajo de G. Alguacil, recogido en esta publicación

Durante el año 2003, parte de la red de microsismicidad pasará a tener telemetría digital vía radio, con un aumento en el rango dinámico de la señal, y parte de la red se transformará en una parte de la red de banda ancha, la cual describiremos a continuación. En el mapa se puede observar la distribución actual de la red de microsismicidad, cuyas estaciones se han ubicado fundamentalmente en las provincias de Granada, Almería y Málaga.



Distribución de las estaciones de periodo corto y de banda-ancha de la RSA.

Red Sísmica de Banda-Ancha.

Se trata de una red moderna que el Instituto comenzó a desplegar a finales de los años 90. Estas estaciones incorporan sensores triaxiales de banda-ancha (100s-100 Hz), modelo Streckeissen STS-2, y se han instalado en el sur de España, fundamentalmente en territorio andaluz. Este tipo de sismómetros, junto con el sistema de adquisición sincronizado en tiempo y la utilización de conversores A/D de 24 bits, permite la obtención de datos con alta resolución, lo que se traduce en una mejora sustancial en la calidad de los datos y en superar el problema de saturación de los registros de terremotos locales de magnitudes media y alta. El sistema de adquisición (básicamente un Pc) utilizado para la instalación de esta red está basado en un diseño elaborado en el propio Observatorio. A día de hoy la Red consta de 7 estaciones desplegadas por toda Andalucía y durante el año 2003 se espera ampliarla red a un total de 15 estaciones. En la figura adjunta se puede apreciar cual es la configuración final de la red.

Red de acelerógrafos.

Consta de 10 equipos autónomos, 4 de ellos de 16 bits, modelo IDS-3602A de Terra-Technology, y 6 de 18 bits, modelo ETNA de Kinematics. Esta red va a verse incrementada con la integración de 17 acelerógrafos ETNA de la Universidad de Almería.

Estos instrumentos registran en campo cercano, y sin saturarse, aceleraciones de movimientos intensos que saturan las estaciones de microsismicidad. Sus registros se utilizan en estudios de fuentes sísmicas, atenuación y análisis de efectos de sitio.

Antenas sísmicas.

El Instituto Andaluz de Geofísica dispone de una red de antenas sísmicas que puede gestionar hasta 72 sismómetros que se despliegan en un reducido espacio de terreno. Esta instrumentación de diseño y construcción propia permite realizar estudios finos de propagación de ondas sísmicas tanto en ambientes tectónicos como volcánicos.

Durante los años 2001 y 2002 se realizaron cambios significativos en la adquisición, interrogación y tratamiento de los datos de la Red Sísmica de Andalucía, para integrar todos los datos en un mismo sistema que homogeneizase todos los sistemas de adquisición, análisis y almacenamiento. Se debían manejar y gestionar los datos provenientes de las redes de microsismicidad de Granada y Almería y la red de estaciones de banda ancha (con un sistema de volcado de datos por interrogación); asimismo, se debían realizar evaluaciones rutinarias de los eventos detectados (localización, magnitud, etc), incorporar al proceso los datos de estaciones remotas no conectadas en tiempo real, y finalmente almacenar dichos datos y parámetros junto con las señales en una base de datos robusta. La estancia de sabático del profesor Haskov, de la Universidad de Bergen, hizo que se avanzase en los temas de gestión de redes además de los de instrumentación. Con su ayuda se adaptaron a la RSA los programas de adquisición (SEISAN), de interrogación (SEISLOG) y de gestión de datos (SEISNET).

Actividades científicas actuales.

La base fundamental de la actividad científica realizada en el Instituto es el estudio de los terremotos y de sus efectos, aunque no es la única línea de trabajo e investigación que se desarrolla en el mismo. Dentro del Instituto se realizan estudios multidisciplinares en los que el punto de unión son los terremotos, sus instrumentos y las técnicas de análisis. Se integran investigadores de diversos campos como la Física, la Geología, las Matemáticas, la Historia, la Geografía Física, la Arquitectura y la Ingeniería tanto de las universidades de Granada como de Almería. A continuación se resumen algunas de las líneas actuales de trabajo.

- **Instrumentación sísmica.** Esta línea nace en los años 80 ante la necesidad de construir instrumentación propia debido al alto coste de los instrumentos comerciales. Como primer logro destaca la creación de la Red Sísmica de Andalucía, en donde toda la instrumentación electrónica y mecánica asociada a ella

ha sido diseñada y construida en el Centro (adquisición, transmisión y registro). Esta línea de trabajo es la base de partida de muchas de las actividades del Centro. Está centrada en el desarrollo y construcción de nuevos equipos sísmicos, y de los programas necesarios para la adquisición y análisis de los datos, lo que no sólo permite tener una red sísmica avanzada de bajo coste, sino su actualización con nuevas innovaciones y hace posible su transferencia a otros centros nacionales, como p.e. la Red Sísmica del Real Observatorio de la Armada en San Fernando, e internacionales como p.e. con la Università Dell'Aquila y el Osservatorio Vesuviano de Nápoles y se prevén otras en Francia (Niza) e Italia (Catania). Se debe destacar que esta línea se ha podido realizar gracias a la presencia de personal laboral técnico propio de la Universidad de Granada, cuya especialización permite además el mantenimiento de la instrumentación desplegada y la creación de nuevos equipos.

- **Sismicidad y sismotectónica del Sur de España.** Se estudian las características espacio-temporales de la sismicidad del Sur de España, las características asociadas a la ruptura y parámetros de las fuentes sísmicas, la estructura superficial, intermedia y profunda litosférica mediante tomografía sísmica y el análisis de propagación sísmica (atenuación) Estos estudios son fundamentales para el entendimiento de la dinámica de la región Béticas - Alborán y para el análisis de la peligrosidad sísmica de esta zona. Se alimenta fundamentalmente de los datos que la Red Sísmica de Andalucía suministra. Esta línea la desarrollan tanto físicos, como geólogos o matemáticos. Asimismo se realizan estudios aplicando herramientas de análisis estadístico a la ocurrencia espacio-temporal y energética de la actividad sísmica, empleando p.e. métodos multivariantes en el análisis de la sismicidad. Estos métodos han permitido caracterizar la zona hipocentral, encontrar patrones y modelos de ocurrencia de la actividad sísmica, determinar y caracterizar las zonas sísmicas desde el punto de vista espacio-temporal, determinar los periodos de actividad de sismos con magnitud superior a 4 y relacionar la magnitud con la intensidad. Una extensión de estos estudios son las aplicaciones de teoría de caos o de análisis fractal.
- **Sismicidad histórica.** El conocimiento de la historia sísmica de la región es imprescindible para completar los catálogos de los sismos importantes y poder entender la actividad presente y estimar más fiablemente la peligrosidad sísmica. En el Instituto se estudian la ocurrencia, características, efectos, etc. de los terremotos usando como base las fuentes históricas, aportando datos para los sismos históricos, de los que naturalmente no existen datos instrumentales. Para ello se cuenta con un grupo de investigadores de Historia, Geografía y Arqueología, que recogen y analizan la información existente sobre los grandes terremotos destructores de Andalucía y sus efectos. Existe una base de datos que se remonta a terremotos del siglo IX.
- **Geofísica aplicada.** Los trabajos realizados en nuestro Instituto se centran en la aplicación de técnicas geofísicas: sísmicas, magnéticas, gravimétricas y eléctricas para el estudio de estructuras geológicas superficiales con fines de investigación o de aplicación a ingeniería civil y a prospección arqueológica.
- **Sismicidad volcánica.** El desarrollo de las antenas sísmicas anteriormente mencionadas ha permitido dar un paso significativo tanto cualitativo como

cuantitativo en el estudio de la sismología ligada a los procesos y dinámica volcánica. Se estudia la sismicidad de diversos volcanes activos del mundo. Para ello se cuenta con una moderna red de estaciones (configuradas como antenas sísmicas) que ya han sido desplegadas en diversos volcanes como el Teide y Lanzarote en España, Stromboli y Vesuvio en Italia y en la Antártida en las Islas Decepción y Livingston. Desde 1993 esta línea de trabajo recibe fondos de investigación a través del Plan Nacional de Investigación en la Antártida, de proyectos europeos y de numerosos proyectos específicos italianos, se han realizado tesis doctorales en este campo y numerosos artículos internacionales, lo que ha permitido una proyección internacional importante en este campo.

- **Ingeniería sísmica.** Esta línea se centra en estudios de peligrosidad y riesgo sísmico, para caracterizar y cuantificar el comportamiento del terreno y los daños y efectos que pueden producir futuros terremotos en Andalucía. Se estudian los fenómenos ligados a la fracturación y a las fuentes sísmicas, las características de la propagación de ondas sísmicas para la determinación de las leyes de atenuación que sirven para la estimación de los valores esperados del movimiento del suelo en función de la magnitud y la distancia, la geología superficial por distintas técnicas (estudio de microtremor, dispersión de ondas superficiales, métodos numéricos, métodos semiempíricos de simulación) para el análisis y modelización de los efectos de sitio y una serie de técnicas para la determinación de la peligrosidad sísmica. En esta línea se han realizado importantes trabajos sobre fuentes y espectros de respuesta del suelo con investigadores mejicanos y de microzonación sísmica en ciudades del sureste español con investigadores de varias universidades japonesas.
- **Prevención sísmica.** Esta línea se dirige a la mitigación de los daños y efectos de futuros terremotos en Andalucía. Se estudian los tipos de edificaciones, su vulnerabilidad y la respuesta de edificios. Se ha colaborado en la planificación de emergencias sísmicas, destacando los trabajos hechos para toda Andalucía y la estimación de escenarios de daños sísmicos en la crisis sísmica de 1993-1994 y en otras series menos importantes, y en la realización de campañas de divulgación en el con el fin de educar a la población sobre el riesgo sísmico de Andalucía y las medidas preventivas y de autoprotección sísmicas. La financiación de estos trabajos ha sido a través de proyectos andaluces y contratos específicos de investigación de la Consejería de Gobernación de la Junta de Andalucía .

Servicios a la sociedad.

Probablemente los terremotos suponen unos de los fenómenos naturales que mayor impacto lleva sobre la población, no sólo cuando sus efectos son destructores, sino simplemente cuando éstos son sentidos violentamente por dicha población. La imposibilidad real de poder predecir a corto plazo la ocurrencia de estos fenómenos aumenta el impacto de los mismos. Este hecho, junto con la demanda de diversos tipos de información, hace que el Instituto posea una proyección social continuada y notable. Estas actuaciones van desde la información sobre un terremoto en particular, tanto a las autoridades (por ejemplo Protección Civil) como a los medios de comunicación, o a la población en particular, consultoría a empresas, programas de educación sísmica y

prevención, etc. Todas estas actuaciones tienen como primer punto el trabajo de control y vigilancia sísmica que se realiza a través de la Red Sísmica de Andalucía.

- **Control y vigilancia sísmica.** La Red Sísmica de Andalucía, descrita anteriormente, adquiere de manera continua todo tipo de señales sísmicas que se producen a distintas escalas, local, regional, e incluso mundial, en función de la energía de éstas. El primer paso es la discriminación, cuantificación y localización de estos terremotos con el fin de conocer, casi en tiempo real, donde se han producido y su potencial impacto (desestabilizador o destructor) sobre la población y los edificios. La densidad y tipo de estaciones sísmicas desplegadas (junto con las previsiones de mejora con nuevos fondos) y los programas actuales de análisis que se poseen permiten determinar en pocos minutos las características de los terremotos que ocurren en territorio andaluz. Una vez determinados los parámetros del terremoto, si este se ha percibido por la población, se determinan los valores teóricos de la intensidad en el área macrosísmica se realizan una serie de encuestas, básicamente mediante llamadas telefónicas, para determinar en un primer paso los efectos reales del sismo. La existencia de una página específica de internet propia del centro (www.ugr.es/~iag) para dar una información pública inmediata de las características de los sismos, permite además recibir de los usuarios datos de estos efectos.
- **Información sísmica.** Cuando un terremoto es percibido por la población se produce una demanda automática de información por entes oficiales (básicamente los servicios de Protección Civil y autoridades), medios de comunicación y particulares. El teléfono del Instituto aparece como uno de los 10 teléfonos más demandados en el servicio de información de Telefónica en las Provincias de Granada y limítrofes. Hay que destacar que, cuando el terremoto sentido provoca la alarma entre la población, se reciben peticiones de información de periódicos, emisoras de radio y canales de TV que visitan las dependencias del centro para realizar servicios informativos