

COLOMBIA

A. CATALOGO DE TERREMOTOS - DATOS DE HIPOCENTROS E INTENSIDADES (Proyecto SISRA)

J Rafael Goberna, S.J

Introducción

Los catálogos de hipocentros e intensidades de Colombia, que se presentan en esta etapa del proyecto SISRA, no son ni pueden ser completos y perfectos. Tampoco se pretendía esto al planear dicho proyecto. Durante los primeros siglos de la colonia solamente los cronistas especiales se ocupaban en narrar lo ocurrido en las ciudades seriamente afectadas por los temblores. Sin embargo, a partir ya desde principios del siglo XIX empezaron a aparecer no sólo científicos extranjeros, sino también personas nativas suficientemente ilustradas e interesadas en la ciencia y en la historia, que se preocuparon en registrar y anotar los temblores sentidos en sus ciudades, estos listados de carácter meramente locales y parciales pueden sin embargo considerarse como los primeros catálogos sísmicos en Colombia; así tenemos la lista de Dn. Santiago Pérez de Valencia para Popayán desde antes de 1800 hasta 1845; la de Dn. José Manuel Restrepo para Bogotá en su Diario Político y Militar desde 1819 hasta 1858 lo mismo que la de Dn. José María Caballero desde antes de 1800 hasta 1819. Para mitad del siglo ya existían en el orden internacional científicos como Mallet, Perrey, Fuchs, Milne, Montessus de Ballore y otros dedicados a coleccionar y catalogar datos sísmicos de extensión tanto nacional como internacional

Naturalmente este ambiente despertó más el interés en Colombia y para el fin del siglo el Sr. Francisco Javier Vergara y Velasco había reunido un buen número de los principales temblores colombianos y de las regiones vecinas y con ellos publicó en los Anales de Ingeniería de 1898 el primer Catálogo cronológico de temblores colombianos y poco tiempo después publicó además la primera Carta Sismológica de Colombia, que contenía los epicentros de su Catálogo. Sin duda este catálogo sirvió de fuente para otros listados de la época, como el de Rudolph y Szirtes en 1911, el de Espasa en el vol. 14 (palabra Colombia) de su Enciclopedia Universal Ilustrada Europea-Americana, y en parte también al de Milne.

Sin embargo, estos listados y catálogos se reducían a breves descripciones de los principales efectos sísmicos de los temblores cronológicamente ordenados o en meras listas con indicaciones del año y de la región, pero carecían de los más importantes parámetros e incluso de las fuentes. La elaboración de un verdadero listado y catálogo sistemático con la determinación e inclusión de los principales parámetros se debe al P. Jesús E. Ramírez cuando en 1947 como resultado de trabajos

anteriores publicó con la colaboración del P. Luis Forero Durán el primer Mapa Sísmico y Tectónico de Colombia, acompañado de un listado cronológico de los sismos colombianos más importantes con los valores de sus parámetros.

Este primer trabajo fue ampliándose, completándose y perfeccionándose en los años siguientes con nuevas ediciones y con otros listados y catálogos elaborados para diversos proyectos, como el SISAN de CERESIS, el de la Comisión de Estudios del Canal Interoceánico Atlántico-Pacífico y el de Woodward-Clyde Consultants para el Río Cauca. Pero sobre todo con sus obras sobre la Historia de los Terremotos en Colombia, especialmente en su segunda y última edición de 1975.

Naturalmente en todos estos trabajos colaboraron activamente bajo su dirección gran parte del personal técnico del Instituto Geofísico. Para la elaboración especial del actual Catálogo de hipocentros e intensidades sísmicas para el SISRA contribuyeron bajo la dirección del Coordinador Nacional P. J. Rafael Goberna, S.J., Director del Instituto Geofísico de los Andes colombianos (Universidad Javeriana) los Sres. Juan A. Duarte, Tito A. Vargas, William Arias y Timoleón Palencia, técnicos del mismo Instituto y miembros del Instituto Geográfico "Agustín Codazzi". A ellos se deben los trabajos de análisis sísmicos y además la determinación manual de gran parte de los parámetros hipocentrales (IGE). En cambio para el trabajo de computación colaboraron a las órdenes y bajo la dirección del Dr. Alberto Sarria Molina un grupo de sus estudiantes de la Universidad de los Andes.

Material utilizado

Para los epicentros históricos la fuente fundamental es la obra del P. Ramírez "Historia de los Terremotos de Colombia (segunda edición, 1975), ya que en ella se recogen gran parte de los datos tomados de las fuentes originales y en ellos principalmente se basan las determinaciones de los parámetros sísmicos adoptados, cuyo listado y catálogo se incluye al final de la obra con las referencias correspondientes. Para los sismos instrumentales se aceptan los valores dados por autores o entidades generalmente reconocidos como B. Gutenberg y Ch. F. Richter, U.S. Coast & Geodetic Survey y los demás organismos posteriores, como la NOAA, la NOS, etc. hasta la actual NEIS, a los cuales se añaden el ISS, el ISC y el BCIS.

En otros casos cuando se trata de sismos históricos no incluidos en la obra del P. Ramírez, la fuente principal es ordinariamente el Archivo del Instituto Geofísico (IGE), pero citándose la autoridad de donde se toman. En cambio en el caso de sismos instrumentales los datos están tomados directamente de los sismogramas analizados por el personal del Instituto Geofísico o de las

publicaciones del ISS y del BCIS y luego procesados por el método manual (IGE) o por medio de la computadora (HYP).

Sin embargo en el Catálogo final del SISRA se han incluido los valores dados por el ISC con preferencia a los de NEIS y entidades antecesoras, lo cual no creemos sea aceptable sin un cuidadoso análisis previo y sobre todo porque no es fácil tener a mano las publicaciones del ISC; esto tiene mucha más aplicación tratándose de los datos tomados de LASA y de LAO, pues algunos de sus datos son erróneos.

Objetivos

La principal finalidad del proyecto SISRA en su primera etapa era sistematizar según un modelo aprobado, el material sísmico existente en las instituciones pertinentes de las naciones suramericanas participantes. Con él se pretendía además elaborar listados provisionales de los hipocentros y de las intensidades de los eventos sísmicos recolectados en cada nación y a la vez confeccionar mapas de intensidades máximas y de zonificación sísmica, que sirvieran de base para luego investigar y determinar el riesgo sísmico de la región andina suramericana. Con estos objetivos generales delante, Colombia trató en primer lugar, de poner al día los listados de sus temblores, analizando y procesando los datos de los sismogramas de todas sus estaciones; en segundo lugar, tratar de sistematizar sus varios listados sísmicos de acuerdo a las normas adoptadas para las demás naciones; en tercer lugar, tratar de completar lo más posible el material sobre los eventos históricos y finalmente formar el catálogo de intensidades del mayor número de sismos, que pudieran servir para elaborar mapas de isosistas, que permitiesen trazar el mapa de intensidades máximas de Colombia. De ese modo Colombia pudo presentar no sólo sus catálogos de hipocentros y de intensidades, sino también una serie de mapas individuales de isosistas, con los que se elaboró el mapa de intensidades máximas, y además se elaboró un mapa neotectónico y otro de deslizamientos y soliflucción producidos por temblores.

Métodos empleados en el desarrollo de los catálogos de Hipocentros y de Intensidades

a) Naturalmente los valores de los parámetros de sismos históricos no pueden en general tener mucha precisión, sobre todo cuando no existen suficientes datos para precisar la intensidad y la extensión de sus efectos. Su determinación depende en gran parte del valor de la fuente original y de la apreciación de la intensidad y de los daños y efectos relatados por los testigos empleados por la fuente. De ahí que no siempre se puedan aceptar como exactos los datos sobre la hora y sobre los minutos señalados en las fuentes; incluso muchas veces existen divergencias entre los testimonios

sobre la hora origen y a veces sobre la misma fecha, especialmente cuando los datos no proceden de testigos presenciales, pues en épocas pasadas los mismos cronistas no se preocupaban mucho de la precisión de tiempo en los eventos referidos. Por lo mismo el tiempo origen asignado a los sismos históricos hay que tomarlo como el valor más aceptable en cada caso según los datos disponibles.

b) Por las mismas razones anteriores los valores adoptados para los parámetros de localización no tienen en la mayoría de los casos históricos más valor y significado, que la indicación general de la región, en que se sintió o causó daños un sismo. El método, pues, seguido por el P. Ramírez en este catálogo consistía en situar el epicentro de un temblor en la ciudad, en que sus efectos o daños fuesen mayores cuando no existían datos de otras partes. En el caso de existir daños y efectos aproximadamente iguales en dos ciudades, el epicentro se sitúa en el punto medio de la distancia entre ambas ciudades; si los daños y efectos eran mayores en una ciudad que en las demás el epicentro se sitúa a distancias inversamente proporcionales a dichos efectos. Naturalmente, los errores de localización pueden ser muy considerables sin que pueda determinarse su magnitud, sobre todo cuando los datos son muy escasos, como ocurre en los sismos más antiguos.

c) Cuando se trata de eventos instrumentales, los valores de sus parámetros son los dados por las personas y entidades, que los determinaron y que aparecen como sus autores; cuando alguno de esos valores están determinados por otras personas o entidades distintas, éstas se indican a su lado. En los casos de eventos instrumentales analizados y procesados tanto por el P. Ramírez o bajo su dirección como por el personal del Instituto Geofísico (IGE) la determinación de los parámetros del tiempo origen, distancia y localización geográfica se hace de ordinario por medio de las tablas elaboradas en la Universidad de Saint Louis (Saint Louis, Mo.) por el Rev Joseph s. Joliat, S.J. (Tentative tables of travel times for near earthquakes, Saint Louis University, 1931); solamente en casos especiales se usan las tablas de Jeffreys-Bullen o de Herrin. En todos estos casos, ya sean históricos o instrumentales procesados por medio de computadora (H y P) el programa empleado es el Hypo 71 modificado y entonces también se calcula la profundidad, tomando como profundidad básica de referencia la de los 40 km, la cual se acompaña con una R para indicar su restricción por el programa

d) Intensidades y magnitudes

Todos los casos de sismos procesados por el P. Ramírez o bajo su dirección (R - I) tanto históricos como instrumentales tienen asignadas magnitudes e intensidades. Sin embargo no se conoce exactamente el método empleado para sus determinaciones y el significado preciso de sus valores, con todo creemos con bastante seguridad que las intensidades están evaluadas de acuerdo con la

escala de Mercalli modificada y que para las magnitudes se utilizó la fórmula de Gutenberg-Richter para los sismos superficiales de California: $M = 1 + 2/3 I_0$, las tablas de equivalencia deducidas de ella (Richter Elementary Seismology, p. 353, o Bath Introduction to Seismology, p. 117, table 7). De este modo en los sismos históricos se determinó la intensidad para los efectos evaluados según los datos referidos por las fuentes y de ahí se pasó al cálculo de la magnitud (M_s); en caso de sismos instrumentales se siguió el mismo procedimiento o el inverso. De igual modo se procedió en los sismos, en los que esos valores no habían sido determinados por los autores de los demás parámetros.

Naturalmente en estos casos no se puede precisar la calidad o el grado de precisión de los valores asignados y por lo tanto los valores hay que tomarlos con cautela y seguramente necesitan una nueva evaluación y homogeneización con las determinaciones del Catálogo. Este trabajo no se ha podido realizar para el Catálogo actual de SISRA y por lo mismo no se ha determinado la intensidad de los sismos procesados para esta etapa de SISRA. En cuando a la magnitud se ha tratado de calcularla para todos los sismos posibles, utilizando la fórmula provisional

$$M_s = \log \frac{A}{T} + \log D + 0.77$$

en la cual A es la amplitud mitad del primer ciclo de P en la componente vertical de corto período del sismógrafo Benioff o del SRO reducida al movimiento del suelo; T es el período del ciclo anterior, D es la distancia hipocentral de la estación, en km. Aunque los resultados así obtenidos no se han analizado debidamente, por la comparación realizada ocasionalmente con valores dados por centros internacionales, se puede afirmar que resultan un poco bajos, por lo mismo tampoco se ha tratado de calificar su calidad

e) Catálogo de Intensidades

En la elaboración del Catálogo de Intensidades se acordó desde el principio seguir el modelo empleado para el proyecto SISAN y por esa razón Colombia incorporó en el proyecto SISRA todos los datos y resultados obtenidos anteriormente, pero además no sólo se ampliaron y se completaron con nuevos datos los eventos estudiados antes, sino que se elaboraron un buen número de nuevos eventos hasta formar un catálogo de 138 eventos. Naturalmente la fuente principal para estos datos fue también la obra del P. Ramírez, completada para muchos casos con el material de información y prensa, conservado en el archivo del Instituto Geofísico.

La evaluación de las intensidades se hizo de acuerdo con la escala de Mercalli modificada; sin embargo en algunos eventos la evaluación fue hecha por varios grupos independientemente; como consecuencia los valores obtenidos para la intensidad en el mismo sitio fue muy diversa. Naturalmente esto va a exigir un mayor análisis de la escala y de los criterios de aplicación, de modo que la diversidad de apreciación de los datos no sean tan grande. Por el momento hemos determinado no suprimir ninguno de los resultados ni tratar de uniformarlos, sino incluirlos todos con la referencia al grupo evaluador en cada caso.

Por otra parte como en los trabajos anteriores no se había pretendido calcular las distancias y azimutes de los diversos puntos al epicentro, tampoco se trató de hacerlo ahora tanto por el trabajo y tiempo que esto requiere como porque será más fácil hacerlo cuando estén también elaborados los mapas isosísticos.

Finalmente en cuanto a los valores de los parámetros sísmicos empleados en este Catálogo, se ha procurado usar los mismos, que se presentan en el Catálogo de hipocentros.

f) *Mapa de deslizamientos, agrietamientos y licuación*

No es mucho lo que se puede decir de la elaboración de este mapa; es el primero de esta clase, que se ha tratado de producir sobre los efectos geológicos de los temblores colombianos y que nos indican en donde han ocurrido estos fenómenos ya sea por la naturaleza de los terrenos o ya sea por la especial intensidad de los sismos, que los ocasionaron. Estos efectos están señalados sobre un mapa de Colombia a escala de 1:2,000,000 sin mucha precisión en los límites, pues han sido pocos los datos encontrados tanto en la obra del P. Ramírez como en las escasas fuentes disponibles y en la prensa ordinaria. Sin embargo se puede suponer que todavía se podrá encontrar bastante información en otras fuentes, que faltan por estudiar y analizar.

g) *Otros elementos*

La comprensión de otros datos o elementos incluidos en los Catálogos no ofrece especial dificultad y por lo mismo no parece necesaria una mayor explicación, en cambio creo es conveniente un breve comentario sobre el punto de las calificaciones de calidad y precisión en los parámetros principales. Excepto en el caso de utilizar programas de computación con bastante número de datos, parece sumamente difícil el poder apreciar con aceptable exactitud la calidad y precisión de los resultados de modo que se pueda cuantificar dentro de límites, que tengan utilidad práctica. Esto ocurre en todos los casos de eventos históricos y en los eventos instrumentales, cuyos datos son

escasos o su intensidad relativamente pequeña o moderada, como ocurre en la mayoría de los eventos catalogados. Por lo mismo no se ve la utilidad de emplear tiempo en tales determinaciones. En cambio, es más práctico y útil para apreciar la calidad y precisión de los valores presentados, el conocer el número de datos o de estaciones utilizado en los cálculos y determinaciones, como se está haciendo en los principales centros internacionales y así se ha hecho en nuestro Catálogo de Hipocentros. Igualmente nos parece el indicar con un símbolo aquellos valores, cuya precisión se sabe que es muy escasa, como lo hace NEIS mediante una estrella y actualmente con otros símbolos para diversos casos.

Planes y trabajos futuros

Como se señaló al principio los Catálogos actuales, presentados como fruto y resultado de los trabajos realizados durante la primera etapa del proyecto SISRA, no pueden ser ni completos ni perfectos por su misma finalidad y por la naturaleza de su elaboración; es un trabajo preliminar para presentar en común y según un modelo homogéneo el material sísmico existente en las naciones participantes. Esto no quiere decir que los resultados obtenidos no sean de gran valor e importancia; el esfuerzo realizado ha sido de un mérito excepcional y los datos encontrados en muchos casos duplican los anteriormente existentes. Sin embargo el trabajo que todavía queda por hacer es mucho y ciertamente muy valioso. En primer lugar es necesario seguir manteniendo los Catálogos al día mediante el continuo procesamiento de los datos diarios. Por otra parte, los datos y resultados obtenidos no son definitivos. Hasta ahora no ha sido posible conseguir y revisar todas las fuentes sobre los eventos ocurridos en la nación y mientras esto no se consiga, los datos y resultados pueden ser todavía ampliados y completados y tal vez incluso modificados. Además siempre quedan algunos casos sin analizar debidamente por ser dudosos y tal vez contradictorios sus resultados.

También es mucho lo que pueda hacer en la elaboración de mapas isosísticos, pues los preparados han sido relativamente pocos y con nuevos materiales todavía se podrán elaborar bastante más. Todo esto hará posible el mejorar no sólo la investigación y estudio de la atenuación sísmica y de otros elementos relacionados con el estudio de la relación entre la actividad sísmica y las fallas geológicas, que la producen o la manifiestan. Sin estos datos y elementos no se podrán determinar y conocer el peligro y riesgo sísmico de las diferentes regiones de la nación, que en definitiva es a donde debe llevar todo este estudio y trabajo del material sísmico.

Finalmente es también necesario emprender un estudio de otros elementos sísmicos de gran interés reciente, como es la determinación del momento sísmico de los temblores importantes, y de su mecanismo focal. Todo lo anterior no se puede conseguir en un período de tiempo limitado y tiene

que constituir materia de nuevos proyectos y de nuevos programas, que han de requerir también mucho tiempo y muchos medios económicos.

B. CERESIS-91.H

Introducción

En la preparación de esta versión del catálogo de sismos de Colombia se han tomado como referencias principales el Catálogo de Terremotos para América del Sur en la parte colombiana, para el período 1566 a 1981 (CERESIS, 1985); la actualización de la Información Sísmica de Colombia, período 1980 a 1987 (ITEC-ISA, 1988); el catálogo del Observatorio Sismológico del Suroccidente Colombiano (Universidad del Valle, Cali, Colombia) para el período 1987 a 1990; el catálogo del ISC de 1904 a 1993; el catálogo del NEIC de 1566 a 1995; y los estudios recientes de sismicidad histórica de Colombia

El estudio sistemático de la sismicidad histórica en Colombia fue iniciado por Jesús Emilio Ramírez, S.J., quien además de recopilar un gran número de datos de las fuentes originales, planteó una metodología que sigue siendo utilizada actualmente y que consiste en la transcripción literal de los textos (Espinosa, 1993). Los trabajos de Ramírez empezaron en 1933, pero su contribución fundamental es la segunda edición de su libro "Historia de los Terremotos en Colombia" (Ramírez, 1975) este trabajo consta de una colección de textos documentales con descripciones de los eventos principales, un comentario del texto y un catálogo de 1256 eventos desde 1566 a 1974 con los principales parámetros de los mismos.

En la última década se ha reiniciado el estudio de la sismicidad histórica en el país con la realización de los estudios de amenaza sísmica regional. Los resultados están plasmados en los trabajos de Espinosa (1993, 1994) quien ha hecho contribuciones importantes al catálogo histórico, especialmente en las zonas del suroccidente y centro del país. Espinosa, haciendo revisiones de fuentes primarias (relatos y crónicas de testigos de los eventos o de personas que tuvieron acceso a testigos directos) y secundarias (información recopilada por autores que no fueron testigos de los eventos que describen) ha elaborado mapas de intensidad de los grandes sismos de 1826, 1827, 1906, 1917 y 1979, ha introducido algunos eventos nuevos sobre los cuales la historia de la sismología del país no tenía conocimiento, y ha modificado la localización de algunos ya registrados en el catálogo.

La historia de la sismología instrumental en el país se remonta a 1923 con la instalación en Santafé de Bogotá de un instrumento mecánico de tipo Cartuja, sensible a las oscilaciones de largo

periodo (Goberna, 1988). Este instrumento se complementó en 1928 con un sismógrafo tipo Wiechert y en 1930 con otro tipo Cartuja, instalados en el mismo sitio. Con éstos se conformó la estación sismológica de Bogotá que funcionó con algunas interrupciones hasta 1940. La creación del Instituto Geofísico de los Andes (IGA) en 1941 inicia realmente la sismología instrumental en el país. Se empezó por la reubicación del instrumento Wiechert en 1943 y la instalación en 1947 de un Sprengnether de dos componentes horizontales de período 16 seg en el mismo sitio. Se continuó en 1949 con la instalación de 2 instrumentos del mismo tipo, uno en la costa norte (Galerazamba) y otro en el centro del país (Chinchiná). En 1957 como parte de las actividades del Año Geofísico Internacional el IGA instaló una estación de tipo Galitzin-Willip 100 km. al norte de Bogotá (Fúquene). Desde comienzos de la década del 40 el IGA empezó a hacer análisis rutinario de sismos, a publicarlos y a reportarlos al International Seismological Center y a otras instituciones. Los primeros boletines publicados por el IGA aparecieron en 1942 y continuaron apareciendo hasta finales de la década del 60.

Durante la década del 80 se crearon en Colombia los observatorios vulcanológicos de Manizales, Pasto y Popayán pertenecientes a Ingeominas, que realizan labores de observación sismológica y vulcanológica. También se creó el Observatorio Sismológico del Sur Occidente Colombiano de la Universidad del Valle (Cali, Colombia), observatorio de carácter regional, que cuenta actualmente con 10 estaciones de componente vertical de período corto, cubriendo esta zona del país.

El avance más importante en la instrumentación sísmica del país lo constituye la creación de la Red Sismológica Nacional de Ingeominas que inició su operación a mediados de 1993, con 15 estaciones digitales de período corto instaladas en la zona andina y la zona pacífica. Desde el comienzo de su operación la Red Sismológica Nacional publica boletines periódicos con listados y resúmenes de la actividad observada.

Esta versión del Catálogo Sísmico de Colombia presenta cambios importantes respecto a la versión precedente; en particular, se ha actualizado la información de estudios de sismicidad histórica reciente, se ha actualizado la información instrumental hasta 1991, y se han homogenizado las magnitudes, estimando magnitudes M_s para todos los eventos que aparecen reportados.

Material utilizado

En la elaboración de este catálogo se han utilizado básicamente fuentes secundarias, es decir, catálogos o estudios realizados por otros autores, sin hacer adquisición o análisis de información

primaria (documentos históricos o sismogramas). Esta es una tarea pendiente y casi que inagotable, tanto para la sismicidad histórica como la instrumental. En particular, los datos adquiridos en la última década por los observatorios locales o regionales de Colombia pueden proporcionar información valiosa sobre la actividad regional que aún no ha sido estudiada en detalle.

Este catálogo está basado en las siguientes fuentes:

1. **El Catálogo de Terremotos para América del Sur - Colombia (1566-1981)**, Proyecto SISRA I, Volumen 1, (CERESIS, 1985), basado en la primera Actualización de la Información Sísmica de Colombia de 1566 a 1979 (ITEC-ISA, 1981). Esta compilación fue realizada durante el Proyecto SISRA (Programa para la mitigación de los efectos de los Terremotos en la Región Andina) y coordinada por el Instituto Geofísico de los Andes en la parte colombiana. recoge 4628 eventos ocurridos entre 1566 a 1981, sin imposición de límite inferior en las magnitudes.

Este catálogo consulta como fuente más importante para los eventos históricos (sismos sin registro instrumental) la Historia de los Terremotos en Colombia (Ramírez, 1975) y registra 261 sismos de este tipo (código R-I). Cuando se trata de sismos históricos no incluidos en esta obra la fuente fue el archivo del Instituto Geofísico de los Andes (IGA), pero citan la autoridad de donde se tomaron (Goberna, 1985).

Para la sismicidad instrumental los parámetros sísmicos reportados corresponden, por una parte, a los eventos listados en los catálogos como los de Gutenberg-Richter, USCGS, NOAA, NOS, NEIS, ISS, ISC y BCIS, y, por otra parte, a los eventos analizados directamente a partir de los sismogramas del IGA y localizados manualmente o mediante un programa de computador. Para algunos eventos los parámetros de localización tomados de los catálogos internacionales se han completado con la magnitud estimada por el IGA (Goberna, 1985)

2. **Actualización de la Información Sísmica de Colombia, período 1980 a 1987** (ITEC-ISA, 1988): Utilizando los mismos criterios que en el catálogo anterior, se actualiza la información hasta 1987. Se hace énfasis en los sismos instrumentales registrados en el período 1980 a 1987, en la evaluación de intensidades y la realización de mapas de isosistas. Según los autores en esa actualización no se incluyeron los eventos originados en el Nido de Bucaramanga con magnitud m_b menor o igual a 4.5, debido a la altísima tasa de sismicidad con origen en esta fuente (ITEC-ISA, 1988).

3. **El Catálogo del Observatorio Sismológico del Suroccidente Colombiano de la Universidad del Valle (UVC)** (1990, comunicación personal), cubre especialmente el período 1988 a 1989. Este catálogo recoge la sismicidad instrumental registrada por este observatorio regional. La concentración de instrumentos en esta zona del país ha permitido la observación más detallada de la actividad y el mejoramiento de los niveles de detección, lo cual conlleva aumento del número de eventos registrados por el catálogo en esta zona
- 4 **Los catálogos del ISC y del NEIC** son la referencia principal para los años 1990 y 1991, para los cuales no se cuenta con información instrumental completa de observatorios nacionales

Método utilizado en la preparación del Catálogo de Hipocentros y Magnitudes

1. Criterios para la selección de eventos.-

La selección de los eventos que aparecen en este catálogo se hizo de la siguiente manera:

- a) Del Catálogo de Terremotos para América del sur - Colombia - Proyecto SISRA (CERESIS, 1985) y la Actualización de la Información Sísmica de Colombia, 1980 a 1987 (ITEC-ISA, 1988), se seleccionaron los eventos de magnitud m_2 mayor que 4.0 (M_s mayor que 2.4) Para los eventos que únicamente reportaban magnitud M_s se hizo la conversión a m_b de acuerdo con la ecuación $m_b = 2.5 + 0.63 M_s$ (Bullen, 1985). Excepto modificaciones menores, los datos de los eventos seleccionados se ha conservado casi en su totalidad. Para el período 1900-1981 se han incluido nuevas réplicas reportadas en los catálogos internacionales
- b) La información histórica del Catálogo de Terremotos para América del Sur - Colombia, Proyecto SISRA I, se ha actualizado con información de los estudios recientes de Espinosa (1993, 1994), a la cual se le ha dado preferencia sobre los registros previos, pues se trata de estudios más detallados.
- c) Del Catálogo del Observatorio Sismológico del Suroccidente Colombiano de la Universidad del Valle (UVC) se hizo una selección inicial de los eventos con magnitud de duración mayor o igual que 4.0, ubicados en la zona cubierta por esa red o cercanos a sus límites ($-79.0 \leq \text{longitud} \leq -73.5$; $1.0 \leq \text{latitud} \leq 6.0$) Después de

hacer una equivalencia a magnitudes M_s (ver sección de magnitudes), se seleccionaron los eventos de acuerdo con el mismo criterio que el numeral a).

- d) De los eventos reportados por los catálogos internacionales, en general se han preferido las soluciones del ISC, excepto cuando otra solución aportaba mejores datos, como número de estaciones o magnitud. Los eventos que no tenían reportada magnitud en ninguna fuente no se han incluido.

2. *Parámetros hipocentrales.*

a) Coordenadas focales.-

Para la mayoría de los sismos históricos (aquellos para los cuales no hay ningún registro instrumental) los parámetros de localización no tienen más valor y significado que la indicación general de la región en que se sintió o causó daños un sismo. El método seguido por Ramírez (1975) para ubicarlos consistía en situar el epicentro en la ciudad en la que sus efectos o daños fuesen mayores. Cuando el sismo produjo daños y efectos aproximadamente iguales en dos ciudades, el epicentro se situaba en el punto medio entre ambas (Goberna, 1985). Este sería también el método utilizado por Espinosa (1993, 1994) en sus estudios de sismicidad histórica.

Cuando se trata de eventos instrumentales, los valores de los parámetros son los publicados por los autores respectivos. En el caso de haber algún parámetro determinado por personas o entidades distintas, se señala. Para los eventos procesados bajo la dirección de Ramírez (código IGA), la determinación de los parámetros del tiempo de origen, distancia y localización geográfica se hizo de ordinario por medio de las tablas elaboradas en la Universidad de Saint Louis, Mo., por J.S. Joliat, solamente en casos especiales se usaron las tablas de Jeffreys-Bullen o de Herrin (Goberna, 1985).

Los sismos instrumentales localizados a partir de datos tomados de los sismogramas del IGA usando el programa HYPO71 (código HYP) son el resultado de una selección de eventos con los siguientes criterios: eventos con $RMS \leq 3$ segundos y un error probable de menos de 30 km en planta; se fijaron las profundidades en 40 km. cuando los errores eran demasiado elevados, se marcaron con asterisco los eventos para los cuales la localización inicial no cambiaba durante el proceso iterativo de HYPO71; en general, para sismos de magnitud menor que 5.5 se prefirieron las soluciones nacionales respecto a las de las agencias internacionales, pues en estos casos los datos de intensidad contribuyen a estimar la bondad de la localización (ITEC-ISA, 1988).

Los sismos del catálogo del Observatorio del Suroccidente Colombiano (UVC) son todos instrumentales. Por la distribución de las estaciones y la zona que se seleccionó para este catálogo, se ha considerado que las coordenadas focales son bastante confiables y no se ha hecho otra selección que la mencionada en el numeral sobre Material Utilizado.

b) Magnitudes -

Para los eventos históricos y algunos instrumentales calculados por Ramírez (código R-1) las magnitudes M_s fueron estimadas a partir de reportes de intensidad máxima I_o ,

Las magnitudes M_s estimadas por el Instituto Geofísico de los Andes (código IGA) se obtuvieron a partir de la ecuación:

$$M_s = 1 + 2/3 I_o \quad (1)$$

Se utilizó la misma relación para eventos localizados por otros observatorios y que no tenían magnitud reportada (Goberna, 1985).

Las magnitudes M_s para sismos históricos que tienen como fuente hipocentral a Espinosa (código ESP), han sido calculadas por la Red Sismológica Nacional de Colombia (código RSC) utilizando también la ecuación (1).

Las magnitudes M_b calculadas por el IGA, corresponden a los eventos localizados con HYPO71, y se han calculado a partir de la amplitud de la onda P de la componente vertical de corto periodo de un sismógrafo Benioff o de un SRO, reducida a movimiento del suelo, según la ecuación

$$m_b = \log (A/T) + \log D + 0.77 \quad (2)$$

donde A es la amplitud cero a pico del primer ciclo de la onda P, T el periodo del ciclo y D la distancia hipocentral en km (Goberna, 1985).

El Catálogo del Observatorio Sismológico del Suroccidente Colombiano (código UVC) reporta magnitudes de duración M_d , calculadas a partir de la ecuación

$$M_d = -0.87 + 2 \log T + 0.0035 D \quad (3)$$

donde T es la duración de la señal en segundos y D es la distancia epicentral en km (Lee, 1985)

Con el propósito de presentar un catálogo homogéneo en las magnitudes se calculó para todos los eventos la magnitud M_s . Para los eventos que no reportaban originalmente magnitud M_s , ésta se ha calculado a partir de la magnitud m_b . Esto se realizó de la siguiente manera:

1. Para los eventos en los cuales las fuentes han reportado magnitud de duración M_d (código D en el tipo de magnitud) se ha calculado la magnitud m_b según las ecuaciones

$$\begin{aligned} m_b &= M_d - 0.5 && \text{para } M_d \leq 5.4 \\ m_b &= M_d - 1.3 && \text{para } M_d > 5.4 \end{aligned} \quad (4)$$

inferidas a partir de observaciones de algunos eventos para los cuales, además de M_d , otra fuente había reportado magnitud m_b (Dimate et al, 1995). Estas magnitudes aparecen con el código RSC para la fuente de la magnitud m_b . Luego se calculó M_s según la relación del numeral siguiente.

2. Para los eventos que reportaban originalmente magnitud m_b , M_s se calculó a partir de la relación (Geller, 1976)

$$\begin{aligned} M_s &= m_b - 1.3 && \text{para } m_b < 4.3 \\ M_s &= 1.5 m_b - 3.4 && \text{para } 4.3 \leq m_b < 5.5 \\ M_s &= 3.0 m_b - 11.7 && \text{para } 5.5 \leq m_b < 6.0 \end{aligned} \quad (5)$$

Para dos eventos con $m_b > 6.0$, M_s se estimó de eventos de características similares para los cuales sí había reporte de M_s . Las magnitudes M_s calculadas a partir de m_b aparecen con el código RSC para la fuente de M_s .

Al utilizar este catálogo se debe tener en cuenta que en la estimación de las magnitudes existe una incertidumbre intrínseca al carácter diverso de la información procesada. De una parte, la interpretación de la información histórica, proveniente muchas veces de datos incompletos, dispersos o de fuentes secundarias, lleva una componente importante de imprecisión y subjetividad; de otra parte, la información instrumental ha evolucionado con el desarrollo de los instrumentos, así como la metodología para evaluar las magnitudes, dando origen a distintos grados de calidad y confiabilidad. En este trabajo se ha hecho una homogeneización del catálogo, reportando para todos los eventos magnitudes M_s con miras a reducir los problemas de la diversidad de la información

Catálogo de Intensidades

El catálogo de intensidades no ha sido modificado respecto al publicado por el Catálogo de Terremotos para América del Sur - Colombia, Proyecto SISRA I, período 1566 a 1981 (CERESIS, 1985). Ese catálogo, elaborado por Goberna, consta de 138 eventos. Para su elaboración se utilizó como fuente principal la obra de Ramírez (1975) y se complementó con material de prensa archivado en el Instituto Geofísico de los Andes. La evaluación de las intensidades se hizo en la Escala Modificada de Mercalli. Para los eventos para los cuales varios grupos hicieron distintas evaluaciones se conservaron todas ellas con la referencia correspondiente (Goberna, 1985)

Agradecimientos

La preparación de esta versión del catálogo fue realizada por personal adscrito a la Red Sismológica Nacional en el marco de los proyectos Catálogo Sísmico Nacional y Microzonificación Sísmica de la ciudad de Bogotá de Ingeominas. La universidad de los Andes, el Observatorio Sismológico del Suroccidente Colombiano y el Instituto Geofísico de los Andes aportaron sus propios catálogos o información documental, definitivos para la elaboración de este trabajo. A. Sarria y J. Duarte contribuyeron en la discusión de los criterios de estimación de algunos parámetros sísmicos.

APENDICE A: CODIGO DE ESCALA DE MAGNITUD

Adiciones o modificaciones para Colombia

- D Magnitud calculada a partir de la duración del sismo (ver ecuación (3) informe Colombia)
- K Magnitud Ms convertida de los datos de intensidad MSK usando la fórmula de Gutenberg-Richter (ver ecuación (1) informe de Colombia).

APENDICE B: CODIGOS PARA FUENTES DE DATOS Y MAGNITUDES

- CDG Central American Data Center, Guatemala.
- ESP Espinosa, A. 1993, Actualización del Catálogo Colombiano de Sismicidad Histórica, Ingeominas, Cali, 10 p.
 - Espinosa, A., 1994, Sismicidad Histórica de Santafé de Bogotá y su área. 1500-1994, Informe para el Proyecto de Microzonificación Sísmica de Santafé de Bogotá, Ingeominas, Cali, 35 p.
- IGA Instituto Geofísico de los Andes Colombianos, Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia.
- NOA De NOAA, National Oceanic and Atmospheric Agency Listado de Sismos históricos del mundo 2150 A.C. 1991. Dunbar P.K., Lockridge P A , Whiteside L S , 1992.
- PDE Determinación preliminar de Epicentros del National Earthquake Information Service NEIS/CGS.
- PER Perrey, A , 1858, Documentos sobre los temblores de tierra en Perú, en Colombia y en la cuenca de la Amazonía (1530-1857) Boletín de la Real Academia de Bruselas, v 7, p 1 - 134.
- RSC Red Sismológica Nacional de Colombia del Instituto de Investigaciones en Geociencias, Minería y Química- INGEOMINAS.
- QUI Instituto Geofísico, EPN, Ecuador.
- UPA Universidad de Panamá, Panamá
- UC Observatorio Sismológico del Sur Occidente Colombiano de la Universidad de Valle del Cauca, Colombia

ECUADOR

A. CATALOGO DE TERREMOTOS - DATOS DE HIPOCENTROS E INTENSIDADES (Proyecto SISRA)

José Egred

Introducción

1. Investigadores colaboradores:

Participaron en diferentes actividades de la elaboración de los catálogos, los siguientes investigadores:

Tglo Vinicio Cáceres (Instituto Geofísico)
Sr. Wilman Costa (Instituto Geofísico)
Tglo. Edgar Chicaiza (Instituto de Cómputo)
Sra Marcela de Robalino (perforación comp.)
Dr. Luis Fernández (CERESIS)

2. Reseña histórica:

Los catálogos se elaboraron en dos etapas:

Etapa	Catálogo	Período
1	Hipocentros	1900-1981
2	Intensidades	1938-1981
	Hipocentros	1541-1899
	Intensidades	1541-1937

Esto obedeció a ligeros cambios de criterio cuando el Proyecto estaba en marcha. Igualmente fue necesario realizar algunas modificaciones para cumplir con la versión definitiva del formato, que fue modificado

La etapa 1 del Catálogo de Intensidades se la hizo en base a la información original que en su mayoría se encontraba disponible en el Observatorio Astronómico de Quito. Para cubrir la etapa

2 fue necesario realizar una investigación específica para el Proyecto, la cual se la hizo recurriendo a fuentes originales de información, tales como archivos, bibliotecas, hemerotecas, etc.

Toda la información recopilada fue seleccionada, catalogada y evaluada, para finalmente proceder a la interpretación de las intensidades, en su totalidad. Esto permite que el Catálogo se lo presente con un criterio general uniforme para todo el período.

El Catálogo de Intensidades se concluyó y entregó en Agosto de 1983, a excepción de los parámetros. distancia epicentral, distancia hipocentral y azimut, que se envió para su inclusión en Octubre de 1984. El Catálogo de Hipocentros en Julio de 1983.

Materiales usados

1. *Catálogo de Hipocentros*

El Catálogo de Hipocentros se elaboró en base a información de las siguientes fuentes:

Período 1900-1981

- a) Catálogo Sudamérica (CERESIS)
- b) Catálogo Ecuador (CERESIS)
- c) Catálogo SISAN
- d) Boletines. USGS, ISC, USS, otros.

Período 1541 - 1900 -

- a) Breve Historia de los Principales Terremotos en la República del Ecuador
- b) Investigación de Sismos Históricos. José Egred A.

2. *Parámetros Hipocentrales*

Se incluyen todos los parámetros que ha sido posible determinar y con estricto ceñimiento al formato SISRA; tomando muy en cuenta el factor de calidad, especialmente para el período pre-instrumental

3. Localizaciones

Las localizaciones no instrumentales se determinaron por intensidades máximas y por isosistas, cuando fue posible trazarlas

En el catálogo original se hicieron constar todas las fuentes de información, para finalmente seleccionar la que debía incluirse en la versión final.

4. Profundidad

No se realizaron cálculos de profundidad. Constan únicamente los suministros por las fuentes.

5. Intensidad Máxima

Consta la máxima intensidad determinada en el Catálogo de Intensidades.

6. Magnitudes

Se incluyen para cada evento todas las magnitudes suministradas por diferentes fuentes, siguiendo el orden de prioridades SISAN, que se guía por la densidad y calidad de datos. Para el cálculo de magnitudes en base a la intensidad, se empleó la fórmula de Richter

A fin de evitar que se elimine una buena cantidad de sismos de magnitudes pequeñas o que no tenían en dato, no se fijó una magnitud inferior límite para la inclusión de los eventos en el Catálogo

7. Determinación de intensidades

El Catálogo de Intensidades fue elaborado exclusivamente para el Proyecto SISRA, desde la investigación y recopilación de datos, hasta la determinación de las intensidades, por lo cual es un Catálogo original. Se aprovechó esta circunstancia para tomar en cuenta mayores detalles en la evaluación que la hizo en la escala MSK

La determinación de intensidad máxima en los eventos con limitada cantidad de datos, especialmente en los terremotos históricos, se tomó en cuenta la máxima reportada. Para la inclusión en el Catálogo se tomaron en cuenta los eventos desde intensidad 3.

8. *Distancia Hipocentral*

Para el cálculo de este parámetro, en los eventos que no tenían dato de profundidad, se adoptó la profundidad normal: 33 km.

9. *Referencias*

No se insertaron referencias para cada sitio, sino para cada evento en general, las cuales constan en las primeras líneas del respectivo casillero.

10. *Planes futuros*

La investigación realizada para la elaboración del Catálogo, en especial para el período histórico, dejó en evidencia que aún queda mucha información que puede ser extraída y aprovechada, razón por la cual ya se ha implementado un proyecto para la continuación sistemática de la investigación. La información que se obtenga será insertada en los Catálogos, al igual que la que periódicamente se obtenga de eventos futuros.

B. CERESIS-91.H

Coordinador: Hugo Yepes
Investigador: José Egred

Introducción

Luego de concluido el Proyecto SISRA 1, en el Ecuador se continuaron los trabajos relacionados con los Catálogos de Hipocentros e Intensidades como quedó anunciado en el punto 10 del Informe Nacional (Vol. 1, 1985). Esto ha tenido como finalidad una permanente actualización de los catálogos y, en segundo lugar, la inclusión de nueva información en el período histórico y la rectificación de ciertos datos, como producto de una investigación más detallada y profunda que la que permitió el tiempo disponible en la primera etapa del Proyecto. Todo lo anterior se ha cumplido a cabalidad y el producto de ese trabajo es el presente Catálogo actualizado, corregido y aumentado.

Reseña histórica

Como quedó anotado en el Informe de SISRA 1, la investigación histórica llevada a cabo para la elaboración de los catálogos dejó latente la evidencia de que era posible rescatar mucha más información sísmica del período preinstrumental, por lo que se emprendió en una investigación sistemática que se extendió a casi todo el territorio ecuatoriano e incluso fue posible realizarla en varios lugares de España (ver referencias) y principalmente en el Archivo General de Indias de Sevilla; esto último gracias al apoyo de la organización francesa ORSTOM.

Como en la etapa anterior, toda la información fue catalogada y procesada, para proceder a la determinación de intensidades. Dado que se disponía de una apreciable cantidad de nueva información, se hizo necesaria una revisión general del catálogo original en su parte histórica, ratificando o rectificando los valores de intensidad anteriores e incluyendo nuevos datos disponibles e incluso nuevos eventos. La revisión general de los valores de intensidad, realizada por un sólo investigador, permite que el catálogo tenga uniformidad de criterio en este aspecto, a excepción de los terremotos fronterizos, en los cuales constan intensidades tomadas de otros investigadores

De los restantes parámetros, aunque en poca proporción, se rectificaron datos como fechas y horas que se pudieron conocer con mayor precisión. También se realizó una revisión general de los valores de distancias epicentral e hipocentral y azimut en el catálogo de intensidades.

En cuanto a los parámetros epicentrales, se realizaron nuevos análisis de los terremotos históricos más importantes, principalmente en función de las fallas tectónicas, con lo cual se reubicaron algunos epicentros.

Base de datos

Catálogo de Hipocentros

Tomando como base primordial el Catálogo SISRA 1, se incluyeron los nuevos datos hipocentrales tomados de las fuentes internacionales, a lo que se añade ahora hipocentros determinados con la Red Nacional de Sismógrafos del Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional.

Localizaciones

Las localizaciones epicentrales en el período preinstrumental, se determinaron en base a intensidades máximas, isosistas y consideraciones relacionadas con fallas geológicas

Los criterios de prioridad de la fuente han sido los mismos que se establecieron para el catálogo anterior. En los casos en que los epicentros se encuentran dentro de la Red Nacional y con una buena densidad de registros, se ha preferido estas determinaciones.

Profundidad

Los datos de profundidad son los proporcionados por las fuentes. No se han realizado determinaciones de intensidad para los sismos históricos

Magnitudes

Se fijó como límite inferior la magnitud 4.0. Guardando el orden de prioridades establecido, a más de la magnitud de la fuente del hipocentro, se incluyen otras magnitudes, en la medida en que los casilleros lo permiten.

Las magnitudes de la fuente OAQ y código K fueron obtenidas en base a datos de intensidad MSK usando la fórmula:

$$M = 1 + 2/3 I_0$$

Las magnitudes m_b , SIS, fueron calculadas en el proyecto SISAN, (una descripción de estas magnitudes se incluye en Ocola 1984)

Las magnitudes EPN determinadas con los datos de la Red Nacional de Sismógrafos se han calculado con la fórmula

$$m_d = m_b = 1.5 + 2.34418 \log T = 0.00130D$$

donde

T = coda en segundos

D = distancia hipocentral

Intensidad máxima

Consta en el catálogo la máxima intensidad de los terremotos importantes y algunos sismos sentidos, de acuerdo al Catálogo de Intensidades.

APENDICE A: CODIGOS DE FUENTE DE HIPOCENTROS

Añadido para Ecuador

- ABE (Ver BSA)
- BSA Boletín de la Sociedad Sismológica de América
- EPN Instituto Geofísico - Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador
- E-Y Egred J, Yepes H., Instituto Geofísico - Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador
- G-R Gutenberg B. Y Richter C.F , 1954, Sismicidad Princeton University Press, Princeton, N J.
- IGP Instituto Geofísico del Perú, Lima, Perú.
- JMA Agencia Meteorológica del Japón, Tokyo, Japón
- LAO Large Aperture Seismic Array, Seismic Discrimination Group Lincoln Laboratory, M I T 42, Cambridge, Massachusetts, USA
- PAL Tobin D.J. & Sykes L R.
- PAS Pasadena; California Institute of Technology, Seismological Laboratory, Pasadena, California, USA
- TAC Universidad Nacional Autónoma de México, Tacubaya, México
- WIC Wichita, Oklahoma, USA.

APENDICE B: CODIGOS DE FUENTE DE MAGNITUD

- ABE (Ver BSA)
- BJI Beijing, Institute of Geophysics, State Seismological Bureau, Beijing, China
- BSA Boletín de la Sociedad Sismológica de América
- EPN Instituto Geofísico - Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador.
- EUR Eureka, Nevada, USA
- E-Y Egred J., Yepes H , Instituto Geofísico - Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador
- GOL Golden, Colorado, USA.
- IGE Instituto Geofísico de los Andes Colombianos, Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia.
- ISS Resumen Sismológico Internacional, Observatorio Kew, Richmond, Inglaterra.
- PEK Pekin. (Ver BJI).
- R-I JE Ramirez S.J., y otros, Historia de los Terremotos de Colombia (Bogotá 1975), Instituto Geofísico de los Andes Colombianos, Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia
- UVC Universidad del Valle, Cali, Colombia
- WIC wichita, Oklahoma, USA.