

Sismo de Illapel (2015, Mw = 8.3). A la izquierda se ven los puntos donde se midió la altura de la ola de tsunami. A la derecha se ven tres estimaciones en función de la latitud: a) en rojo está la aproximación numérica; b) en azul está el modelo teórico; c) las líneas negras dan las alturas observadas.

La estadística muestra una altura de ola de 35 a 40 m. La altura mínima calculada es semejante a la altura máxima en el caso del modelo lineal. También se muestra que un valor grande del desplazamiento en la vecindad de la fosa genera mayores tsunamis.

Otro problema, también estudiado y publicado, se refiere a la rapidez con que pueden calcularse los resultados, con el fin de producir una alerta temprana. Esta es la gran ventaja de la Fase W, pero que solo permite estimar la magnitud del sismo. La propagación del tsunami y las alturas de ola en la costa también deben ser velozmente evaluadas, aunque sea aproximadamente; es decir, sacrificando precisión por rapidez.

Los datos que se obtengan con GPS podrán también ayudar a tener modelos rápidamente. Los tsunamis de una serie de grandes sismos alrededor del Océano Pacífico han sido estimados con estos métodos.

El sismo de Illapel del 16 de septiembre de 2015 (Mw = 8.3) produjo una altura de ola de 11 m., y más de un millón de personas tuvieron que ser desplazadas. El estudio detallado de la ruptura muestra también la diferencia entre la parte profunda y la superficial, debido a la segmentación del plano de falla.

Un estudio adicional sobre el sismo de Illapel contempla varios segmentos diferentes, y se ha usado la tecnología Neowave para modelar la evolución del tsunami. El modelo consiste en dos dimensiones espaciales y una temporal para simular la heterogeneidad de la fuente. Hay buena relación entre los resultados del modelo teórico y las observaciones del alto de la ola de tsunami en el terreno (Figura 2).

Es evidente que el progreso que se está obteniendo promete mucho más en el futuro, pero es necesario aumentar el número de jóvenes especialistas en tsunamis. Y para esto se necesita apoyo del Gobierno.

Lo más importante es la independencia que debe tener nuestro país en el estudio de tsunamis. La cooperación de Chile con Japón que se está realizando en la Patagonia también debería entregar su apoyo a este proyecto.

costa), donde puede alcanzar más de 3 km de profundidad. La fosa corresponde al límite entre la Placa de Nazca y la Sudamericana. Es en la fosa donde comienza el tsunami, si la ruptura sísmica llega hasta allí.

Este modelo simple corresponde a la batimetría en un plano vertical ortogonal a la línea costera. Sin embargo, también es posible modelar una incidencia oblicua, pero en este caso la amplitud de la ola de tsunami es menor.

Con este modelo es posible obtener el efecto de una ruptura paralela a la costa, y de un cierto largo finito. La modelización teórica del tsunami debido al sismo en Chile del 27 de febrero de 2010 (Falla inversa en Maule, de Magnitud 8.8), resultó bastante similar a las observaciones de terreno.

Un modelo más complejo y realista toma en cuenta la heterogeneidad de la batimetría y es multi-lineal, es decir, la profundidad del agua varía con la distancia a la costa, con dos o más segmentos lineales (Figura 1). La aproximación teórica es ahora matricial y se obtienen resultados con mayores altos de ola de tsunami.

Una forma distinta de analizar el tsunami es la simulación estadística, método que contempla el promedio de varios modelos. La aplicación a la zona norte de Chile para estudiar el sismo de abril de 2014 utiliza una ruptura de 30 a 55 km de ancho, de 180 km de largo, y una magnitud Mw = 8.1 a 8.2. Como se esperaba una ruptura con Mw > 8.5, el tsunami podría ser más grande en el futuro.

Vibraciones: ¿ADN de la Vida?

Tomás Guendelman



Jascha Fridman se alejó del perverso efecto de resonancia entre su frecuencia cardíaca y las notas de su violín, alargando su vida, pero quitándole lo que más apreciaba de ella.

Ya en la Antigüedad se hablaba de vibraciones, y se les definía como el movimiento interno de cada ser o cuerpo, desde el corpúsculo y la célula hasta los astros y el universo.

Muy relacionado con la idea anterior, y casi por casualidad, me encontré con un artículo en internet escrito por Manuel Ansele (esmatería.com/2014/01/16/) en el que señala: “Mientras usted lee esto, en su interior hay un multitudinario concierto de violines. Sus proteínas, como las que transportan en su sangre el oxígeno que está respirando o los anticuerpos que le defienden de microbios malignos, vibran como las cuerdas de un violín”.



Tomás Guendelman.

Esta conclusión deriva de las investigaciones que conduce la física Andrea Mardelz de la Universidad de Búfalo, en Estados Unidos, quien recuerda que el premio Nobel de Física estadounidense, Richard Feynman, ya aventuraba en 1963 que “todo lo que hacen los seres vivos puede ser entendido a través de los saltos y contorsiones de los átomos”.

El primer psicólogo de la civilización fue Hermes Trismegisto, padre de la filosofía hermética, sabio egipcio que vivió hace más de cinco mil años. En sus enseñanzas del Kybalion señalaba que, desde el puro espíritu hasta la más grosera forma de materia, todo está en vibración. Hoy, cinco mil años más tarde, no nos sorprende escuchar que las vibraciones están en el ADN de nuestra vida, tanto en lo material como en lo espiritual, por lo que surge la Neuromúsica, especialidad médica que estudia e investiga el funcionamiento cerebral asociado a la composición, interpretación o audición musical, en cualquiera de sus expresiones.

Recuerdo cuando hace unos quince o veinte años atrás mi ex compañero de estudios de tercera y cuarta preparatoria en la Escuela Olea, Alejandro Fridman, me decía en relación a su padre -el gran violinista Jascha Fridman-, que el médico le había prohibido seguir tocando el violín por los efectos que las vibraciones tenían en su ritmo cardíaco. En efecto, Jascha, que en esa época bordeaba los noventa años, dejó de tocar su amado instrumento musical y vivió hasta los cien. En otras palabras, se alejó del perverso efecto de resonancia entre su frecuencia cardíaca y las notas de su violín, alargando su vida, pero quitándole lo que más apreciaba de ella.

Es interesante ver que las frecuencias altas, como las del sonido de un violín, entran en resonancia con nuestros sentimientos asociados a altas frecuencias, de tipo emocional y melancólico, exaltando la tristeza y las

lágrimas. Por el contrario, las frecuencias bajas, como las del sonido de la batería, exaltan la euforia, no siendo raro observar que, tras un solo de batería, se produce una explosión eufórica notable en la audiencia.

La música se nutre de vibraciones, caracterizadas por diversos parámetros, entre los que destacan la “altura” o “tono”, que permite diferenciar sonidos de distinta frecuencia; la “intensidad”, con la que se diferencian los sonidos fuertes de los débiles; el “timbre”, que permite identificar el instrumento que emite el sonido; y el “ritmo”, a cargo del pulso de la interpretación. Todos estos parámetros se conjugan de muy diversas maneras y se superponen, produciendo sonidos que pueden ser muy agradables (armoniosos), o muy desagradable (ruidosos).

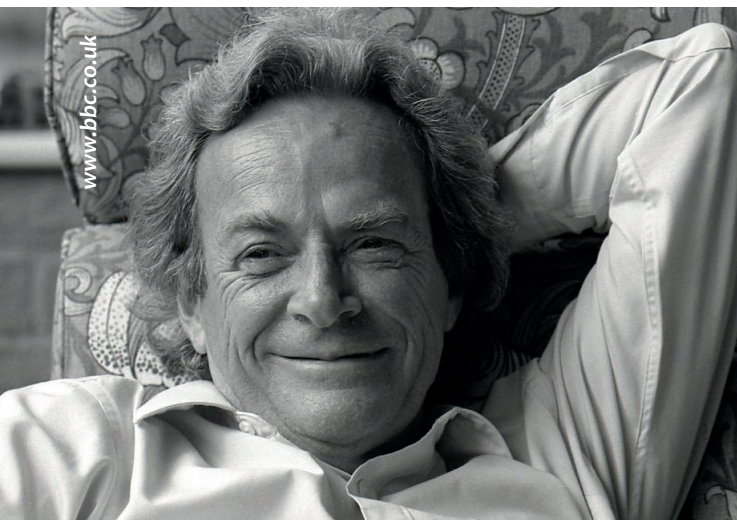
En el canto lírico se identifica el “do de pecho”, nombre que recibe en música la nota más alta del registro de un tenor (tesitura), que tiene una frecuencia de 523,251 Hertz, y cuya ejecución está reservada a muy pocos artistas. Uno de ellos, y tal vez el más conocido, fue Luciano Pavarotti.

Pero el mundo del sonido, que es el patrón del universo entero, permite asociar la música a la ciencia, encontrando semejanzas y complementos. Recuerdo haber relatado, en una columna anterior, el diálogo entre el gran músico argentino Atahualpa Yupanqui y el destacado sismólogo chileno (y columnista de esta revista) Armando Cisternas, quienes a esa fecha no se conocían. Ocurrió en una cafetería en París. Armando divisó a Atahualpa, se aproximó a él y le dijo:

- Maestro, usted y yo hacemos las mismas cosas.
- ¿Por qué? – respondió Atahualpa. - ¿Es usted músico?
- No; yo soy sismólogo, pero, así como usted le canta a la tierra, yo escucho a la tierra cantar.

El planeta Tierra es deformable y tiene masa asociada, factores que en conjunto lo definen como un elemento vibrante. Los dos primeros modos fundamentales, $\circ S_2$ (Esferoidal) y $\circ T_2$ (Toroidal), tienen periodos de vibración de 54 y 44 minutos, respectivamente. El primero de ellos se puede graficar como la transformación de una pelota de fútbol en una de rugby y, el segundo, como la deformación que sufriría esa misma pelota cuando se le somete a torsión, haciendo rotar un hemisferio en un sentido y el otro, en el sentido opuesto (ref.: Bruce A. Bolt, “Inside the Earth”, W.H. Freeman and Company, 1982).

Richard Feynman, premio Nobel de Física estadounidense, ya aventuraba en 1963 que “todo lo que hacen los seres vivos puede ser entendido a través de los saltos y contorsiones de los átomos”.



El estudio “Perfil Bio-Sísmico de Edificios” muestra que los edificios chilenos de altura intermedia tienen, mayoritariamente, H/T comprendido entre 40 y 70 metros por segundo, lo que constituye un rango muy adecuado de valores para lograr una positiva alianza entre seguridad y confort.

Foto: www.portalinmobiliario.com

Igualmente notable resulta comprobar que el hipotético viaje al otro lado de la tierra, a través de un túnel que pase por su centro -itinerario extendido del “Viaje al Centro de la Tierra” de Julio Verne- queda descrito por la misma ecuación del movimiento que sería aplicable a un péndulo de largo igual al radio del planeta.

Este péndulo iniciaría su travesía desde un punto sobre la superficie terrestre, partiendo del reposo, lleno de energía potencial, la que se iría transformando a medida que se aproxima al centro, para luego continuar su viaje hacia la antípoda del punto de partida, donde la energía sería exclusivamente potencial. El péndulo se detendría y se vería nuevamente atraído hacia el centro, para seguir hacia el punto de partida, al que llegaría exactamente en las mismas condiciones energéticas iniciales.

Este “round trip” demoraría 84 minutos y, como no se ha contemplado pérdida de energía en el proceso, resulta sencillo entender que cada nuevo ciclo será una copia fiel del primero y que las oscilaciones se prolongarán indefinidamente en el tiempo. Los 84 minutos de cada ciclo corresponderán, por lo tanto, al periodo de vibración del péndulo que simula este viaje.

En 1997, junto con Jorge Lindenberg y mi hermano Mario, presentamos en las Séptimas Jornadas Chilenas de Sismología e Ingeniería Antisísmica en La Serena un

trabajo que denominamos “Perfil Bio-Sísmico de Edificios”, buscando aquellos parámetros o indicadores que pudieran explicar el mejor comportamiento de los edificios proyectados y construidos en Chile, con respecto a lo que se observaba en el resto de los países sísmicos. Detectamos trece indicadores, pero sin duda, el que más repercusión ha tenido internacionalmente es el cociente entre la altura total del edificio -expresada en metros- y el periodo de vibración del modo principal, medido en segundos (H/T). Este cociente, con dimensiones de velocidad, muestra que, si su valor es inferior a 30, el edificio es muy flexible, pudiendo tener problemas debido a desplazamientos excesivos, especialmente si baja de 20. Del mismo modo, valores por sobre 100, podrían agregar excesiva rigidez al edificio, demandando sollicitaciones sísmicas muy elevadas.

El estudio muestra que los edificios chilenos de altura intermedia (10 a 25 pisos) tienen, mayoritariamente, H/T comprendido entre 40 y 70 metros por segundo, lo que constituye un rango muy adecuado de valores para lograr una positiva alianza entre seguridad y confort. Este punto de partida en la estructuración de un edificio, unido a un buen diseño estructural y a una correcta ejecución de la obra, les dan a los edificios que se construyen en el país un sello de calidad que se reconoce mundialmente. Hoy, casi 20 años más tarde, H/T puede ser interpretado como el indicador que mejor identifica el ADN del edificio chileno.