

## **ASIGNATURA ELECTIVA: FÍSICA, SISMOS Y SANTIAGO DE CUBA**

FÍSICA, SISMOS Y SANTIAGO DE CUBA

AUTORES: Luís Manuel Méndez Pérez<sup>1</sup>

DIRECCIÓN PARA CORRESPONDENCIA: lmendez@uo.edu.cu

Fecha de recepción: 29 - 09 - 2017

Fecha de aceptación: 13 - 11 - 2017

### RESUMEN

Se presenta el diseño de la asignatura "Física, Sismos y Santiago de Cuba" que se oferta como Electiva a los estudiantes de las diferentes carreras de la Universidad de Oriente con el objetivo de elevar su cultura de la percepción del riesgo sísmico, sustentada sobre bases científicas. La asignatura se diseña en concordancia con el objetivo de estas asignaturas de: responder a las características de la región donde se ubica la Universidad, etc.; en este caso a la vulnerabilidad sísmica de Santiago de Cuba, donde está ubicada la Universidad de Oriente.

**PALABRAS CLAVE:** diseño y evaluación de cursos; sismología; aspectos medioambientales

## **ELECTIVE SUBJECT: PHYSICS, EARTHQUAKE AND SANTIAGO DE CUBA**

### ABSTRACT

In this work shows up the design of the subjects of study "Physics, Earthquake and Santiago de Cuba" the one that is offered like Elective to the students of the Universidad de Oriente in Santiago de Cuba city, near to the seismogenic zone Oriente (Bartlett), considering the geodynamical activity, present the greater seismic hazard of the country. In this one historically are reported the major quantity of earthquakes and even with the largest magnitudes. The objective of subject concord whit the characteristic of region-localized University. Too to rise the seismic culture level of risk for whit a scientific base.

**KEYWORDS:** course design and evaluation; Seismology; Environmental aspects

### INTRODUCCIÓN

Una componente fundamental de los planes de estudios "D" de las carreras universitarias (Documento MES, 2005) es la inclusión y ampliación de las Asignaturas Optativas/Electivas, la cual constituye una plataforma elástica para incorporar al plan de estudio asignaturas diseñadas a la medida de la

---

<sup>1</sup> Profesor Titular Consultante, Ingeniero Físico, Master en Ciencias de la Educación Superior, Departamento de Física, Facultad de Ciencias Naturales y Exactas, Universidad de Oriente, Santiago de Cuba, Cuba

dinámica de la ciencia en un momento dado. Esta posibilidad, permite educar en el estudiante la capacidad de tomar decisiones y controlar su perfil de egresado, en alguna medida, durante el transcurso de sus estudios superiores. Además, posibilita la mayor libertad posible en cuanto a la selección de un conjunto de asignaturas no obligatorias, con el objetivo de que las diferentes sedes de las carreras tengan la oportunidad de adaptar sus planes de estudios a: (a) Las características del claustro, (b) Los intereses de los estudiantes, (c) las características de la región donde se ubica la Universidad, etc.

Nuestra Universidad de Oriente cita en la ciudad de Santiago de Cuba, está ubicada en una región cercana a la falla Oriente, o sea, (Arango, 2015) en el límite de la Placa de Norteamérica con la Microplaca de Gonave, situada al sur de Cuba, debido a esta posición geográfica es la de mayor riesgo sísmico en Cuba. Esta zona también es conocida como la zona sísmica Santiago de Cuba - Baconao, en la cual han ocurrido la mayoría de los terremotos más intensos en el país y que en la segunda quincena de enero del 2016 ha tenido una situación telúrica anómala.

Por tal razón, teniendo en cuenta el carácter territorial que pueden tener las Asignaturas Electivas del plan de estudios de las carreras universitarias y la posibilidad de tratar temas que normalmente no están en los planes de estudios en este trabajo se propone el diseño de la Asignatura Electiva "Física, Sismos y Santiago de Cuba", con el objetivo de elevar la cultura de la percepción del riesgo sísmico en los estudiantes de las diferentes carreras de la Universidad de Oriente, sustentada sobre bases científicas.

## DESARROLLO

### DISEÑO DE LA ASIGNATURA

El diseño de esta asignatura se sustenta en: según Shearer, 2009. p. 1) la Sismología es la Física de los sismos, es la ciencia que estudia las ondas sísmica y que ellas nos pueden decir sobre la estructura de la Tierra; el ejercicio 19 -22 y el problema 19 -38 del texto "Física Universitaria" (Sears, Zemansky, Young, Freedman, 2008, p. 616); la experiencia previa de introducir (Méndez, 2011, p. 122) algunos elementos de Sismología en la asignatura Física General II (Elasticidad, Fluidos, Oscilaciones y Ondas) de la carrera de Ingeniería Física impartida en el segundo semestre del curso 2009 - 2010 en la Universidad de Oriente; y el modelo didáctico propuesto (Suárez, Méndez 2016) para el diseño e impartición de asignaturas Optativas en la Licenciatura en Física relacionadas con el medio ambiente (Introducción a la Meteorología, Introducción a la Sismología y Fuentes Renovables de Energía), que buscan la interrelación entre el sistema de conocimiento impartido en la disciplina Física General en dicha carrera de la Universidad de Oriente con problemas del medio ambiente.

Con esta asignatura electiva "Física, Sismos y Santiago de Cuba" se propone presentar a los estudiantes la interrelación de la Física con su entorno sísmico de Santiago de Cuba, según:

FÍSICA → SISMOS → SANTIAGO DE CUBA

Para lograr esta interrelación se siguen las acciones didácticas presentadas en la Figura 1 en las secuencias de clases: conferencias, clases prácticas y seminarios. En la que según se van introduciendo los conceptos fundamentales de la Sismología se introducen los conceptos físicos y matemáticos que los sustentan con el objetivo de fomentar la cultura sismológica.

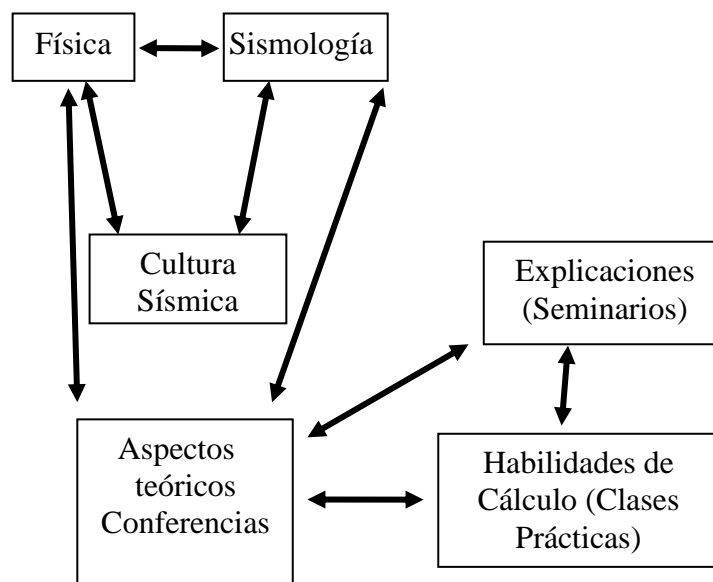


Figura 1 Esquema del modelo didáctico utilizado y la secuencia de clases: Conferencias, clases prácticas, y seminarios

En el presente diseño el nivel de profundización en cuanto al lenguaje matemático se adecua al perfil de la carrera del estudiante matriculado, por ejemplo, si los estudiantes son de ciencias sociales o humanísticas, la asignatura se impartirá con un carácter más descriptivo-cualitativo que cuantitativo.

### SISTEMA DE CONOCIMIENTO Y SU ORGANIZACIÓN

Para cumplir con los objetivos propuestos para la asignatura, se plantea el sistema de conocimiento:

Sismología. Los sismos, temblores o terremotos. Zonas sismogénicas. Tipos de fallas geológicas. Orígenes de los sismos. Parámetros de los sismos: tiempo de origen, foco, epicentro magnitud e intensidad. Ondas sísmicas S y P, su velocidad y energía. Evaluación de los sismos, por sus efectos y por su: Intensidad y magnitud. Escalas Richter, MSK y la EMS. Tiempo sísmico de recurrencia. Actividad sísmica de la zona Santiago-Baconao de la falla Oriente. Las Estaciones Sismológicas. Red sismológica cubana, el Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas (CENAIIS). Efectos inducidos por terremotos. Licuefacción, Tsunamis, etc. Percepción del riesgo sísmico. Modos de actuar antes, durante y después de un sismo.

Se plantean 14 horas de Conferencias, 4 de Clases Prácticas y 6 de Seminarios para un total de 24 horas. Este sistema de conocimiento según las horas propuestas se organiza en:

Conferencias:

1. Sismos y Sismología
2. Ondas sísmicas, localización de los sismos
3. Magnitud e Intensidad de un sismo
4. Sismicidad en Santiago de Cuba
5. Red Sismológica Cubana, Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas (CENAIS)
6. Efectos inducidos por terremotos (Licuefacción y Tsunamis)
7. Percepción del riesgo sísmico

Clases prácticas:

1. Caracterización de las ondas sísmicas P y S
2. Determinación de la magnitud de los sismos

Seminarios:

1. Los sismos, su origen y las ondas sísmicas
2. Percepción del riesgo sísmico y modo de actuar
3. Análisis de los efectos de los sismos, basado en un vídeo sobre el sismo del 10 de enero del 2010 en Haití.

Como se expresó ante, según se van introduciendo los conceptos fundamentales de la Sismología se introducen los conceptos físicos y matemáticos que los sustentan, por ejemplo:

Se parte de plantear que un terremoto o sismo es causado por un deslizamiento brusco de la corteza sobre una falla dado a que las fuerzas en la corteza, presionan ambos "lados" de la falla, y las fallas, como cualquier cuerpo en estado sólido en equilibrio al estar sometido a la acción de fuerzas, tienden a alargarse, comprimirse o torcerse, y de esta manera los cuerpos cambian su formas y dimensiones a la vez o por separado, o sea los objetos se deforman y los mismos se clasifican según las deformaciones que sufran las fallas y esto depende de cómo actúen las fuerzas sobre ellas, la acción de estas fuerzas sobre las fallas y sobre los cuerpos en general se clasifican según los esfuerzos principales.

Entonces, se introducen los conceptos de esfuerzo y deformaciones, considerando que, si la fuerza  $F_A$  está aplicada de forma tangencial a la superficie A del cuerpo, el cociente entre ambas magnitudes se le denomina esfuerzo de torsión, de cizallamiento o tangencial  $\tau_{xy}$  y la deformación  $\epsilon_{xy}$  que

produce se le denomina de igual forma. Magnitudes que se expresan respectivamente por las relaciones:

$$\tau_{xy} = \frac{F_A}{A} \quad (1)$$

$$\epsilon_{xy} = \frac{\tau_{xy}}{2\mu} \quad (2)$$

Siendo  $\mu$  el módulo de torsión.

Se prosigue explicando que la zona sísmogénica de Santiago de Cuba está en la denominada falla Oriente, Figura 2, una falla en la que una placa tectónica se desliza por la superficie lateral de la otra, Figura 3; siendo una de las placas, la de Norteamérica (Arango, 2015) con un movimiento absoluto de unos 18 a 20 mm/año hacia el este. En este caso, la fuerza que ejerce una placa tectónica sobre la otra es tangencial, las que definen un esfuerzo de cizallamiento, por tal razón estos tipos de fallas se denominan fallas de cizalla.

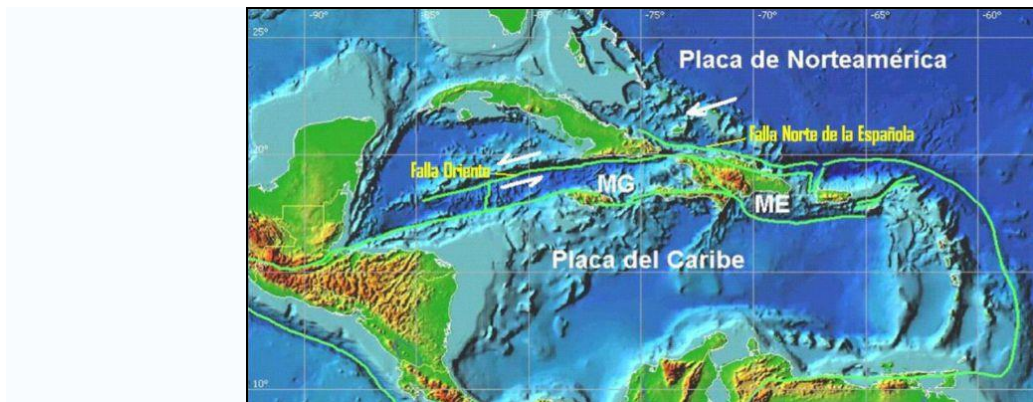


Figura 2 Zona sísmica de la. Falla Oriente, donde se encuentra Santiago de Cuba

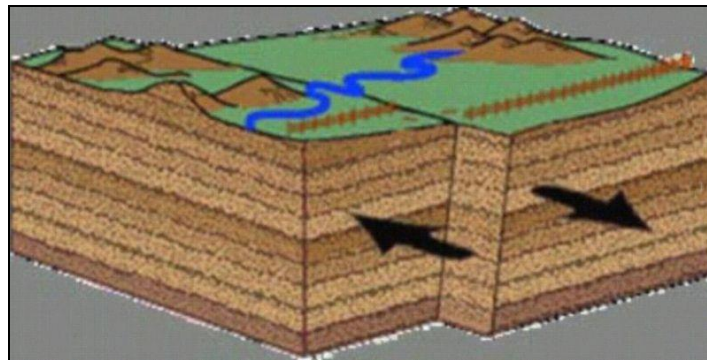


Figura 3 Falla de cizalla, como la de Oriente

Se definen los cuatro tipos de ondas sísmicas, las que se clasifican en dos categorías: ondas volumétricas y ondas superficiales. En la primera categoría están las denominadas ondas P (primarias) y las S (secundarias), en la segunda están las conocidas como ondas Love y las Rayleigh. Especificando que las ondas P son ondas longitudinales con una velocidad de 14 km/h, pudiendo desplazarse por sólidos, líquidos y los gases. Las ondas S viajan a una velocidad de unos 3,5 km/h a través de los sólidos y no de los líquidos y los gases y son transversales.

Entonces, se analizan algunas de las características de los movimientos oscilatorios y ondulatorios, analizando que en la naturaleza se producen determinados procesos y fenómenos que al cabo de cierto intervalo de tiempo  $T$ , denominado período, el sistema analizado vuelve a un mismo estado. Entre estos fenómenos están los llamados movimientos mecánicos periódicos, en ellos, lo que se repite es el estado de movimiento mecánico de una partícula. Un caso particular de estos movimientos es el realizado por un péndulo, o sea, el de un pequeño cuerpo de masa  $m$  suspendido de un hilo largo, que al separarlo de la posición vertical realiza un movimiento de vaivén entorno a esa posición. La posición de este cuerpo que oscila en el tiempo, se puede expresar en términos de una función sinusoidal con frecuencia angular  $\omega$ , del tipo:

$$x=A \text{ sen } \omega t \quad (3)$$

Siendo  $A$  la amplitud con  $\omega = \frac{2\pi}{T}$

Se continúa explicando que la propagación en un medio continuo con determinada velocidad de los movimientos oscilatorios de las partículas que constituyen dicho medio, se denomina Movimiento Ondulatorio, él que se describe por la ecuación:

$$Y(x,y)=A \text{ sen}(\omega t-kx) \quad (4)$$

Con  $A$  la amplitud de la onda,  $\omega$  la frecuencia angular de las oscilaciones y  $k=\omega/c$  el número de onda,  $\lambda=cT$  la longitud de onda y  $c$  la velocidad de propagación de las ondas, la que depende del medio por el que se propague la onda y está dada por:

$$C=\sqrt{(\mu/\rho)} \quad \text{para las ondas S}$$

$$C=\sqrt{(E/\rho)} \quad \text{para las ondas P}$$

Aquí  $\mu$  es módulo de torsión, relacionado con los esfuerzos tangenciales y  $E$  el módulo volumétrico de elasticidad, relacionado con el promedio de los tres esfuerzos normales, y  $\rho$  es la densidad del medio.

Los movimientos ondulatorios se subdividen en transversales y longitudinales, en los primeros Figura 4 (abajo, onda sísmica S), el movimiento de las oscilaciones es perpendicular a la dirección de propagación del movimiento ondulatorio u onda, en tanto en los segundos ambas direcciones son paralelas Fig. 4 (arriba, onda sísmica P).

De igual forma se procede al definir la Magnitud  $M$  de un sismo: como medida de la cantidad de energía que se libera en un sismo y que se transmite por las ondas sísmicas que se registran en las Estaciones Sismológicas, la forma más conocida de expresarla es en la escala Richter.

Para ello se deduce la ecuación que expresa la energía de las ondas, o sea:

$$E_T = \frac{1}{2} \rho A^2 \omega^2 \quad (5)$$

Y a continuación se plantea la ecuación de definición de la escala Richter:

$$M = \lceil \log \rceil_{-10} (A/T) + Q(h, X) \quad (6)$$

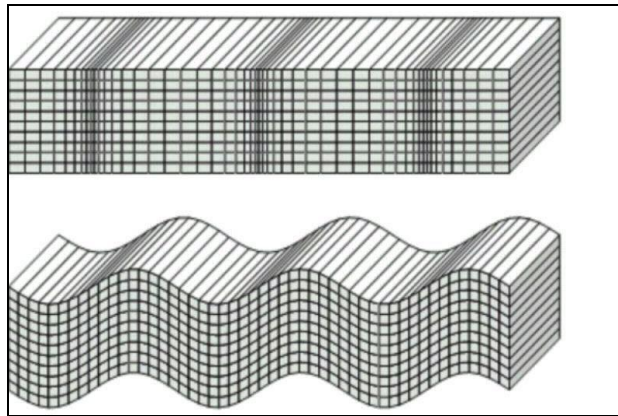


Figura 4 Onda P (arriba) longitudinal y onda S (abajo) transversales

Donde  $Q(h, X)$  es una función que depende de la posición de la estación con respecto al epicentro del sismo  $X$ ,  $A$  la amplitud máxima registrada en el sismograma y  $T$  el período de la onda sísmica registrada.

Se presenta también el gráfico de la dependencia de la magnitud en función de la energía, Fig. 5.

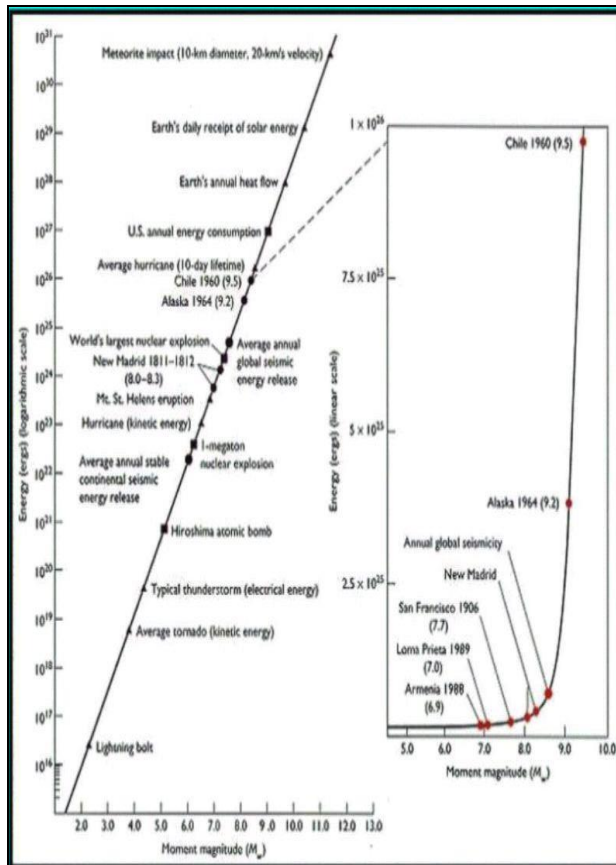


Figura 5 Gráfico de la escala Richter

Ejemplos de ejercicios a resolver en las clases prácticas.

1- La red de estaciones del Servicio Sismológico Nacional Cubano registró un sismo perceptible a las 01:37 am hora local (06:37 UTC del día 17), localizado Fig. 6, en las coordenadas 19.67 de latitud norte y los -76.04 de longitud oeste, en la provincia de Santiago de Cuba, con una profundidad de 5.0 km y una magnitud de 4.8 en la escala Richter. A las 01:48 am hora local (06:48 UTC) del mismo día, se registró un segundo evento, localizado en las coordenadas 19.63 de latitud norte y los -76.05 de longitud oeste, a una profundidad de 2.5 km y una magnitud de 4.6, ambos a unos 40 km al suroeste de la ciudad de Santiago. ¿Qué energía se liberó en ambos sismos?

2- ¿Cuántos sismos de magnitud 4 deben producirse para que se libere la misma energía que la de un sismo de magnitud 7?

Dos de los seminarios propuesto puede desarrollarse en base al análisis de preguntas cómo las siguientes:

1- Si se lanza una piedra a un estanque con agua y las ondas resultantes se extienden en círculos. ¿Pudiera considerarse el lugar donde cayó la piedra como un análogo al epicentro de los sismos? Explique.

2- ¿Cómo cambia la magnitud  $M$  de un sismo si la amplitud máxima  $A$  de la onda registrada en el sismógrafo de una estación sismológica aumenta?

El otro seminario se propone desarrollar, realizando la presentación del documental "Sismo en Haití" producido por Discovery a raíz del sismo ocurrido en este país el 10 de enero del 2010 con el posterior análisis de la situación catastrófica generada y las medidas a tomar en situaciones similares.

Se tiene elaborado un breve texto en formato digital, cuya caratula se muestra en la Figura 6. El mismo tiene siete capítulos que coinciden con los tópicos de cada una de las conferencias planteadas y se complementa con ejercicios para la realización de las clases prácticas y un sistema de preguntas para ser utilizadas en los seminarios y en la auto preparación de los estudiantes.

## CONCLUSIONES

El modelo propuesto permite diseñar una asignatura electiva para los estudiantes de la Universidad de Oriente con un sistema de clases consecutivas de conferencias, clases prácticas y seminarios, en los cuales los estudiantes van recibiendo simultáneamente un sistema de conocimiento propio de la sismología, apoyado de los fundamentos físicos necesarios para su comprensión, presentándose ejemplos concretos y prácticos de la ciudad de Santiago de Cuba, donde está enclavada la Universidad.

Con esta asignatura electiva se logra una articulación de las mismas con los problemas propios del territorio donde está enclavada la Universidad y contribuye a elevar la percepción del riesgo sísmico y a elevar la cultura de los alumnos en este sentido, sustentada en conocimientos científicos.



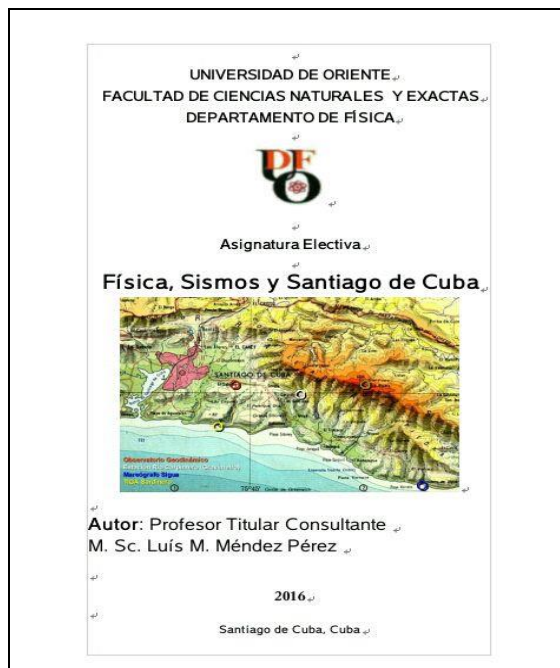


Figura 5 Caratula del texto elaborado

## BIBLIOGRAFÍA

- Arango Arias E. D. (2015). Tsunamis. Causas y peligros para Cuba y el norte del Caribe. XI Congreso Cubano de Geología. Simposio de Riesgo Geológicos y Sismicidad. Sexta Convención Cubana de Ciencias de la Tierra, GEOCIENCIAS 2015. GEO10-02. <http://www.cubacienciasdelatierra.com/es/general17>
- Méndez Pérez L. M. (2011) "Una Modelación Didáctica para promover la Cultura Sísmica en el curso de Física General". Revista Cubana de Física. Vol. 28-1E, p. 122.
- MES (2005). Documento base para el diseño de los planes de estudio "D". Ministerio de Educación Superior, ciudad Habana, Cuba.
- Sears F., Zemansky M., Young H., Freedman A. (2008). Física Universitaria. Novena edición Volumen I Parte II, Editorial Félix Valera, La Habana, Cuba, págs. 616 -617. 6.
- Shearer P. M. (2009). Introduction to Seismology. Second edition. Cambridge University press. p. 1.
- Suárez Palacio J., Méndez Pérez L. M. (2016). Diseño de asignaturas optativas en la Licenciatura en Física de la Universidad de Oriente relacionadas con el medio ambiente. Memorias en CD del VII Taller Iberoamericano de Enseñanza de la Física Universitaria y XXIII Curso Centroamericano y del Caribe de Física. 7 al 11 de marzo del 2016, ISBN: 978- 959- 282- 099 -9. 5.

