



# APLICACIÓN COMPLEJA DE LA GEOFÍSICA MARINA DE ALTA RESOLUCIÓN EN LA DETECCIÓN DE RIESGOS GEOLÓGICOS PARA OBRAS HIDROTÉCNICAS. EJEMPLO DE CASOS

***Moraima Álvarez Ortiz,; Jacqueline Artiles Pérez,; Jorge Luis Perdomo Castillo, Gustavo Godínez Barrera; José Raúl Gabilondo Márquez,.***

GEOCUBA Estudios Marinos. Punta Santa Catalina s/n. Regla. Ciudad de la Habana, Cuba. Teléfono 97-8255, 97-0015-18 Ext. 107, 114 y 118. E-mail: [mora@emarinis.geocuba.cu](mailto:mora@emarinis.geocuba.cu).

## RESUMEN

El desarrollo marítimo-portuario en las aguas cubanas como política de nuestro país requiere lograr la explotación de las instalaciones marinas; siendo necesaria la ejecución y restructuración de las instalaciones hidrotécnicas.

El objetivo del trabajo es mostrar cómo a partir de la aplicación de un complejo de métodos geofísicos, es posible obtener la información básica, para la detección de riesgos geológicos que pudieran afectar los procesos inversionistas tales como detectar objetos naturales sobre el lecho marino, determinar diversas formas de relieves y evaluar las anomalías asociadas a rocas con propiedades magnéticas.

El complejo de métodos geofísicos para los objetivos planteados está integrado por: levantamiento magnético marino, perfilaje sismoacústico de alta resolución, sonar de barrido lateral y batimetría acompañante, los cuales permiten obtener la información necesaria para la detección de riesgos geológicos.

Como resultado del procesamiento e interpretación de la información geofísica marina adquirida fueron determinados los registros y planos con anomalías cuyas características sean de interés. Se realizó un análisis del comportamiento de la intensidad de las señales acústicas y magnéticas para las zonas estudiadas con el objetivo de ejemplificar casos que reflejen presencia de estructuras geológicas que pudieran constituir riesgo en la proyección y ejecución de obras hidrotécnicas.

A partir de la aplicación integrada de los métodos geofísicos analizados se pudieron determinar patrones de anomalías geofísicas asociadas con posibles riesgos geológicos en las áreas de estudios independientemente de las condiciones naturales de la misma y determinar cualitativamente los tipos de fondo existentes.

## ABSTRACT

The maritime port development in the Cuban waters requires as a politics of our country to achieve the exploitation of marine installations; being necessary the execution and restructuration of hidrotechnical installations.

The objective of work is to evidence how is possible to obtain the basic information is possible to obtain basic information, from the application of complex of geophysical methods, for the detection of geological risks that may affect investment processes such as: detection of natural objects on the seabed, determining diverse forms of reliefs and evaluating the anomalies associated to the rocks with magnetic properties.

The complex of geophysical methods for the objectives presented is integrated for: Marine magnetic survey, high resolution seismic survey, side scan sonar and bathymetry as a complement, which permit obtaining the necessary information for geological risk detection.

As a result of interpretation and processing of the acquired marine geophysical information records and maps were presented with anomalies whose characteristics can be of interest. An analysis about the behavior of the intensity of the magnetic and acoustic signals for the studied zones were carried out with the objective of exemplify cases that show the presence of geological structures that may constitute risk in the projection and execution of hidrotechnical construction.

From the integration of applied geophysical methods some patterns of geophysical anomalies can be determined correlated with possible geological risks in the areas of studies independently of the natural conditions and determining qualitatively the seabed types existing.

## INTRODUCCIÓN

Para garantizar el desarrollo económico de nuestro país se requiere lograr una plena explotación de las instalaciones turísticas y portuarias; para lo cual es necesario realizar la ejecución y restructuración de las instalaciones hidrotécnicas, tales como muelles, marina, dragados de canales, etc.

El objetivo del presente trabajo es mostrar cómo a partir de la aplicación de un complejo de métodos geofísicos, es posible obtener la información básica, para la detección de riesgos geológicos que pudieran afectar el desarrollo de los procesos inversionistas tales como detectar objetos naturales sobre el lecho marino, determinar diversas formas de relieves y evaluar las anomalías magnéticas asociadas a rocas con propiedades magnéticas.

El complejo de métodos geofísicos para dar respuesta a los objetivos planteados está integrado por: levantamiento magnético marino, perfilaje sismoacústico de alta resolución, sonar de barrido lateral y batimetría acompañante, los cuales permiten obtener la información necesaria para la detección de riesgos geológicos.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Para desarrollar este trabajo se realizó la búsqueda de archivo, recopilación, procesamiento e interpretación de la información geofísica adquirida de trabajos precedentes con la finalidad de mostrar ejemplos de aplicación compleja de la geofísica marina de alta precisión en la detección de riesgos geológicos.

Toda la información seleccionada de interés para este trabajo fue verificada para garantizar la calidad de los datos, registros y planos, revisando su contenido y corroborando su ubicación espacial, se emplearon software de procesamiento, permitiendo la visualización, organización e interpretación de la información.

El levantamiento magnético marino se emplea con el objetivo de detectar e identificar las anomalías magnéticas, para lo cual es necesario la determinación de la distribución espacial de la intensidad magnética total ( $T$ ), su posterior procesamiento y confección los mapas de anomalías magnéticas de la intensidad total ( $\Delta T_a$ ). Los datos aplicados fueron adquiridos con un magnetómetro protónico Overhauser SPY, de 0.001 nT de resolución y un ciclo de medición de 1 s.



Figura 1 Sistema de adquisición y sensor del Magnetómetro Protónico SeaSPY.



El perfilaje sismoacústico de alta resolución se aplica para caracterizar la morfología del sub-fondo marino y calcular los valores de espesores de los estratos superficiales y secciones de correlación litológica de acuerdo a las condiciones acústicas de los diferentes horizontes sedimentarios y/o estructuras tectónicas. La correlación de todos los datos interpretados permite desmembrar el corte en sus diferentes fronteras reflectoras identificando los potenciales elementos existentes y posibles riesgos geológicos en el área de estudio.

La información empleada en este trabajo fue obtenida con un sistema de la firma APPLIED ACOUSTICS el cual está constituido por cuatro módulos fundamentales: los que mostramos a continuación.

- Fuente boomer AA 300 de emisión de impulsos acústicos con una energía entre 100 y 300 joules,
- Unidad de generación y almacenamiento de energía CSP- D,
- Hidrófono streamer de ocho elementos utilizado para recibir los pulsos reflejados
- Sistema de adquisición y el procesamiento de los datos CODA DA 2000.

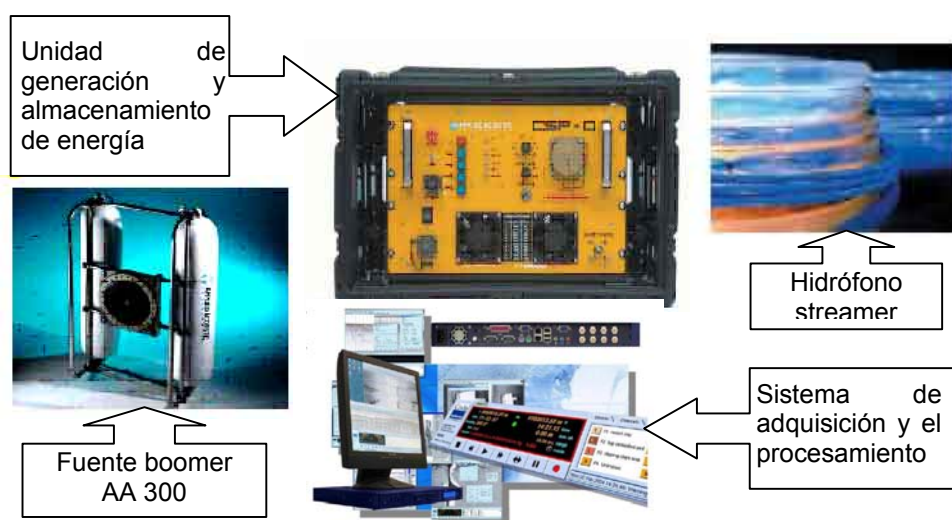


Figura 2 Sistema de Perfilaje Sísmico CODA DA 2000.

El sonar de barrido lateral tiene la finalidad de determinar de forma rápida y precisa la posición de los objetos de constitución sólida ubicados sobre el lecho marino o parcialmente enterrado en sus sedimentos friables, además de la delimitación de los diferentes tipos de fondo y la caracterización geomorfológica del lugar. Los registros usados fueron adquiridos por el sonar de la firma Inglesa C-Max que posee dos sensores con doble frecuencia de emisiones bien definidas (100 - 325 y 325 - 780 Khz), totalmente digitalizados y con los que se pueden obtener imágenes acústicas de gran resolución ( $\pm 5$  cm).

El procesamiento se realizó con el programa SonarWiz.Map permitiendo caracterizar el fondo marino a partir del análisis de la homogeneidad en la textura y los cambios en la morfología de los registros. Como resultados de la interpretación además fueron detectados en los registros sonográficos los posibles cuerpos sumergidos, dados por las diferencias significativas en los niveles de intensidad de la señal dispersada (anomalías geofísicas).

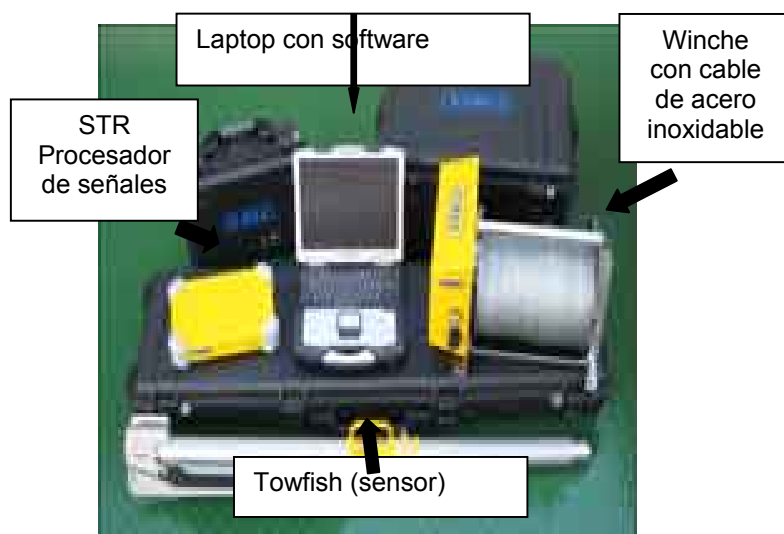


Figura 3 Equipamiento completo de sonar de barrido lateral C-Max.

La calidad y precisión de los resultados obtenidos con los métodos geofísicos empleados fue asegurada con el apoyo batimétrico para obtener las profundidades del fondo marino y para la localización geográfica de los perfiles de sondeo se usó el sistema de posicionamiento global (GPS).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Como resultado del procesamiento e interpretación de la información geofísica marina adquirida con la aplicación del levantamiento magnético marino, sonar de barrido lateral y perfilaje sismoacústico de alta resolución fueron determinados los registros y planos con anomalías cuyas características sean de interés para este trabajo.

Se realizó un análisis del comportamiento de la intensidad de las señales acústicas y magnéticas para las diferentes zonas estudiadas con el objetivo de ejemplificar casos representativos que reflejen la presencia de estructuras geológicas que pudieran constituir riesgo en la proyección y ejecución de obras hidrotécnicas.

Al analizar los mapas de anomalías magnéticas de la intensidad total ( $\Delta T_a$ ) en la bahía de La Habana con el objetivo de obtener información complementaria para ejecutar el dragado del canal de acceso a la TCH (Perdomo, 2005), con vistas a garantizar el tráfico marítimo seguro se detectó una anomalía magnética de gran extensión, la cual fue identificada al ser muestreada como roca ultrabásica dentro de los sedimentos friables (Perdomo, 2008). Su identificación permitió evaluar los riesgos en el proyecto de dragado para extraer este material de mayor dureza. Ver figura No.1.

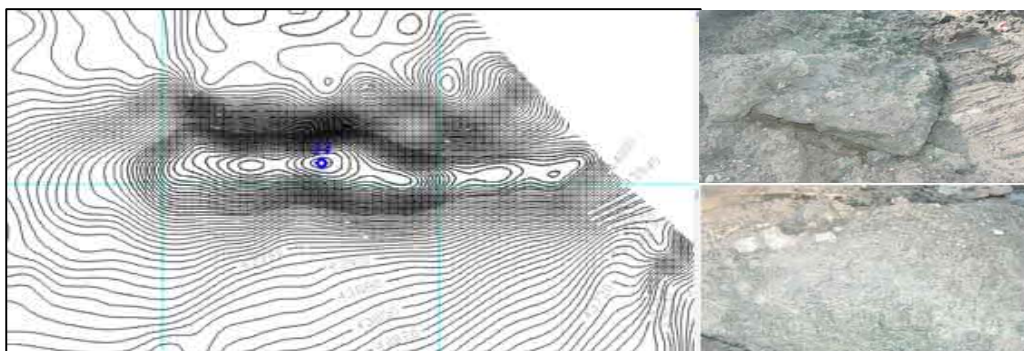






Figura 4 Anomalia magnética y fotos de un afloramiento de roca ultrabásica, localizada en la ensenada de Guasabacoa. Bahía de La Habana.

En estudios geofísicos ejecutados en el canal de la bahía de Cienfuegos para el emplazamiento de un oleoducto, tenemos que, cuando examinamos los cambios en la morfología de los registros de sonar de barrido lateral (Perdomo, 2011) y del perfilaje sísmoacústico (Godines, 2010) podemos caracterizar el fondo marino en el área como irregular, marcado por la existencia del cañón del canal de acceso a la bahía, con taludes pronunciados. Una textura más suave y homogénea en el registro sonográfico indica la presencia de sedimentos finos en el centro del canal, hacia los márgenes se aprecia una mayor aspereza del fondo dada por la presencia de materiales más gruesos, resaltándose en los registros por la variabilidad en la intensidad de la señal.

Es importante tener en cuenta los posibles asentamientos diferenciales que puedan ocurrir sobre todo en los contactos entre los diferentes tipos de sedimentos que componen el fondo marino, además de los deslizamientos en los taludes pronunciados y la posible presencia de afloramientos, aspectos que constituyen riesgos geológicos en la instalación del oleoducto.

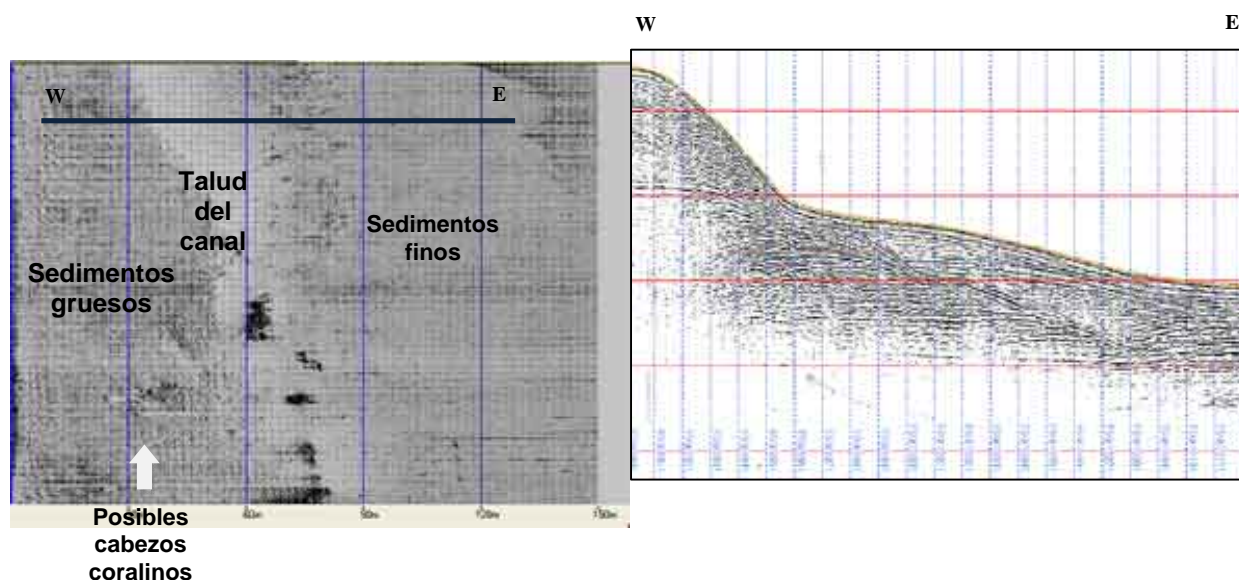


Figura 5 Registro sonográfico y sísmico, donde se aprecian cambios en la intensidad de la señal correspondiente a los distintos tipos de sedimentos que componen el fondo marino

En bahía de Mariel (Perdomo, 2010), (Godines, 2010) se realizaron investigaciones geofísicas para la valoración del dragado en el nuevo puerto a construir; incluyendo en este el canal de acceso. Se determinó que las profundidades, hasta el techo de la roca, son variables con taludes apreciables en la zona exterior y entrada de la bahía, detectándose alturas que llegan a ser afloramientos y que constituyen una barrera transversal al canal de acceso. Estas rocas constituyen un riesgo geológico por lo que deben ser estudiadas y clasificadas para el proyecto de dragado implicando cambios en la tecnología de dragado.

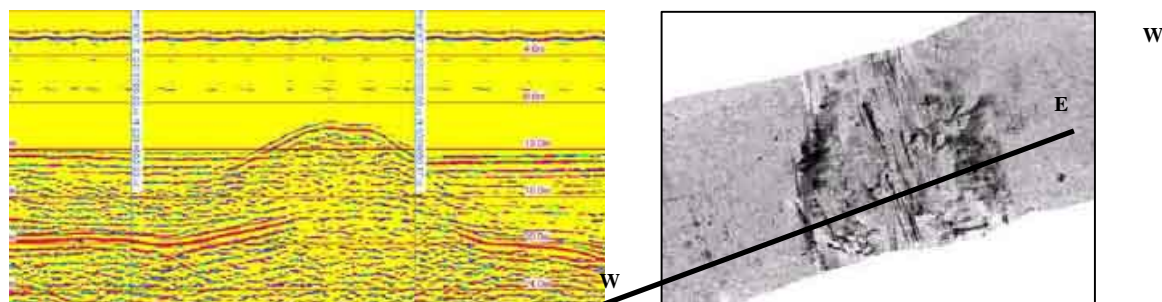




Figura 6 Registro sísmico y sonográfico donde se observa la elevación del techo de la roca en el fondo marino.

En sitio ubicado en punta Los Colorados en el exterior de la bahía de Cienfuegos donde se proyecta construir un muelle para la recepción de crudo se realizaron estudios geofísicos para evaluar las condiciones geológicas del macizo (Perdomo, 2011), (Godínez, 2010).

Las características de la señal acústicas definida en los registros de sonar de barrido lateral (mosaicos), infieren que el área de estudios está caracterizada por un fondo rocoso, representado por un relieve accidentado y agrietado con presencia elevaciones y depresiones cubiertas por pequeños espesores de sedimentos arenosos. Hacia las zonas más profundas se observa una mayor uniformidad en los registros, lo que presupone la aparición de sedimentos finos.

Dadas las condiciones derivadas del análisis de estos resultados, el muelle quedaría cimentado sobre una terraza coralina constituida por un fondo rocoso con una morfología superficial muy erosionada. Se evidencia la necesidad de realizar estudios geotécnicos que evalúen las condiciones de cimentación del muelle, considerando la generación de riesgos geológicos por la posible inestabilidad del macizo rocoso debido a la compleja dinámica de los procesos cárscicos.

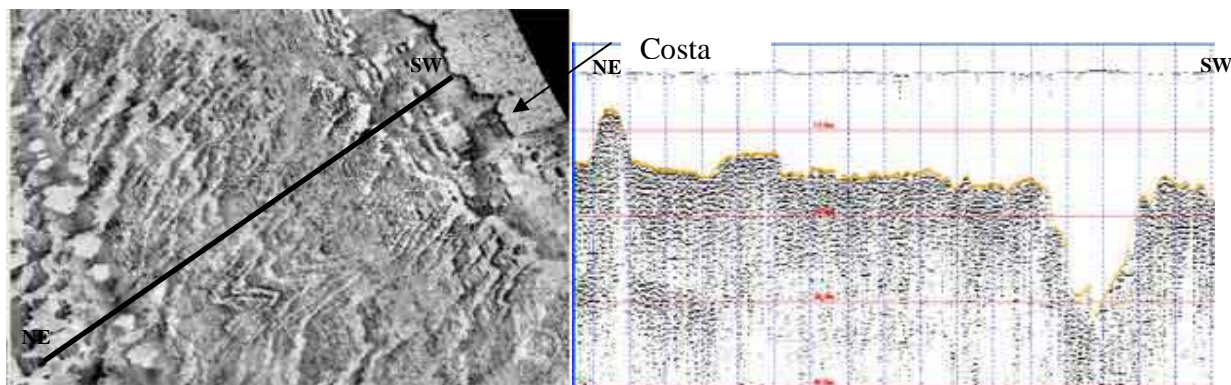
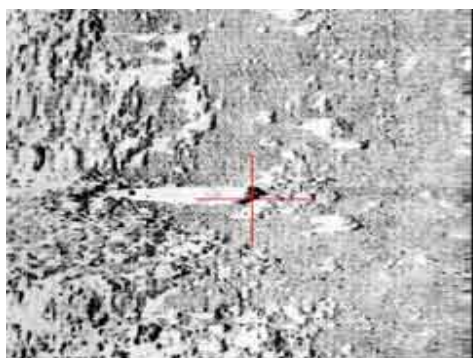


Figura 7 Registro sonográfico donde se observa el relieve marino accidentado, agrietado e irregular y registro sísmico donde la textura del registro es caótica indicando que no existe estratificación y que la penetración de la señal es prácticamente nula.

En estudios realizados en la cayería al norte de Villa Clara (Sardañas, 2012) se detectaron zonas de afloramientos, con presencia de cabezos coralinos que sobresalen el fondo marino y cuya geometría fue calculada mediante el software SonarWiz.MAP, estas formas de relieves deben tenerse en cuenta ya que pudieran constituir obstáculos naturales tanto para la navegación como en la construcción de cualquier obra hidrotécnicas.



Geometría del cabezo coralino mostrado

Altura: 1,53 m

Largo: 6,00 m

Ancho: 0,50 m



Figura 8 Registro sonográfico que muestra un fondo rocoso con presencia de cabezos coralinos.

## CONCLUSIONES

La aplicación integrada de los métodos geofísicos posibilitó determinar las anomalías geofísicas asociadas con los posibles riesgos geológicos en las áreas de estudios independientemente de sus condiciones naturales.

La aplicación combinada de sísmica y sonar mostraron cambios en la intensidad de la señal definiendo:

- Zonas de contactos entre diferentes tipos de sedimentos, importante tener en cuenta, dados los riesgos por posibles asentamientos diferenciales.
- Taludes pronunciados a tener en cuenta al evaluar los deslizamientos.
- Detección de cabezos coralinos y su geometría, los que constituyen riesgos geológicos para la navegación y la construcción de obras hidrotécnicas
- Presencia de fondo rocoso con morfología superficial muy erosionada que evidencia la generación de riesgos geológicos por la posible inestabilidad del macizo rocoso debido a la compleja dinámica de los procesos cárscicos.

Por análisis de las anomalías magnéticas de la intensidad total ( $\Delta T_a$ ) fue identificado un afloramiento de rocas ultrabásica (serpentinita) dentro de los sedimentos friables permitiendo evaluar los riesgos en el proyecto de dragado.

## BIBLIOGRAFÍA

- Ariosa, J., 2001. Evaluación de amenazas ambientales. Facultad de Arquitectura. Universidad de Oriente. Santiago de Cuba, Cuba
- Godines, G.L, et al, 2010. Investigaciones geofísicas para el completamiento de la información de suelos en el proyecto ejecutivo de dragado del puerto del Mariel. 2a parte canal de acceso.
- Godines, G.L, et al, 2010. Estudio sismoacústico para cruce submarino del oleoducto. "Ingeniería conceptual – segunda etapa de expansión refinería Camilo Cienfuegos".
- Godines, G.L, et al, 2010. Estudio sismoacústico para muelle de recepción de crudo, punta los colorados. "Ingeniería conceptual – segunda etapa de expansión refinería Camilo Cienfuegos".
- Gordón, V, M et al, 1986. Magnetometría Marina (Traducción). Editorial Nedra. 132-200p.
- Perdomo, J.L, et al, 2005. Investigaciones Geofísicas en el canal de acceso a la TCH. Bahía de la Habana. Empresa GEOCUBA Estudios Marinos, Ciudad de La Habana, Cuba.
- Perdomo, J.L, et al, 2008. Trabajos de Extracción de Objetos ferrosos e Investigaciones geofísicas de Certificación. Dragado del Puerto de La Habana. Bahía de la Habana. Empresa GEOCUBA Estudios Marinos, Ciudad de La Habana, Cuba.
- Perdomo, J.L, et al, 2011. Investigaciones geofísicas de sonar y magnetometría en áreas del oleoducto, muelle de recepción de crudo y de coque, azufre y asfalto. "Ingeniería conceptual - segunda etapa de expansión refinería Camilo Cienfuegos". Bahía de Cienfuegos.
- Rodríguez, J., 1998. Geología Ambiental. ISPJAE, La Habana, Cuba
- Sardaña, C. et al, 2012. Investigaciones geólogo-geofísicas para el anteproyecto de tendido del cable de fibra óptica submarino entre los cayos Guillermo y Santa María. Ciego de Ávila – Villa Clara.