

El modelo PETROMAR-3D bajo el paradigma del sistema de innovación

The PETROMAR-3D model under the paradigm of the innovation system



<https://eqrcode.co/a/ZKD7mn>

✉Alejandro Rodríguez Pupo^{1*}, ✉Amílcar E. Calzada Estrada¹, ✉Dayron Chang Domínguez¹,
✉Dayana Carracedo Hidalgo¹, ✉Dailín Reyes Perdomo¹, ✉Pablo Jerez Veguería², ✉Alexander Lobaina LaO³,
✉Javier Cabrales Infante¹, ✉Jessica Hernández Secades¹

¹Instituto de Meteorología, La Habana, Cuba.

²Oficina de Regulación Ambiental y Seguridad Nuclear (ORASEN), La Habana, Cuba

³Oficina de Meteorología de la Empresa Cubana de Navegación Aérea (ECNA - AISMet), La Habana, Cuba.

RESUMEN: Este trabajo muestra una reflexión vinculada a los Problemas de la Ciencia, la Tecnología y la Sociedad. Se presenta el modelo PETROMAR-3D (desarrollado en el Instituto de Meteorología de Cuba) en sus dos variantes de modelación: numérica y probabilística. Bajo el enfoque de la innovación tecnológica, se describe el estado actual del monitoreo de derrames de petróleo en el mar, que es gestionado por el Grupo Anti-derrames del Ministerio de Transporte de Cuba. El paradigma tecnológico del sistema de innovación es analizado como posible solución viable en la implementación del modelo PETROMAR-3D para describir la dispersión de contaminantes en el mar, proponiendo la ampliación del mencionado grupo con la incorporación de varias entidades estatales que lo harían funcionar como sistema de innovación. Se hace un análisis de las principales características estructurales y organizativas que debe tener el sistema de innovación vinculado con el modelo de pronóstico de derrames de petróleo en los mares territoriales de Cuba, el cual garantiza una máxima eficiencia en su función. Estas propuestas tienen implicaciones en la visibilidad, la eficiencia y el aporte económico del grupo del sistema de innovación propuesto.

Palabras clave: modelación de derrames de petróleo, innovación, PETROMAR-3D, sistemas de innovación.

ABSTRACT: This paper shows a reflection in the field of Problems of Science, Technology and Society. The PETROMAR-3D model (developed at the Cuba Institute of Meteorology) is presented in its two modeling variants: numerical and probabilistic. Focused on technological innovation, the current state of monitoring oil spills at sea is described, which is managed by the Anti-Derrames Group of the Cuba Ministry of Transportation. The technological paradigm of the innovation system is analyzed as a possible viable solution in the implementation of the PETROMAR-3D model to describe the dispersion of pollutants in the sea, proposing improve aforementioned group with the joining of several state entities that would operate as a innovation system. An analysis of the main structural and organizational characteristics that the innovation system must have is made, linking with the model forecasting of oil spills in the territorial seas of Cuba, guaranteeing maximum efficiency in its performance. These proposals have implications for the visibility, efficiency and economic contribution of the proposed innovation system.

Keywords: oil spill modeling, innovation, PETROMAR-3D, innovation systems.

INTRODUCCIÓN

La investigación científica y la innovación han pasado a entenderse no como motor del progreso económico y social (Sanz-Merino & López Cerezo, 2012); tampoco como solución y causa de los problemas de la humanidad moderna (Arellano-Hernández & Kreimer, 2011, p. 8); sino como una forma determinante de crear riqueza, mejorar la salud, cuidar el medio ambiente y lidiar con problemas sociales de todo tipo

como la pobreza, la exclusión social, la violencia, entre otros.

La innovación es cada vez más dependiente de la actividad y el conocimiento científico y está orientada a objetos prácticos. Daniel Sarewitz (Sarewitz *et al.*, 2003) menciona la necesidad del conocimiento científico para crear nueva riqueza, resolver problemas sociales y proveer la información necesaria para la mejor toma de decisiones estratégicas (Albornoz, 2013, p. 13).

*Autor para correspondencia: Alejandro Rodríguez Pupo. E-mail: arguezpupo@gmail.com

Recibido: 27/05/2021

Aceptado: 29/06/2021

Esto ha propiciado el cambio en las prioridades de la ciencia, orientándose cada vez más hacia la resolución de problemas y responder así a los desafíos urgentes del desarrollo (Nuñez-Jover, 2013). De modo que el antiguo modelo lineal de desarrollo económico de la postguerra, ha quedado atrás, dando paso a nuevos paradigmas (Arellano-Hernández & Kreimer, 2011, p. 76).

En el mundo actual se aprecia una preocupación de los gobiernos y las instituciones científicas por los efectos sociales y el impacto ambiental que genera el desarrollo científico y tecnológico, el cual pone en peligro la supervivencia humana (Nuñez-Jover, 1999a, 2013). Esta preocupación se evidencia en los fondos que los países miembros de la UNESCO destinan a las ciencias aplicadas (UNESCO, 2015). Sin embargo, en las distintas regiones del mundo no se invierten los recursos en una misma proporción ante los desafíos ambientales que se están enfrentando: el cambio climático, la inseguridad alimentaria, la crisis del agua, y los desastres naturales y tecnológicos (NACIONES UNIDAS., 2015, p. 61).

Los derrames de petróleo en el mar constituyen desastres económicos, sociales y medioambientales de gran impacto negativo en el planeta. Un ejemplo lo constituye el accidente más grande de la historia de los derrames de petróleo, ocurrido el 20 de abril de 2010 en la plataforma petrolera DeepWater Horizon en el Golfo de México. Este siniestro cegó la vida a 11 trabajadores, y estuvo vertiendo cerca de 50000 barriles de crudo diario durante casi 3 meses, para un aproximado total de 5 millones de barriles de petróleo (Cope *et al.*, 2013).

Las pérdidas billonarias en el sector del turismo y la pesca (22 y 2.7 billones de dólares respectivamente) en EE.UU (Sumaila *et al.*, 2012) hablan por sí solas del impacto económico del siniestro. El impacto social se reflejó en la mayoría de la población costera (dedicada al turismo, la producción de mariscos y la extracción petrolera) que recibió daños psicológicos considerables al perder sus fuentes de empleo (Cope *et al.*, 2013). El daño a los ecosistemas marinos se hizo evidente con el impacto negativo (entre otros) en las colonias de corales de la zona afectada, los cuales necesitarán muchos años para la recuperación y algunas colonias probablemente nunca se recuperarán (Girard & Fisher, 2018).

Como consecuencia de lo antes expuesto, el monitoreo de los derrames de petróleo en los mares territoriales de Cuba resulta imprescindible debido, tanto al interés del gobierno como de las instituciones universitarias y ambientales en conocer los peligros y riesgos de exposición de la población, las zonas de desarrollo económico y los ecosistemas marinos y costeros ante la presencia de estos eventos. Aparejado a esto, el gobierno de la República de Cuba ha adoptado la política de favorecer la prospección y extracción petrolera extranjera en la Zona Económica Exclusiva (ZEE) de

Cuba, considerando el desarrollo sostenible (Consejo de Ministros, 2018).

El Instituto de Meteorología de Cuba (INSMET), desarrolló desde 2009 el modelo PETROMAR (Calzada *et al.*, 2009) mediante un proyecto de investigación, el cual constituyó una innovación tecnológica en la modelación de la deriva de petróleo en los ambientes marinos de Cuba. En ese mismo año quedó constituido en la resolución 144/09 del Ministerio del Transporte (MITRANS) el Grupo Anti-derrames, para gestionar los derrames de petróleo en el mar; siendo el INSMET integrante del grupo (Consejo de Ministros, 2009, p. 26). En abril de 2010 el grupo recibió su bautismo de fuego con el accidente de la DeepWater Horizon, en esta etapa el modelo PETROMAR contribuyó con importantes prestaciones al gobierno de Cuba y las entidades encargadas de enfrentar el desastre.

En la actualidad se han desarrollado nuevas funcionalidades en el modelo, generando la versión 2.1 de PETROMAR-3D (Calzada *et al.*, 2020), convirtiéndose en una importante herramienta para el pronóstico de deriva de manchas de petróleo en las zonas de elevada importancia económica de Cuba; sin embargo, su implementación efectiva y eficiente constituye un importante reto. Por este motivo el presente artículo propone la implementación del modelo PETROMAR-3D dentro del Grupo Anti-derrames del MITRANS enfocado en la creación de un sistema de innovación como paradigma tecnológico aplicado al monitoreo de los derrames de petróleo, el cual llevará al incremento del nivel de eficiencia, de visibilidad y de rentabilidad económica que puede alcanzar esta actividad.

2. MÉTODOS

2.1 Sistemas de innovación.

El concepto de Sistema de Innovación está asociado con Freeman en sus estudios sobre las particularidades del desarrollo en innovación de Japón (Freeman, 1990) y con los estudios de Lundvall en los países escandinavos (Lundvall, 2000).

“El sistema de innovación es un conjunto constituido por las organizaciones, las instituciones, las interacciones entre distintos actores colectivos y las dinámicas sociales generales que mayor incidencia tienen en las capacidades disponibles para la investigación, el desarrollo experimental, la innovación tecnológica y la difusión de los avances técnico productivos” (Arocena Linn & Sutz, 2003).

De modo que, a la luz de esta definición, innovar es aprender a producir y usar conocimientos existentes en nuevas formas ante viejos y nuevos problemas. Otro aspecto de esta definición es el valor que adquieren los espacios nacionales, regionales, locales y sectoriales como ámbitos donde puede establecerse la innovación. Una tercera valoración lo es el hecho de que en el am-

biente que se encuentre la innovación, esta se convierte en un fenómeno interactivo en el que participan los factores sociales, políticos, institucionales, culturales, etc.; como una red donde se establecen constantes negociaciones y retroalimentaciones interinstitucionales; y no como procesos lineales de innovación (Nuñez-Jover, 2013, p. 5).

La innovación tecnológica no solamente se refiere a un producto inédito (Nuñez-Jover, 1999b). Schumpeter defendía las “nuevas combinaciones” aplicadas a los diferentes contextos como innovaciones, fueran o no el resultado de la aplicación de algún invento (Albornoz, 2013, p. 6).

El marco de referencia en las políticas que estimulan la innovación en América Latina es el concepto de sistema de innovación, donde se han empleado patrones muy diferentes a los de las regiones más desarrolladas (Albornoz, 2013, p. 5).

2.2 Modelación numérica con el modelo PETROMAR-3D.

El modelo PETROMAR-3D (Calzada *et al.*, 2015), aunque fue una novedad en Cuba, es el resultado del estudio de las características de numerosos modelos de derrame de petróleo que operan en distintas regiones del mundo. Este modelo de deriva de hidrocarburos es una solución técnica acorde a las condiciones organizativas y los recursos disponibles en el país (Vacca-reza, 1998).

Recientemente este modelo fue desarrollado en el lenguaje de programación Python en la versión 2.7 (Calzada *et al.*, 2020), con el entorno de desarrollo integrado (IDE, por sus siglas en inglés) Pycharm Community (Pycharm, 2019). Aunque el sistema es multiplataforma, se emplea Linux para facilitar el pro-

ceso de automatización y además tiene la ventaja de utilizar licencia de explotación GPL (GNU, 2019).

En el cálculo de la deriva de la mancha de hidrocarburos se usan funciones empíricas con parámetros bien definidos y, por otro lado, modelos numéricos que aplican ecuaciones de la dinámica de los fluidos; lo cual está acorde con las tendencias actuales de posibles soluciones en la modelación (Spaulding, 2017).

Para todos estos cálculos se utilizan archivos de datos numéricos de modelos atmosféricos, oceanográficos y de oleaje que son descargados desde los diferentes centros de pronóstico regionales y mundiales a través de internet. En la *Figura 1* se muestra una salida gráfica de una corrida del modelo PETROMAR-3D para una situación de un derrame hipotético (Calzada *et al.*, 2015, 2020).

2.3 Modelación probabilística a través de PETROMAR-3D.

Con el desarrollo de nuevos scripts de Python en el modelo PETROMAR-3D se incorporaron funciones que transforman convenientemente las coordenadas geográficas, verifican el recalo de la mancha en la costa, calculan la dirección del movimiento de los hidrocarburos en las primeras 24 horas del accidente y guardan toda la información en archivos de texto que luego son importados hacia la base de datos (Rodríguez-Pupo, 2020; Rodríguez *et al.*, 2021).

La modelación probabilística se efectuó mediante el lenguaje SQL, siendo usada desde Python, QGIS (o cualquier sistema de información geográfica); o desde la propia base de datos. Con las características que ofrecen estas tecnologías, se pudo realizar la modelación a través de la red corporativa.

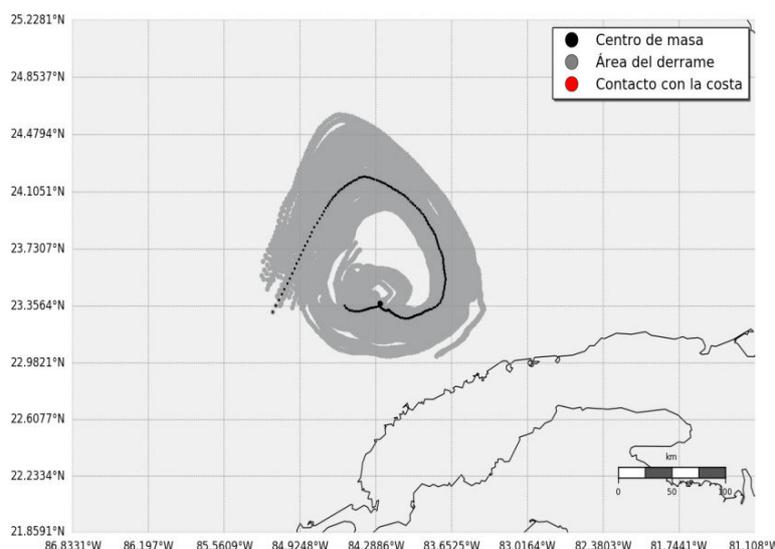


Figura. 1. Modelación de un derrame hipotético en un punto de la ZEE de Cuba.

Se desarrollaron productos tales como: el potencial de áreas afectadas por la mancha de combustible y las horas probables de arribo de la mancha de petróleo en las diferentes zonas costeras, entre otros. Ejemplos de esto son mostrados en la [Figura 2](#) y [Figura 3](#).

2.4 El Grupo Anti-derrames.

En la República de Cuba, el encargado de gestionar los derrames de petróleo en el mar y los litorales de Cuba, es el Grupo Anti-derrames ([Consejo de Ministros, 2009](#)). Este está formado por:

- Entidades que pertenecen al MITRANS:

Dirección de Seguridad e Inspección Marítima (DSM), Dirección de Transporte Marítimo y Fluvial (DTMF), Dirección Jurídica (DJ), Empresa Nacional de Prácticos de Puertos (EPP), Centro de Ingeniería y Manejo Ambiental de Bahías (CIMAB).

- Entidades afiliadas al Ministerio de las Fuerzas Armadas Revolucionarias (MINFAR):

Estado Mayor Nacional de la Defensa Civil (EMNDC), Marina de Guerra Revolucionaria (MGR), Tropas Guardafronteras (TGF).

- Entidades del Ministerio de Ciencia Tecnología y Medio Ambiente (CITMA):

Agencia de Medio Ambiente (AMA), Centro de Biorremediación del Instituto de Ciencias del Mar (ICIMAR), Instituto de Meteorología (INSMET), Oficina de Regulación Ambiental y Seguridad Nuclear (ORASEN).

- Entidad perteneciente al Ministerio de Energía y Minas (MINEM):

Centro de Investigaciones del Petróleo (CEINPET).

El Grupo Anti-derrames basa su misión en los riesgos que enfrenta Cuba por las futuras perforaciones y explotación en la ZEE de Cuba, la ocurrencia de derrames en las operaciones de pozos en tierra que pueden llegar al mar, la explotación petrolera en el golfo de México llevada a cabo por otros países y la actividad marítima en las aguas alrededor de Cuba. Su función permanente debe ser la actualización y perfeccionamiento de la metodología de vigilancia y pronóstico de los derrames de hidrocarburos en el mar.

La misión del grupo se complementa con:

- La capacitación en técnicas, herramientas y datos para la vigilancia de los derrames de hidrocarburos en el mar.
- El acceso a datos para mantener la vigilancia.
- La evaluación y/o validación de los modelos de corrientes marinas y viento usados para la entrada de los modelos de dispersión de hidrocarburos.
- La evaluación y/o validación de los modelos de dispersión de hidrocarburos.

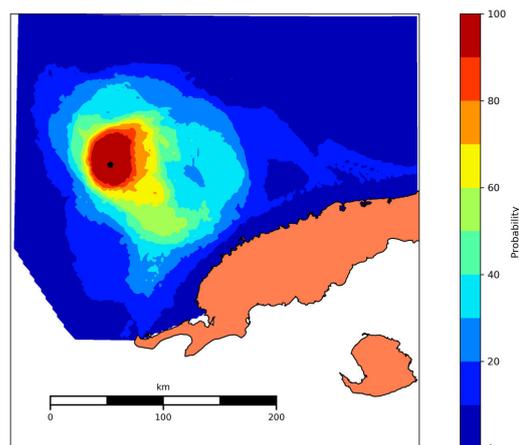


Figura. 2. Modelación probabilística del potencial de áreas afectadas por derrame.

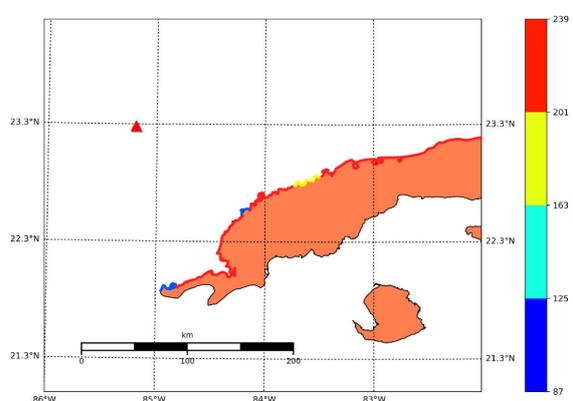


Figura. 3. Modelación probabilística de las horas de arribo de la mancha de petróleo en las diferentes zonas costeras.

- El fortalecimiento de capacidades para mejorar la respuesta en caso de derrames.
- La evaluación de criterios científicos para proponer la respuesta adecuada a los derrames.
- La creación de metodologías actualizadas para la evaluación de impactos de un derrame sobre los ecosistemas, las poblaciones, la economía, etc.

3. DESARROLLO Y DISCUSIÓN

A continuación, se propone un sistema de innovación a partir de una ampliación del Grupo Anti-derrames como el grupo encargado del monitoreo de los derrames de petróleo en los mares y litorales cubanos. Este grupo propuesto debe estar integrado por entidades de diferente objeto social, como pueden ser:

- Perteneciente al MINFAR: GeoCuba Estudios Marinos SA.
- Perteneciente al CITMA: Instituto de Geografía Tropical (IGT)
- Pertenecientes al Ministerio de Educación Superior (MES):

- a. El Centro de Investigaciones Marinas de La Universidad de la Habana (CIM).
- b. El Centro de Investigaciones Hidráulicas de La Universidad Tecnológica de la Habana (CIH).
- Del Ministerio de Cultura: El Instituto Cubano de Radio y Televisión (ICRT).
- Del Ministerio de Comunicaciones: La Empresa de Telecomunicaciones ETECSA.

A la misión del grupo propuesto, además de comprender los aspectos de la misión del Grupo Anti-derrames, se le agregan dos características nuevas:

1. La formación de la cultura científica en la población ante los derrames de petróleo.
2. La utilización de los medios de comunicación para la divulgación oportuna de información y acciones ante un derrame de hidrocarburo a la población.

De esta manera, la innovación tecnológica en la modelación de derrames de hidrocarburos en los ambientes marinos de Cuba es operada dentro de un grupo multidisciplinario más amplio, donde se entrelazan los criterios tanto científicos como ingenieriles; resultando de gran importancia las opiniones de los participantes que no son expertos en la modelación. En los estudios de sensibilidad de los ambientes marinos se mezclan los conceptos con la aplicación, la teoría y la práctica, como dijo Bachelard “entre el espíritu trabajador y la materia trabajada” (Nuñez-Jover, 1999a).

En el cumplimiento de su misión, el grupo de monitoreo de derrames de petróleo propuesto, actualiza la metodología de vigilancia y pronóstico de derrames de hidrocarburos en el mar, poniendo en práctica los planes de aviso para la activación del grupo en caso de ocurrencia de estos eventos, mediante ejercicios prácticos donde participan todas las dependencias involucradas. A juicio de los autores de este trabajo, se hace necesario cumplir algunos requisitos que fortalecen el desempeño del grupo en sus funciones de monitoreo ambiental, así como funciones de carácter económico y social, que son:

a) La necesidad de contar con un instrumento jurídico para proteger la innovación.

El informe de la Unesco 2030 (UNESCO, 2015, p. 36) señala que la ausencia de instrumento jurídico en los países en vías de desarrollo para proteger la innovación, es un obstáculo para el desarrollo de los sistemas de innovación nacionales. Luego, se hace necesario que las leyes nacionales obliguen a las compañías contratadas para hacer prospección petrolera en los mares de jurisdicción cubana, a solicitar los servicios del grupo de monitoreo de derrames de petróleo, para hacer los estudios pertinentes para la elaboración de los planes de contingencias y obtener las licencias de explotación.

b) La comunicación estrecha entre las entidades nacionales que garantizan datos para la modelación.

Una estrategia a seguir por parte del grupo de monitoreo de derrames de petróleo debe ser la inclusión en el grupo de todas las entidades del país que provean datos necesarios para hacer cálculos más precisos en la modelación. Datos de batimetría de los diferentes sectores costeros, bases de datos de propiedades de los combustibles, datos históricos de accidentes en la región y la información de los índices de sensibilidad de los diferentes ecosistemas costeros. Esta información resulta de gran importancia en la modelación de los derrames de petróleo. Por poner un ejemplo, una entidad como GEOCUBA Estudios Marinos participando en el grupo de monitoreo, redundaría en el fortalecimiento del grupo al contar con una empresa de mucha experiencia y posesión de instrumentos para las mediciones de las variables marinas, y con capacitación científica e ingenieril.

c) La adecuada comunicación entre la gestión de los derrames terrestres y marinos.

En Cuba son numerosos los pozos de extracción petrolera que están cerca de la costa y los ríos; las refinerías de petróleo están ubicadas en las bahías, los puntos de abastecimiento de combustible por medio de buques tanqueros se sitúan en los puertos a lo largo de la isla. Todas estas condiciones hablan por sí solas del riesgo a que están expuestos los diferentes ambientes costeros y las bahías de Cuba si ocurre un accidente en cualquiera de las instalaciones petroleras terrestres. Estos peligros en tierra, son gestionados por la empresa CUPET del MINEM (Consejo de Ministros, 2009, p. 26).

A principios de octubre de 2018 ocurrió un accidente en el muelle # 1 de la terminal de supertanqueros de la bahía de Matanzas (Granma., 2018) donde fueron vertidos cerca de 100 metros cúbicos de petróleo. Las labores de reducción de la contaminación en la bahía fueron asumidas sin movilizar al grupo de modelación de derrames de petróleo en el mar; y estas fueron estorbadas por los cambios de marea que se produjeron en la misma, al no poseer como una imprescindible herramienta, la modelación del movimiento del petróleo en la bahía.

d) La necesidad de una política para las patentes y las publicaciones del grupo.

El registro de patentes y las publicaciones son indicadores del impacto de la innovación. Países altamente desarrollados como Estados Unidos, Japón y la Unión Europea evalúan estos aspectos como un índice que incide en la competitividad de sus innovaciones a nivel mundial. La actividad reducida en cuanto al registro de patentes y publicaciones habla de una débil

sinergia entre los integrantes de un sistema de innovación y los esfuerzos gubernamentales en su política de desarrollo científico-técnico. Los responsables de la elaboración de políticas deben tener en cuenta este fenómeno poniéndolo al mismo nivel del enfoque de incentivar la innovación (UNESCO, 2015, p. 32). El grupo de monitoreo de derrames de petróleo propuesto debe brindar toda la atención a este aspecto señalado, estimulando patentar el registro de toda la metodología empleada en la vigilancia y los estudios de riesgos llevados a cabo por las instituciones integrantes del mismo. Así mismo, debe mantener una política en cuanto al incremento de la visibilidad del grupo mediante la publicación de artículos, la participación en eventos científicos, proyectos y colaboraciones internacionales; lo cual es muy útil además para la actualización en las tecnologías y las metodologías que se emplean a nivel internacional.

e) El fortalecimiento del trabajo en cuanto al desarrollo de la cultura científica.

Las áreas protegidas han aumentado desde 1990 a nivel internacional (UNESCO, 2015, p. 56) evidenciando la preocupación por los diferentes ecosistemas que están en peligro por la acción del hombre al explotar los recursos naturales. La percepción de riesgo por parte de la población, en lo referente a los derrames de petróleo que puedan afectar los ambientes marinos del archipiélago cubano, es baja.

La poca cultura científica en la sociedad en este tema incide en la baja percepción del riesgo puesto que los grandes derrames de petróleo en el mar son de carácter esporádico y muy dispersos espacialmente a lo largo y ancho del planeta; sin embargo, derrames de menor cuantía son muy frecuentes aún en las aguas cubanas donde se han encontrado conductas inapropiadas en buques que lavan sus sentinas en lugares no autorizados.

El bajo nivel de cultura científica puede apreciarse también en los trabajadores de diferentes empresas que ante un accidente que puede ser de “menor importancia”, no informan en tiempo por desconocimiento o temor a medidas represivas; poniéndose en riesgo la salud medioambiental y la de la población.

El incremento de la cultura científica popular conlleva al incremento del potencial técnico e innovador y por ende el incremento del potencial de las capacidades industriales nacionales; y por demás a una percepción positiva de la ciencia y las iniciativas de desarrollo industrial (Sanz-Merino & López Cerezo, 2012, p. 3).

El grupo Anti-derrames debe considerar la comunicación social como una herramienta de gran importancia en la cultura científica de la población en lo refe-

rente a los derrames de petróleo y su impacto sobre los ambientes marinos. En la sociedad moderna son de gran importancia los medios de difusión. La televisión e internet son muy útiles para hacer eco de explicaciones de aspectos técnicos por parte de los expertos dando cobertura a la sociedad en el tema, tanto a nivel local como internacional. Esta buena práctica no solo contribuye al proceso de enculturación, sino que también muestra una ciencia muy distinta a la concebida en los primeros paradigmas sobre comprensión pública de la ciencia (Sanz-Merino & López Cerezo, 2012, p. 3).

Dentro de todas estas características que debe tener el grupo de monitoreo ante derrames de petróleo, el gobierno juega el papel protagónico en la creación de los mecanismos de conexión entre las entidades y así lograr los objetivos de la misión encomendada al grupo (Nuñez-Jover, 1999b).

CONCLUSIÓN

Luego de presentar la modelación a través de PETROMAR-3D como innovación tecnológica dentro de un sistema de innovación en sus aplicaciones a los derrames de petróleo en los ambientes marinos, los autores de este trabajo plantean que:

1. A través de políticas encaminadas a patentar las metodologías de la vigilancia de los derrames de petróleo, así como potenciar las publicaciones de los miembros que lo integran; el grupo de monitoreo de derrames de petróleo se convertirá en un referente importante en la gestión de los derrames en el mar. A nivel nacional, tanto para el sector empresarial como el privado, será conveniente desde el punto de vista de la cultura científica en la cooperación rápida ante cualquier derrame que se presente. En el ámbito regional esta visibilidad incentivará a la contribución del país en la colaboración internacional.
2. El grupo de monitoreo podrá generar ingresos importantes a la nación con la inserción de nuevos servicios. Conociendo del alto valor de los servicios en el mercado del sector petrolero, mediante un instrumento jurídico que proteja la innovación, lo cual es una práctica muy común en los países del primer mundo.

En Cuba como en toda América Latina y el resto del mundo, se confía en la innovación para acceder a “la sociedad del futuro” o para el logro de metas sociales largamente anheladas. Haciendo uso del pensamiento de Marcelino Cerejido (Nuñez-Jover, 1999b) y aplicándolo a Cuba, diríamos: “Cuba ya ha aprendido a investigar, pero ahora necesita aprender a hacer ciencia”.

AGRADECIMIENTOS

La investigación que dio como resultado este trabajo no hubiese sido posible sin el entrenamiento recibido por los profesores del Programa de Problemas Sociales de la Ciencia y la Tecnología de la Facultad de Filosofía e Historia de la Universidad de la Habana, liderado por la profesora Dr. Dolores Vilá Blanco.

BIBLIOGRAFIA

- Albornoz 2013. "Innovación, equidad y desarrollo latinoamericano". *ISEGORIA. Revista de Filosofía Moral y Política*, (48): 111-126, ISSN: 1130-2097, DOI: [10.3989/isegoria.2013.048.06](https://doi.org/10.3989/isegoria.2013.048.06).
- Arellano-Hernández, A. & Kreimer, P. 2011. *Estudio social de la ciencia y la tecnología desde América Latina*. Siglo del Hombre Editores, 350 p., ISBN: 1-5407-2906-0.
- Arocena Linn, R. & Sutz, J. 2003. *Subdesarrollo e innovación: navegando contra el viento*. ISBN: 84-8323-358-4.
- Calzada, A. E.; Acuña, F. E. P.; Perdomo, D. R. & Taylor, R. C. 2015. "Modelación de los derrames de petróleo mediante el empleo de PETROMAR". *Revista Cubana de Meteorología*, 21(2): 57-69, ISSN: 2664-0880.
- Calzada, A. E.; Delgado, I.; Ramos, C.; Pérez, F.; Reyes, D.; Carracedo, D.; Rodríguez, A.; Chang, D.; Cabrales, J. & Lobaina, A. 2020. "Lagrangian Model PETROMAR-3D to Describe Complex Processes in Marine Oil Spills". *Open Journal of Marine Science*, 11(1): 17-40, DOI: [10.4236/ojms.2021.111002](https://doi.org/10.4236/ojms.2021.111002).
- Calzada, A. E.; Delgado, I.; Ramos, C.; Reyes, D.; Carracedo, D.; Chang, D. & Rodríguez, A. 2018. *PETROMAR - 3D, MODELO CUBANO DE TRAYECTORIA Y DESTINO DE MANCHAS DE PETRÓLEO. PRINCIPALES RESULTADOS Y PERSPECTIVAS*. Congreso MarCuba 2018, La Habana, Cuba, Available: https://drive.google.com/file/d/1KbNTA6Rd4I9r-jz4XT3y_p1WkFcxYyzH/view?usp=sharing.
- Calzada, A. E.; Fernandez, K.; Guilarte, Y.; Rodríguez, R.; Casals, R.; Amboaje, Y.; Rodríguez, N. & Perez, P. 2009. *Simulación Numérica de las Corrientes Marinas y Campos de Oleaje, su Influencia Sobre los Derrames y el Transporte Oceánico de Hidrocarburos*. Informe de Resultado, La Habana, Cuba: Instituto de Meteorología de Cuba.
- Consejo de Ministros 2009. *Gaceta Oficial No. 031 Ordinaria de 19 de agosto de 2009*. La Habana, Cuba: Ministerio de Justicia, 33 p., Available: www.gacetaoficial.gob.cu/sites/default/files/go_o_031_2009.pdf.
- Consejo de Ministros 2018. *Gaceta Oficial No. 38 Extraordinaria de 2 de agosto de 2018. DECRETO No. 347/2018*. La Habana, Cuba: Ministerio de Justicia, 72 p., Available: <https://www.gacetaoficial.gob.cu/es/gaceta-oficial-no-38-extraordinaria-de-2018>.
- Cope, M. R.; Slack, T.; Blanchard, T. C. & Lee, M. R. 2013. "Does time heal all wounds? Community attachment, natural resource employment, and health impacts in the wake of the BP Deepwater Horizon disaster". *Social Science Research*, 42(3): 872-881, ISSN: 0049089X, DOI: [10.1016/j.ssresearch.2012.12.011](https://doi.org/10.1016/j.ssresearch.2012.12.011).
- Freeman, C. 1990. "Japan : A new national system of innovation?". In: *Technical Change and Economic Theory*, (ser. IFIAS research series, no. ser. 6), repr ed., London: Pinter, pp. 330-348, ISBN: 978-0-86187-894-9, Available: http://www.lem.sssup.it/WPLem/files/dosietal_1988_V.pdf, [Consulted: June 5, 2020].
- Girard, F. & Fisher, C. R. 2018. "Long-term impact of the Deepwater Horizon oil spill on deep-sea corals detected after seven years of monitoring". *Biological Conservation*, 225: 117-127, ISSN: 00063207, DOI: [10.1016/j.biocon.2018.06.028](https://doi.org/10.1016/j.biocon.2018.06.028).
- GNU. 2019. *Licencia GPL de GNU*. Available: <https://www.gnu.org/licenses/licenses.es.html#GPL>.
- Granma. 2018. "Bajo control derrame de petróleo en zona industrial de Matanzas". *Granma*, Available: <http://www.granma.cu/cuba/2018-10-05/bajo-control-derrame-de-petroleo-en-zona-industrial-de-matanzas-fotos-05-10-2018-15-10-18>.
- Lundvall, B. A. 2000. "The learning economy: some implications for the knowledge base of health and education systems". In: *Knowledge Management in the Learning Society*, Paris, France: Organisation for Economic Cooperation and Development, OECD, pp. 125-141, ISBN: 92-64-17182-7.
- NACIONES UNIDAS. 2015. *Objetivos de Desarrollo del Milenio*. NUEVA YORK, 75 p., Available: <http://mdgs.un.org/unsd/mdg/Resources/Static/Products/Progress2015/Spanish2015.pdf>.
- Núñez-Jover, J. 1999a. "De la ciencia a la tecnociencia: pongamos los conceptos en orden". In: *La ciencia y la tecnología como procesos sociales. Lo que la educación científica no debería olvidar*, La Habana, Cuba: Felix Varela, pp. 11-44.
- Núñez-Jover, J. 1999b. *La ciencia y la tecnología como procesos sociales. Lo que la educación científica no debería olvidar*. La Habana, Cuba: Felix Varela, 254 p.
- Núñez-Jover, J. 2013. "Responsabilidad social universitaria y desarrollo sustentable". *UCE Ciencia. Revista de postgrado*, 1(1), ISSN: 2306-3556.
- Pycharm. 2019. *Descargar PyCharm: el IDE de Python para desarrolladores profesionales, por JetBrains*. JetBrains, Available: <https://www.jetbrains.com/pycharm/download/>, [Consulted: December 18, 2019].

- Rodríguez, A.; Chang, D.; Calzada, A. E.; Carracedo, D.; Reyes, D.; Lobaina, A.; Casals, R.; Hernández, J. & Cabrales, J. 2021. "Probabilistic Modeling of Oil Spills at the Exclusive Economic Zone of Cuba Using Petromar-3D Model". *Journal of Geoscience and Environment Protection*, 09(06): 21-34, ISSN: 2327-4336, 2327-4344, DOI: [10.4236/gep.2021.96002](https://doi.org/10.4236/gep.2021.96002).
- Rodríguez-Pupo, A. 2020. *Modelación probabilística de deriva de Petróleo en la zona económica exclusiva de Cuba*. Tesis de Maestría, La Habana, Cuba: INSTEC, UH, 69 p.
- Sanz-Merino, N. & López Cerezo, J. A. 2012. "Cultura científica para la educación del siglo XXI". *Revista Iberoamericana de Educación*, 58, ISSN: 1022-6508.
- Sarewitz, D.; Foladori, G.; Invernizzi, N. & Garkinkel, M. 2003. "Science Policy in its Social Context". *Philosophy Today*, 48, DOI: [10.5840/philtoday200448Supplement8](https://doi.org/10.5840/philtoday200448Supplement8).
- Spaulding, M. L. 2017. "State of the art review and future directions in oil spill modeling". *Marine Pollution Bulletin*, 115(1): 7-19, ISSN: 0025-326X, DOI: [10.1016/j.marpolbul.2017.01.001](https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.01.001).
- Sumaila, U. R.; Cisneros-Montemayor, A. M.; Dyck, A.; Huang, L.; Cheung, W.; Jacquet, J.; Kleisner, K.; Lam, V.; McCrea-Strub, A.; Swartz, W.; Watson, R.; Zeller, D. & Pauly, D. 2012. "Impact of the Deepwater Horizon well blowout on the economics of US Gulf fisheries". *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 69(3): 499-510, ISSN: 0706-652X, DOI: [10.1139/f2011-171](https://doi.org/10.1139/f2011-171).
- UNESCO. 2015. *Informe de la UNESCO sobre la ciencia. Hacia 2030*. Available: <<http://unesdoc.unesco.org/images/0023/002354/235407s.pdf>>.
- Vaccareza, L. 1998. "Innovación, equidad y desarrollo latinoamericano". *Revista Iberoamericana de Educación*, 18: 13-40, ISSN: 1681-5653, DOI: [10.35362/rie1801090](https://doi.org/10.35362/rie1801090).

Alejandro Rodríguez Pupo. Instituto de Meteorología, La Habana, Cuba. E-mail: arguezpupo@gmail.com

Amílcar E. Calzada Estrada. Instituto de Meteorología, La Habana, Cuba. E-mail: amilcar.calzada@gmail.com

Dayron Chang Domínguez. Instituto de Meteorología, La Habana, Cuba. E-mail: dayron.chang@gmail.com

Dayana Carracedo Hidalgo. Instituto de Meteorología, La Habana, Cuba. E-mail: dayanahidalgo24@gmail.com

Dailín Reyes Perdomo. Instituto de Meteorología, La Habana, Cuba. E-mail: dailin.reyes.2013@gmail.com

Pablo Jerez Veguería. Oficina de Regulación Ambiental y Seguridad Nuclear (ORASEN). Cuba.

E-mail: pablo@oraseen.co.cu

Alexander Lobaina LaO. Oficina de Meteorología de la Empresa Cubana de Navegación Aérea (ECNA – AISMet). Cuba. E-mail: alobainalao@gmail.com

Javier Cabrales Infante. Instituto de Meteorología, La Habana, Cuba. E-mail: javier.cabrales@insmet.cu

Jessica Hernández Secades. Instituto de Meteorología, La Habana, Cuba. E-mail: jessica.hernandez@insmet.cu

Conflicto de intereses: Los autores declaran no presentar conflicto de intereses

Contribución de los autores: Concepción y diseño de la investigación: **Alejandro Rodríguez Pupo**. Adquisición de datos: **Pablo Jerez Veguería**. Análisis e interpretación de datos: **Alejandro Rodríguez Pupo**, **Amílcar E. Calzada Estrada** y **Dayron Chang Domínguez**. Escritura y revisión del artículo: **Alejandro Rodríguez Pupo**, **Amílcar E. Calzada Estrada**, **Dayron Chang Domínguez**, **Dayana Carracedo Hidalgo**, **Dailín Reyes Perdomo**, **Alexander Lobaina LaO**, **Javier Cabrales Infante**, **Jessica Hernández Secades**.

Este artículo se encuentra bajo licencia [Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional \(CC BY-NC 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)