

INFORME TRIMESTRAL NARRATIVO

(ABRIL-JUNIO) 2026

• Proyecto

– Monitoreo *in situ* de la calidad del agua en bahías cubanas: creando y promocionando el uso de herramientas científicas

• Instituciones que participan

- Universidad de La Habana (UH).
- Universidad Libre de Bruselas(Bélgica).

• Instituciones que cooperan

- Centro de Investigación y Manejo Ambiental del Transporte (CIMAB).
- ESPOLETA Tecnologías(MiPyMe).

• Otras Instituciones que colaboran

- Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría (Cujae).
- Grupo Estatal de manejo de la Bahía de La Habana.
- Universidad Católica de Lovaina.

• Coordinadores del Proyecto

Por la parte cubana: Dr. C. Ernesto Altshuler Álvarez

Por la parte extranjera: Dr. Denis Terwagne

• Participantes

– Dra. Geydis Fundora Nevot, Dra. Florence Degavre, Dr. Stamatios Nicolis, Dr. Alexandre Campo, Lic. Daniela Martínez Ortiz (doctorante), Ing. Alex Rivera Rivera (doctorante), MSc. Luis Abel Rodríguez de Torner (doctorante), Dra. Aramis Rivera Denis, Ing. Orestes Chávez Linares, Dr. Dayaris Hernández.

• Duración

- Cinco años

• Objetivo General

– Proveer al ecosistema científico-social cubano de una colección de herramientas que permita el monitoreo in situ y continuo de parámetros de calidad del agua en bahías cubanas, con carácter sostenible y vinculado a las comunidades locales.

- **Objetivos específicos**

- Diseñar y construir un canal de olas en la facultad de Física de la UH
- Diseñar y construir un set de herramientas portable para la medición in situ de la calidad del agua de la bahía de La Habana.
- Montaje de un servidor con un sitio web de recepción de datos desde las boyas y desde la comunidad
- Establecimiento de una metodología para el uso de las boyas
- Entrenamiento de los recursos humanos correspondientes

- **Cumplimiento de los objetivos trimestrales:**

Tarea 1. Detección y toma de medidas para contrarrestar vulnerabilidades en el edificio de Física, que ponen en peligro el proyecto.



Fig1. Intentando disminuir la vulnerabilidad de los locales asociados al proyecto ARES. La foto fue tomada el día 23 de junio de 2026 después de reforzar la ventana de la izquierda, que está a punto de colapsar hacia el frente del edificio, con esfuerzos propios (Foto: E. Altshuler).

Se ha estado trabajando para eliminar las vulnerabilidades del edificio de Física en la colina de la Universidad de La Habana, donde múltiples ventanas en pésimo estado debido al ataque de las termitas facilitan el ingreso de potenciales intrusos. Es una situación **MUY GRAVE**. Ante la falta de respuesta por las vías institucionales, el día 23 de junio procedimos a tapiar, con recursos propios, otra ventana en pésimo estado que da hacia el frente del edificio. Es una de las ventanas del local donde se construirá el canal de olas contemplado en el proyecto ARES.

Tarea 2. Elaboración de lista de compras, y gestión de bienes adquiridos con el financiamiento del proyecto.

El primer contenedor proveniente de Bruselas arribó al puerto de Mariel (Cuba) en abril de 2026. Su contenido ha de montarse en los mencionados en la Tarea 1, según planeamiento del proyecto. Dada la falta de combustible en el país, la empresa importadora (EMIDICT) aún no ha recogido el contenedor. Nos hemos entrevistado con funcionarios de la empresa el día 30 de junio para intentar acelerar el proceso.

Seguimos monitoreando los procesos para el segundo contenedor desde Bélgica, y el segundo envío desde Panamá.

Debe informarse que la empresa ALIANC Group Servicios Integrales (<https://www.aliancgroup.com>) y, en especial, el especialista Leonardo Durán, aún le debe al proyecto el software del espectrofotómetro adquirido con fondos del proyecto. Según esta persona, el software está “trabado” en DHL de Cuba hace varias semanas. Pero no se ha atacado el problema como se debe.

• Tarea 3. Continuación de instrumentalización para las mediciones in situ.

Los doctorantes Alex Rivera y Daniela Martínez, con la participación de las Dras. Aramis Rivera y Dayaris Hernández, lograron notables avances en varios renglones clave, que se exponen a continuación.

Espectrofotometría *in situ*

Se finalizó la calibración del espectrofotómetro de diseño propio de bajo costo y acceso abierto. La doctorante Daniela Martínez y el doctorante Alex Manuel Rivera han colaborado estrechamente en este frente, utilizando el espectrofotómetro profesional adquirido con financiamiento del proyecto como instrumento de referencia para la calibración.

El proceso consistió en calibrar el espectrofotómetro diseñado utilizando soluciones coloreadas de concentraciones conocidas. Las señales obtenidas en el espectrofotómetro “low-cost” fueron comparadas sistemáticamente con las mediciones realizadas en el espectrofotómetro comercial para las mismas soluciones. Esta metodología permite establecer curvas de calibración suficientemente precisas.

Los resultados preliminares obtenidos constituyen la base experimental para un nuevo artículo científico que se encuentra en preparación.

Estudios de contaminación por bio-incrustación

En el marco de los estudios sobre *biofouling* y su impacto en la medición óptica de parámetros de calidad del agua, se diseñó y ejecutó un experimento para evaluar la contaminación de superficies de vidrio protegidas y sin proteger con malla de cobre. El experimento consistió en la preparación de seis portamuestras pareados: en cada par, un vidrio sin protección y un vidrio protegido con una malla de cobre. El objetivo era evaluar la efectividad de la malla de cobre como barrera protectora contra el biofouling y la consecuente afectación de la transmitancia óptica.

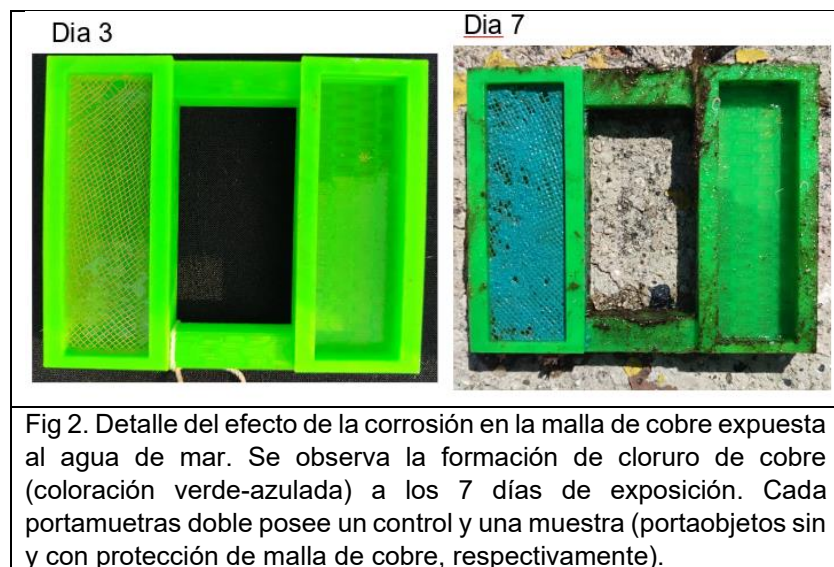


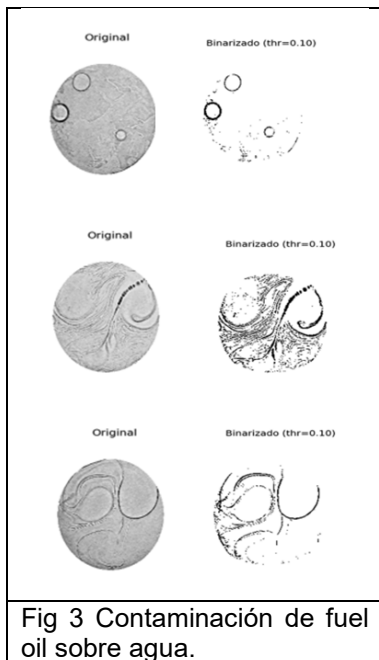
Fig 2. Detalle del efecto de la corrosión en la malla de cobre expuesta al agua de mar. Se observa la formación de cloruro de cobre (coloración verde-azulada) a los 7 días de exposición. Cada portamuestras doble posee un control y una muestra (portaobjetos sin y con protección de malla de cobre, respectivamente).

El 15 de mayo de 2026, todos los portamuestras fueron depositados a la misma profundidad en la bahía, específicamente en el muelle de Geocuba. El protocolo experimental contemplaba la recogida de un portamuestra cada 2 o 3 días para monitorear la evolución de la contaminación superficial. Durante el período de exposición se lograron realizar 2 recogidas, siguiendo el protocolo establecido de evaluación de contaminación: las muestras fueron analizadas en el

espectrofotómetro para cuantificar la afectación de la transmitancia en función del tiempo de exposición y el grado de biofouling acumulado.

Sin embargo, al séptimo día de experimentación se detectó un fenómeno inesperado que llevó a la suspensión del ensayo: la malla de cobre sufrió una reacción química, cubriéndose de cloruro de cobre, lo que le confirió una coloración verde-azulada característica y la formación de cristales de esta sal en su superficie (Fig. 2). Este proceso, comprometió la integridad de la malla y, por ende, la validez del experimento en su concepción original. Luego de estos resultados, se retiraron de la bahía el resto de las muestras y se trabaja en un nuevo enfoque para este estudio.

Sombrometría + *machine learning* en manchas de un contaminante líquido sobre agua



El estudiante de 4to año Jean Rafael López realizó, supervisado por E. Altshuler, experimentos sobre la dispersión en la superficie del agua de contaminantes químicos, específicamente fuel oil. Se trataba de determinar la forma de las manchas de contaminante en condiciones de laboratorio mediante el método de la “sombrometría” (shadowmetry), asistida por *machine learning*. En la Fig. 3, columna izquierda, se observan imágenes experimentales de varias manchas obtenidas directamente por el método de sombrometría. La columna de la derecha muestra las mismas imágenes segmentadas automáticamente después de entregar un algoritmo de inteligencia artificial. El trabajo obtuvo el Primer premio en la comisión de Electrónica y Computación de la Jornada Científica Estudiantil de la Facultad de Física de la UH, edición del 2026. Además, obtuvo una mención especial general de toda la jornada.

Escritura de artículos científicos sobre monitoreo *in situ*

En el mes de abril el artículo de revisión titulado "Microorganisms as indicators of marine pollution: challenges for *in situ* monitoring" fue enviado para consideración a la revista Environmental Monitoring and Assessment. Durante los meses de abril, mayo y junio, la doctorante Daniela Martínez ha estado al tanto de las modificaciones del artículo solicitadas por el editor de la revista. Este manuscrito, que resume exhaustivamente el estado del arte en la detección de microorganismos como bioindicadores de contaminación marina y los desafíos tecnológicos asociados al monitoreo *in situ*, actualmente, se encuentra en proceso de revisión por pares desde el 14 de junio, a la espera de la decisión final de la revista.

Se ha trabajado en la redacción de un segundo artículo científico que compara espectrofotómetros de diseño “low-cost” y de acceso abierto. Este trabajo, iniciado en meses anteriores, ha sido objeto de un proceso de reescritura durante el mes de junio para que se enfoque mejor al público objetivo, atendiendo a las recomendaciones de los supervisores. Actualmente, el manuscrito se encuentra en las primeras rondas de revisiones por parte de los supervisores del proyecto. Se espera que, una vez incorporadas las sugerencias, el artículo pueda ser enviado a publicación en el próximo trimestre.

Tarea 4. Experimentos preliminares sobre la dinámica de contaminantes sólidos en un canal de olas

El doctorante Luis Abel Rodríguez continuó su estancia en la ULB, donde continuó los trabajos de contaminantes flotantes en presencia de oleaje realizados en Cuba y reportados en el informe enero-marzo, en el canal de olas por él construido en el laboratorio belga. En especial, se realizaron las siguientes acciones.

Caracterización del canal de olas. Se completó la caracterización del canal de olas del FabLab-ULB en función del período T (0.40– 0.60 s) y la carrera del pistón S (10–45 mm), mediante un montaje óptico lateral que extrae la elevación de la superficie libre $\eta(x, t)$ de cada video. Una cámara lateral fija (1920×1080 px, 30 fps) registra una región de interés sobre la superficie del agua; un algoritmo de visión detecta, cuadro a cuadro, la línea de la superficie libre y localiza sus crestas y valles, lo que permite calcular la altura de ola H y el período efectivo de forma automática.

A partir de las 31 combinaciones (T , S) ensayadas se obtuvieron la altura de ola H y la longitud de onda λ correspondientes, ubicando los regímenes resultantes en el diagrama de Le Méhauté para clasificar el tipo de ola generada en cada condición. Adicionalmente se diseñaron y probaron tres geometrías de absorbedores de olas (plano perforado, parabólico y de placas intercambiables con distinta porosidad) con el objetivo de minimizar la reflexión en el extremo del canal opuesto al pistón, paso necesario antes de extender el barrido de caracterización al coeficiente de reflexión Cr .

Experimentos con cilindros flotantes. Se realizaron experimentos con series de cilindros flotantes balanceados y desbalanceados (series M y M1, masa media $29,85 \pm 0,36$ g y $29,47 \pm 0,11$ g respectivamente, con ángulos de desbalance en reposo entre $0,3^\circ$ y 17°), bajo condiciones de oleaje con H entre 6 y 11 mm. Cada repetición se grabó con una cámara lateral y se siguió la posición del cilindro mediante un pipeline de detección por color (HSV) (Fig. 3) que genera una serie temporal (t , x , y); los huecos de detección (195 cuadros, 0.18 % del total)

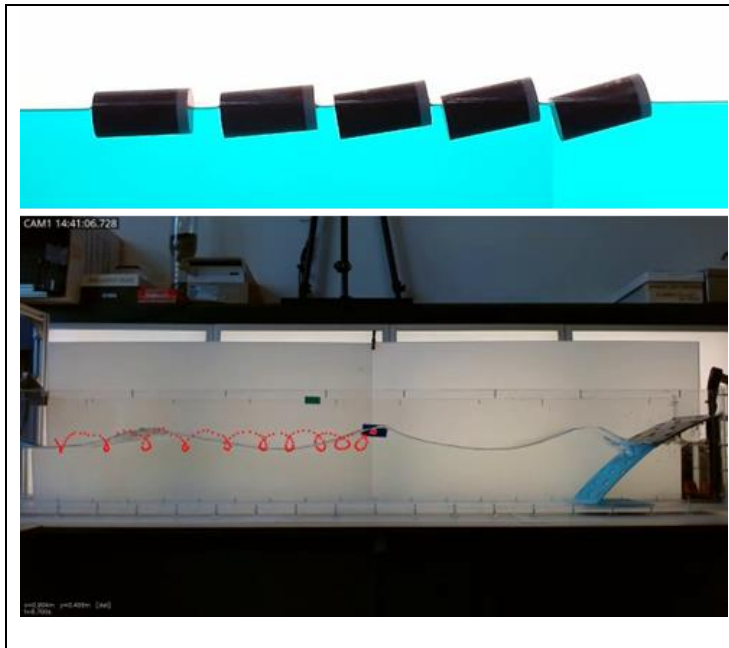
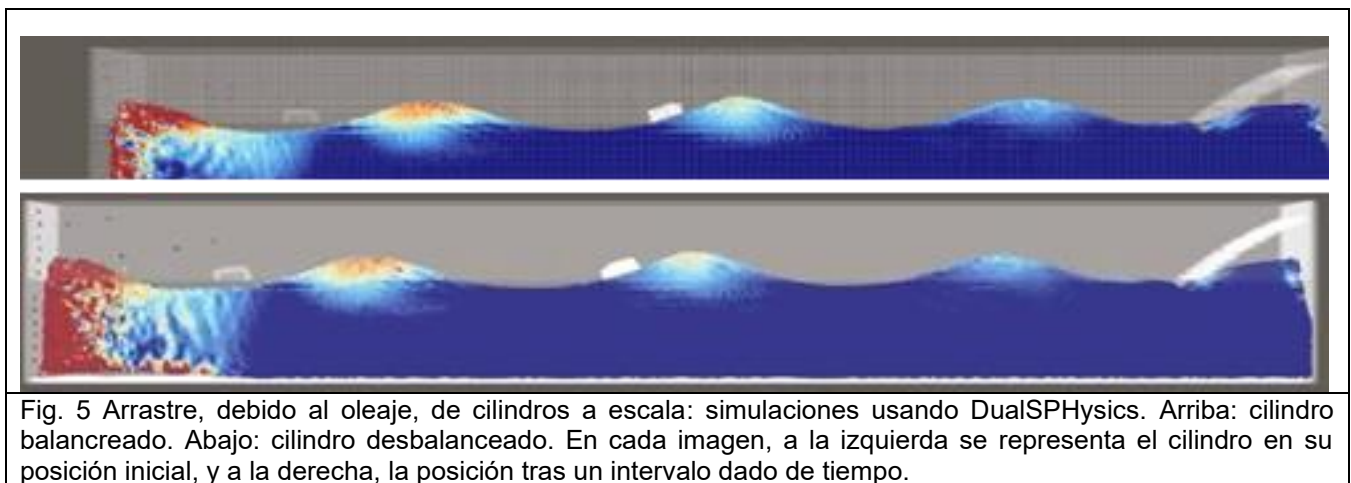


Fig. 4 Arrastre debido al oleaje de un cilindro a escala. Arriba: cilindros impresos en 3D con diferentes ángulos de flotación. (b) Abajo: cilindro flotando en el canal de olas, con su trayectoria en color rojo: obsérvese el arrastre de Stoke hacia la “playa” (situada a la derecha).

se corrigieron manualmente con una interfaz gráfica. A partir de estas trayectorias se calcularon el tiempo de tránsito y la velocidad media de deriva $V_m = d/t$ a lo largo del canal. Los resultados muestran que el ángulo de desbalance en reposo afecta de forma medible ambas magnitudes: los cilindros más desbalanceados (serie M1) derivan sistemáticamente más rápido que los balanceados (serie M), consistente con los mecanismos de orientación y deriva por olas reportados en la literatura. Esto coincide con los resultados experimentales realizados con latas vacías reales en el canal de olas de nuestro laboratorio en La Habana, reportados en el informe trimestral anterior. La Fig. 4 muestra algunos de estos resultados.

Simulaciones numéricas. Se desarrollaron simulaciones 3D en DualSPHysics (SPH, ~930 mil partículas: 726 mil de fluido y 203 mil de contorno, de las cuales 228 forman el cilindro flotante), ejecutadas en el clúster GPU Lyra de ULB/CECI (NVIDIA RTX 6000 Ada, 48 GB). El movimiento del pistón se impuso a partir del archivo de movimiento calibrado correspondiente a $T = 0,6$ s, $S = 45$ mm, y el cilindro se dejó libre únicamente en rotación alrededor del eje longitudinal del canal, bloqueado en las demás direcciones. Se simularon dos casos, balanceado ($m = 10,29$ g) y desbalanceado ($m = 11,71$ g, inclinación $5,47^\circ$), durante $T_{m'ax} = 30$ s. Ambos reproducen cualitativamente el comportamiento de cabeceo y deriva observado experimentalmente bajo el mismo tren de olas generado por pistón, cerrando el ciclo caracterización → experimento físico → réplica numérica.



Como se ve en la Fig. 5, los cilindros desbalanceados avanzan hacia la playa a mayor velocidad que los balanceados, lo cual coincide con los experimentos realizados en el canal de olas cubano con latas vacías reales, reportado en el informe enero-marzo del 2026.

Próximos pasos: completar la caracterización del coeficiente de reflexión Cr para todo el barrido (T , S); extender las simulaciones numéricas a las 31 condiciones experimentales y compararlas cuantitativamente con las trayectorias experimentales; realizar un estudio de convergencia con una resolución de partículas más fina; y avanzar en el diseño y construcción del nuevo canal de olas FabLab FF-UH, junto con el diseño de nuevos experimentos con objetos flotantes y no flotantes, y contaminantes líquidos.

• *Tarea 5. Realización de ejercicios académicos por parte de los doctorantes involucrados en el Proyecto*

La doctorante Daniela Martínez-Ortiz realizó exitosamente el ejercicio de categorización como profesora instructora en el mes de mayo, consolidando su trayectoria docente dentro de la Facultad de Física.

El doctorante Luis Abel Rodríguez de Torner impartió un seminario de avance de doctorado en la ULB el día 26 de junio de 2026.

Los ejercicios académicos realizados por la doctorante en ciencias sociales están incluidos en la próxima sección.

• *Tarea 6. Continuar la investigación dentro de las ciencias sociales*

Continuación de la estancia doctoral de Mayelín García Remus en la Universidad de Louvain Le Neuve. (febrero-agosto 2026).

Participación de la doctorante en los seminarios impartidos en el Centro Interdisciplinario de Investigación de organización del trabajo y sociedad (CIRTES), donde realiza la pasantía, relacionados con los siguientes temas:

- ✓ Innovación social y exnovación. Conceptos generales, ejemplos de proyectos e importancia. (Dr. Karina Maldonado-Mariscal del Centro de Investigación Social de Dortmund).
- ✓ Discusión de un artículo sobre las mujeres empresarias. Movimiento feminista. (Natacha Bastiat, CIRTES).
- ✓ Políticas de inclusión social. (Dr Elina Meliou, University of Southampton Business School)
- ✓ La investigación cualitativa: las inconformidades y malestar que puede ocasionar al investigador durante el trabajo de campo. (Organizado por Florence Degrave).
- ✓ Desigualdades percibidas en las oportunidades y estrategias empresariales (Olga Nitsali, CIRTE).
- ✓ Gobernanza, aprendizaje y temporalidad. (Coline Ruwet, Profesora asociada de CIRTES)

Participación en el taller organizado por CIRTES sobre Vulnerabilidades y violencia de género

Avances en el capítulo teórico de la tesis de doctorado: continuación de la revisión bibliográfica sobre innovación social, tecnologías para el monitoreo de la calidad del agua, gobernanza del agua, monitoreo participativo y ciencia ciudadana. Búsqueda de artículos científicos en Google

Scholar, Scielo y Science Direct; partiendo de los criterios de inclusión y exclusión con el fin de identificar los artículos que se relacionan más con la investigación. En detalle (a) Selección y análisis de los artículos para tener en cuenta en la fundamentación teórica, y en el artículo que se va a escribir, mediante el método Prisma, el cual constituye una contribución metodológica a la tesis. (b) Se definieron las cadenas de búsqueda ("social innovation " AND "water pollution" AND " community participation"), ("social innovation " AND "water quality monitoring"), ("technologies ") AND ("water quality monitoring"), ("social innovation"). (c) Identificación de aproximadamente 330 artículos por cada una de las cadenas de búsqueda, que cumplieran con los criterios de inclusión definidos, ejemplo:

Artículos sobre Innovación social, contaminación del agua y participación comunitaria, en Inglés y en español, revisados por pares y publicados en el período del 2016 al 2026: 144. Posteriormente, utilizando la lista de chequeo del método PRISMA, se seleccionaron 15.

Así se realizó para cada cadena.

Conclusión

A pesar de la dramática situación económica del país, que implica un serio deterioro en las condiciones de vida de los participantes, acceso nulo a las boyas de la bahía y mantenimiento cero a la infraestructura por vía institucional, el proyecto está alcanzando un nivel de madurez tal, que se prevé una rampa creciente de resultados científicos en los próximos meses.



Dr.C Ernesto Altshuler

Director del proyecto por la parte cubana