

# Un registrador de datos para modelar el comportamiento de la ballena

Ing. Jorge Dignani<sup>1,2</sup>, Ricardo Kölln<sup>1,2</sup>, Lic. María Belén Argüelles<sup>2,3</sup>, Dr. Marcelo Bertellotti<sup>2</sup>.

Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco Sede Puerto Madryn<sup>1</sup>  
Centro Nacional Patagónico - Conicet<sup>2</sup>

Secretaría de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva - Provincia del Chubut<sup>3</sup>  
Cenpat, B. Brown 2915, (U9120ACD) Puerto Madryn, Chubut, Argentina  
280 4883184 int 1264/1267  
dignan@cenpat-conicet.gob.ar

## RESUMEN

Este trabajo de investigación tiene como objetivo modelar en un espacio 4D (X, Y, Z, Tiempo) el buceo de la ballena franca austral que ocupa en la Patagonia áreas de desarrollo de actividades humanas, exponiéndose a un escenario de riesgo de colisión con embarcaciones. Este riesgo aumenta conforme aumenta la población de ballenas y las actividades en los puertos y aunque es posible recopilar datos por observación directa cuando están en superficie, resulta muy difícil interpretar sus movimientos durante sus buceos. Se fabricó un dispositivo para el registro de datos de aceleración en tres ejes, campo magnético en tres ejes, temperatura del agua, posición y velocidad tomados con GPS, presión y conductividad que se graban en una tarjeta microSD de alta capacidad.

**Palabras claves:** registrador de datos, sensores, timedepth recorder (TDR), navegación autónoma.

## CONTEXTO

Esta línea de investigación forma parte del proyecto que se está elaborando entre LINVI (Laboratorio de Investigación en Informática) perteneciente a la UNPSJB y el CENPAT-CONICET. El CENPAT

cuenta con un grupo de investigadores en el área oceanográfica y un laboratorio donde se desarrolla el hardware y software de sistemas computarizados de registro de datos. Por otra parte, la UNPSJB posee un grupo de trabajo en el área informática y matemática con capacidad para desarrollar las aplicaciones necesarias para procesar los datos adquiridos.

## 1. INTRODUCCIÓN

En el ámbito científico es primordial disponer de mediciones de variables para estudiar comportamientos. En el caso de los mamíferos marinos es muy difícil describir el comportamiento de buceo por observación directa. Para poder estudiarlos se les colocan dispositivos registradores de datos que almacenan una serie de variables en una memoria [1] [2] [3] [4]. Luego del proceso de adquisición de datos se les quitan estos dispositivos y se analiza la información grabada ().

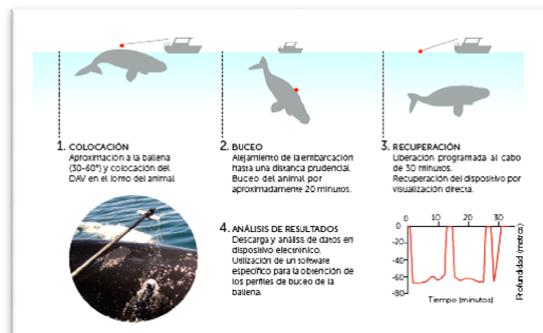


Figura 1. Ciclo del data logger.

## 2. LINEAS DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO

Para estudiar en detalle los movimientos y tipo de buceo de las ballenas se fabricó un registrador de datos cuyas especificaciones y diseño fueron:

- Medición con muestreo de datos programable desde 0.1 seg en adelante
- Aceleración según X, Y y Z, para determinar la inclinación rolido y cabeceo (roll y pitch) del cuerpo [5].
- Campo Magnético según X, Y y Z: Para determinar la dirección de movimiento (uso como compás) [6] [7].
- Temperatura del agua, para realizar compensaciones de otros sensores que además puede ser de utilidad para estudios oceanográficos.
- Posición y velocidad tomadas de un GPS cuando el animal está en superficie y de utilidad también en el rescate del registrador una vez que se desprende del animal. El aparato transmite mensajes SMS indicando la posición [8] [9] [10].
- Sensor de presión, para determinar la profundidad de buceo [11].
- Sensor booleano de conductividad. Cuando el dispositivo está fuera del agua más de 5 minutos entra en un modo sueño profundo que desconecta

sensores y determina que el consumo de energía sea de unos pocos nA.

- Grabación en una tarjeta microSD de alta capacidad, en formato ASCII, con sistema de archivos FAT32 que permite la lectura directa en cualquier computador [12].

El desafío aquí es:

a) adquirir sin errores una gran cantidad de datos en tiempo y forma, con bajo consumo.

b) Procesar las variables indirectas: presión que se transforma en profundidad, aceleraciones para determinar ángulos y campos magnéticos para determinar rumbo.

c) compensar los errores de los sensores.

d) Obtener por integración datos de posición y velocidad del animal.

### 2.1. LA ARQUITECTURA DEL REGISTRADOR

En la *figura 2* se puede ver la arquitectura del registrador de datos.

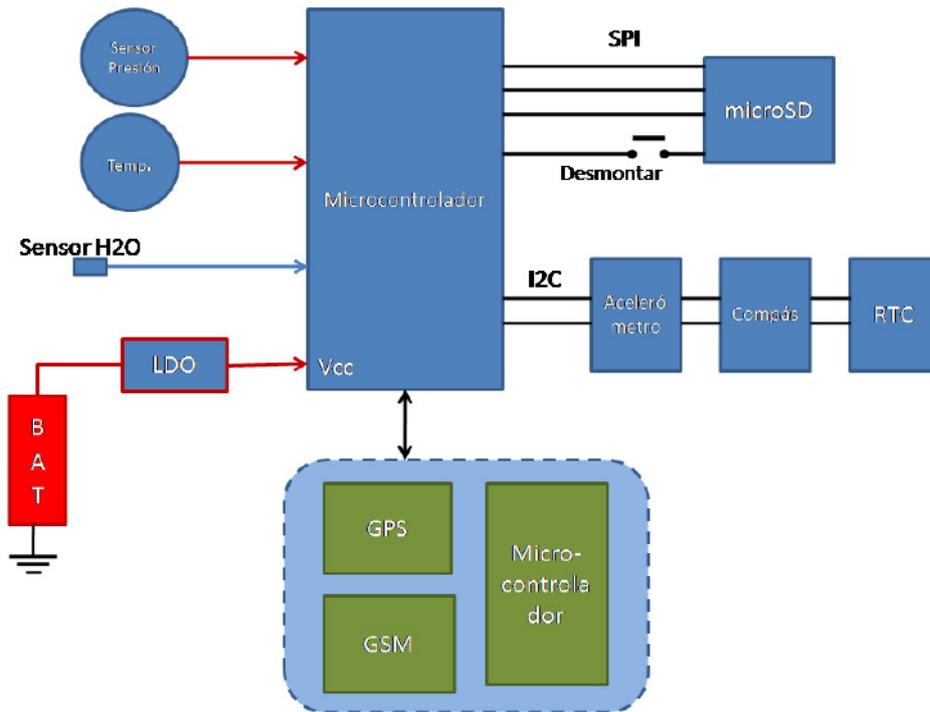


Figura 2. Arquitectura del registrador

En la *figura 3* se observa la ubicación de los chips magnetómetro y acelerómetro en la placa que siguen el estándar NED (North, East, Down) lo que significa que los algoritmos de proceso de la señales de los sensores deben seguir ese sistema de coordenadas.

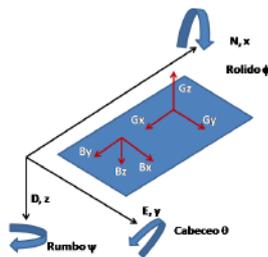


Figura 3. Standard NED

## 2.2. PROCESAMIENTO DE DATOS

La primera etapa de procesamiento consiste en agrupar, validar y clasificar los datos de forma de obtener todas variables en las unidades adecuadas con un error acotado.

En este preprocesamiento se usa una aplicación escrita especialmente para este fin en lenguaje JAVA. Estos datos alimentan otras aplicaciones usando Matlab [13] y STK [14] para la determinación de las variables cinemáticas del animal a lo largo del tiempo.

Estas variables incluyen: rolido, cabeceo, rumbo, posición geográfica y profundidad.

La orientación del dispositivo se puede modelar como rotación en 3 ángulos [15]: rumbo, rolido y cabeceo a partir de una posición base puesto el dispositivo en un lugar horizontal y apuntando al norte. La resultante de la aceleración  $G_r$  y del campo magnético  $B_r$  en esa posición de referencia es

$$G_r = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ g \end{pmatrix}$$

$$B_r = B \begin{pmatrix} \cos \delta \\ 0 \\ \sin \delta \end{pmatrix}$$

Los valores de  $G_r$  y  $B_r$  son relativamente constantes en un lugar

determinado y entonces a partir de las lecturas de cada componente se puede determinar los 3 ángulos del modelo.

Las ecuaciones matriciales que describen el modelo son:

$$G_p = R_x(\phi)R_y(\theta)R_z(\psi)G_r = R_x(\phi)R_y(\theta)R_z(\psi) \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ g \end{pmatrix}$$

$$B_p = R_x(\phi)R_y(\theta)R_z(\psi)B \begin{pmatrix} \cos \delta \\ 0 \\ \sin \delta \end{pmatrix} + V = R_x(\phi)R_y(\theta)R_z(\psi)B \begin{pmatrix} \cos \delta \\ 0 \\ \sin \delta \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} V_x \\ V_y \\ V_z \end{pmatrix}$$

El vector V tiene en cuenta las constantes de calibración por interferencias magnéticas al magnetómetro [16].

A partir de estas se determinan los 3 ángulos.

En particular el rumbo ( $\psi$ ) compensado con la inclinación es

$$\rightarrow \tan(\psi) = \frac{-B_x}{B_y} = \frac{(B_{zz} - V_z) \sin \phi - (B_{yz} - V_y) \cos \phi}{(B_{zx} - V_x) \cos \theta + (B_{yz} - V_y) \sin \theta \sin \phi + (B_{zz} - V_z) \sin \theta \cos \phi}$$

### 3. RESULTADOS Y OBJETIVOS

- Ya se ha construido el primer prototipo del logger.
- Se está realizando una versión experimental del software encargado de procesar los datos adquiridos.
- Aplicar técnicas de visualización científica para representar los buceos en 3 dimensiones.
- Aumentar la experiencia con el toolbox de análisis de datos de MatLab y otras aplicaciones relacionadas.
- Formar alumnos en áreas como el seguimiento inercial y sistemas de navegación autónoma [17] [18] [19] [20].
- Desarrollar nuevos data loggers utilizando las nuevas tecnologías de sensores MEM (Micro Electro Mecánico), microcontroladores de bajo consumo y memorias de alta capacidad.

### 4. FORMACIÓN DE RECURSOS HUMANOS

El presente proyecto es el resultado de la interacción multidisciplinaria para resolver un problema biológico a través de un desarrollo tecnológico.

El grupo de trabajo incluye:

- 1 Programador de microcontrolador.
- 1 Ingeniero.
- 1 Biólogo para interpretación de los resultados.
- 2 prof/alumnos, tesis de trabajo final.
- 1 Tesis doctoral.
- Se prevee la incorporacion de un Dr en matemática.

Indirectamente, los resultados de este proyecto beneficiarán a alumnos y docentes de grado en sistemas de manejo de memoria area ARSO.

Tendrá interacción con otros proyectos de la Universidad de sistemas embebidos, sistemas de navegación autónoma con aplicación en robótica y desarrollo de sistemas de visualización en 3 dimensiones.

### 5. REFERENCIAS

1. Colin Ware, Roland Arsenault, and Matthew Plumlee University of New Hampshire. Visualizing the Underwater Behavior of Humpback Whales. [http://ccom.unh.edu/vislab/PDFs/Ware\\_CGA.pdf](http://ccom.unh.edu/vislab/PDFs/Ware_CGA.pdf)
2. Whitney N, Pratt HJ, Pratt T, Carrier J (2010) Identifying shark mating behavior using three-dimensional acceleration loggers. *Endangered Species Research* 10: 71–82.
3. Shepard ELC, Wilson RP, Quintana F, Gómez Laich A, Liebsch N, et al. (2008) Identification of animal

- movement patterns using tri-axial accelerometry. *Endangered Species Research* 10: 47–60.
4. Wilson RP, White CR, Quintana F, Halsey LG, Liebsch N, et al. (2006) Moving towards acceleration for estimates of activity-specific metabolic rate in free-living animals: the case of the cormorant. *J Anim Ecol* 75: 1081–1090.
  5. Hoja de datos de acelerómetro 3G BOSCH BMA250. <http://aebst.resource.bosch.com/media/products/dokumente/bma250/bst-bma250-ds002-05.pdf>
  6. AN4248, Implementing a Tilt-Compensated E-Compass Using Accelerometer and Magnetometer Sensors - Application Notes
  7. Colin Ware, Roland Arsenault, and Matthew Plumlee University of New Hampshire. Visualizing the Underwater Behavior of Humpback Whales. [http://ccom.unh.edu/vislab/PDFs/Ware\\_CGA.pdf](http://ccom.unh.edu/vislab/PDFs/Ware_CGA.pdf)
  8. Standard NMEA 183 para comunicación de datos Gps. <http://www.gpsinformation.org/dale/nmea.htm>
  9. Kuhn CE, Johnson DS, Ream RR, Gelatt TS (2009) Advances in the tracking of marine species: using GPS locations to evaluate satellite track data and a continuous-time movement model. *Mar Ecol-Prog Ser* 393: 97–109.
  10. Hofmann-Wellenhof, B., H. Lichtenegger, et al. 1994. "GPS: Theory and practice", Springer.
  11. Sensor mpx5700: [http://www.freescale.com/webapp/sps/site/prod\\_summary.jsp?code=MPX5700](http://www.freescale.com/webapp/sps/site/prod_summary.jsp?code=MPX5700). Hojas de datos y notas de aplicación.
  12. Especificaciones de formato fat32 para tarjetas microSD. <https://www.sdcard.org/developers/overview/capacity/>
  13. Matlab data análisis. [https://www.mathworks.com/help/pdf\\_doc/matlab/data\\_analysis.pdf](https://www.mathworks.com/help/pdf_doc/matlab/data_analysis.pdf)
  14. systems tool kit software. <http://www.agi.com/products/stk/>
  15. Ángulos de Euler. [http://en.wikipedia.org/wiki/Euler\\_angles](http://en.wikipedia.org/wiki/Euler_angles)
  16. D. Gebre-Egziabher, G. H. Elkaim, J. D. Powell, and B. W. Parkinson., 2001, "A non-linear, two-step estimation algorithm for calibrating solid-state strapdown magnetometers." In 8th International St. Petersburg Conference on Navigation Systems, St. Petersburg, Russia. IEEE/AIAA, 2001.
  17. Ojeda, L., Borenstein, J., 2007, "Non-GPS Navigation for Security Personnel and Emergency Responders." *Journal of Navigation*. Vol. 60 No. 3, September 2007, pp. 391-407.
  18. Ojeda, L. and Borenstein, J., 2007, "Personal Dead-reckoning System for GPS-denied Environments." IEEE. International Workshop on Safety, Security, and Rescue Robotics (SSRR2007) in Rome, Italy, September 27-29,2007.
  19. E.M. Nebot. Sensors used for autonomous navigation. In SG Tzafestas, editor, *Advances in Intelligent Autonomous Systems*, pages 135–156. Kluwer Academic.
  20. IEEE Computer society Proceedings of the Seventh IEEE International Symposium on Wearable Computers (ISWC'03). **Personal Position Measurement Using Dead Reckoning**. Cliff Randell Chris Djiallis Henk Muller, Department of Computer Science, University of Bristol.