










	GERENCIA DE FÍSICA - GAIyANN DIVISIÓN FÍSICA ESTADÍSTICA E INTERDISCIPLINARIA	INT-INN_03FEI-003
	Informe Técnico	Página: 1 de 13
TÍTULO: Desarrollo de un sistema de monitoreo para rastreo de pequeños animales en el bosque del Liao Liao		
1. OBJETIVO El objetivo principal de este proyecto consiste en desarrollar un sistema de monitoreo de animales usando radiotelemetría, de bajo costo, liviano, con suficiente autonomía y que pueda utilizarse en un ambiente de tránsito difícil, como lo es el bosque andino patagónico. Posibles aplicaciones incluyen el rastreo de fauna silvestre, la localización de excursionistas y el monitoreo de animales domésticos (mascotas o ganado). Actualmente estamos utilizando este sistema de monitoreo para estudiar el papel ecológico del marsupial monito del monte (<i>Dromiciops gliroides</i>) en el bosque. Nuestro equipo de desarrollo está formado por un grupo interdisciplinario de Doctores y Licenciados en Ciencias Biológicas, Ciencias Físicas e Ingenieros en Electrónica.		
2. SOLICITANTE División Física Estadística e Interdisciplinaria		
Preparó		
Nombre y Apellido (Filiación)		Firma
Laila Kazimierski (IB-CONICET)	Leonardo Morbidel (IB-CAB-CNEA)	
Guillermo Abramson (IB-CONICET)	Nicolás Catalano (IB-CAB-CNEA)	
Karina Laneri (IB-CONICET)	Cristian Roddick (IB-CAB-CNEA)	
Guillermo Amico (Ecotono - CRUB)	Pablo Constanzo Caso (IB-CONICET)	
Agustina Balazote (Ecotono - CRUB)		
		
		
		
		
		
Aprobó		
Nombre y Apellido	Fecha	Firma
Guillermo Abramson	21-06-2018	
NOTA: Este documento es propiedad de CNEA y se reserva todos los derechos legales sobre él. No está permitida la explotación, transferencia o liberación de ninguna información en el contenido, ni hacer reproducciones y entregarlas a terceros sin un acuerdo previo y escrito de CNEA.		

CNEA	Desarrollo de un sistema de monitoreo para rastreo de pequeños animales en el bosque del Liao Liao	INT-INN_03FEI-003 Página: 2 de 13
-------------	---	--------------------------------------

INDICE

1. OBJETIVO.....	1
2. SOLICITANTE.....	1
3. DESARROLLO.....	3
4. REFERENCIAS.....	12
5. INFORMACIÓN DE CONTACTO.....	13

CNEA	Desarrollo de un sistema de monitoreo para rastreo de pequeños animales en el bosque del Llao Llao	INT-INN_03FEI-003 Página: 3 de 13
-------------	---	--------------------------------------

3. DESARROLLO

3.1 Contexto biológico y trabajos previos

Existen en el bosque andino patagónico animales poco comunes que desempeñan papeles ecológicos clave en biomas con faunas empobrecidas. Este parece ser el caso del marsupial nocturno sudamericano *Dromiciops gliroides* (Rodríguez-Cabal et al., 2007; Rodríguez-Cabal et al., 2013): el único representante vivo de la familia Microbiotheriidae (Kelt y Martínez, 1989). Este pequeño marsupial arbóreo es endémico de la porción norte del bosque templado de la Patagonia (Kelt y Martínez, 1989; Martín, 2010). En estos bosques el monito del monte es considerado un "arquitecto ecológico" (Fontúrbel y Jiménez, 2011) porque es capaz de determinar la distribución espacial de al menos 16 especies de plantas, incluyendo el muérdago *Tristerix corymbosus*, el quintral (Amico y Aizen, 2000; Amico et al., 2009; García et al., 2009; Amico et al., 2011). Por esta razón, *D. gliroides* es un participante clave para la conservación de los bosques templados de la Patagonia (Fontúrbel et al., 2012; Rodríguez-Cabal et al., 2013).

La parte norte (a 41° S) de los bosques templados de la Patagonia tiene la mayor biodiversidad, el mayor número de especies endémicas, la menor proporción de áreas protegidas y la mayor tasa de perturbación (Armesto et al., 1998; Rodríguez-Cabal et al., 2008). La biodiversidad de este bosque templado actualmente está amenazada por las tasas más altas de destrucción, fragmentación y degradación jamás experimentadas por este sistema, con más de 120,000 hectáreas de bosques nativos destruidos o degradados anualmente (Lara et al., 1996). La porción norte de este bosque templado es precisamente donde habita *D. gliroides*. Este marsupial ha sido clasificado como "casi amenazado" por la IUCN (IUCN 2017), como vulnerable en Argentina (Díaz y Ojeda, 2000) e "insuficientemente conocido" en Chile (República de Chile 2007).

En trabajos anteriores se ha intentado monitorear el movimiento de este marsupial en la Patagonia. El error de medición arrojado por los resultados sugiere la necesidad de seguir avanzando en el desarrollo de un sistema de monitoreo más apropiado. Colegas chilenos han realizado trabajos con radiotelemetría para monitorear al monito del monte en su región (Fontúrbel et al., 2009; Fontúrbel et al., 2016), pero no ha habido avances en Argentina respecto al desarrollo de un sistema de monitoreo aplicable a esta especie.

3.2 Propuesta

Proponemos el desarrollo de un sistema de rastreo aplicable al monito del monte, del cual aún se tiene poco conocimiento pese a ser un participante clave para la conservación de los bosques templados de la Patagonia. Este animal es nocturno, vive en el bosque cerrado, y su peso promedio es de 30 gramos. Estas características presentan un gran desafío a la hora de conocer más acerca de esta especie; la densidad de vegetación dificulta la utilización de sistemas de ubicación GPS y la limitación de peso acota las opciones de equipamiento utilizable y, adicionalmente, las mediciones deben hacerse por la noche cuando el animal está en movimiento.

Buscamos desarrollar un sistema de monitoreo que supere las problemáticas que presentan algunos sistemas ecológicos como el aquí planteado. El proyecto propuesto se centra en diseñar, construir, caracterizar y utilizar un sistema de rastreo para estudiar el papel ecológico del marsupial monito del monte (*Dromiciops gliroides*) en el bosque, generando conocimiento básico sobre la biología de la especie y su estado de conservación. El desarrollo de este sistema es aplicable a muchas otras especies y/o hábitats.

3.3 Equipamiento y metodología de medición

El sistema en el que hemos estado trabajando consiste en un arreglo de 3 estaciones de recepción, las cuales bordean el área a monitorear y cuentan con un receptor tipo SDR (*Software Defined Radio*: www.rtl-sdr.com, ver Figura 1), una antena omnidireccional con polarización lineal marca Eiffel para la frecuencia 150 MHz (ver Figura 2), y una unidad de almacenamiento y procesamiento portátil. Las 3 estaciones de recepción se ubican en posiciones fijas previamente determinadas y georeferenciadas, y reciben simultáneamente los pulsos transmitidos por el transmisor que lleve consigo el animal. Para recibir y grabar los pulsos emitidos utilizamos el software SDR# (la Figura 3 muestra una captura del software SDR durante una grabación con un transmisor de prueba) y, en una etapa posterior, usamos Matlab para analizar las señales.



Figura 1. Receptor SDR



Figura 2. Antena omnidireccional fija para 150MHz. Se incluye la imagen de la antena ubicada en una de las estaciones de recepción en el bosque del Llao Llao (derecha).

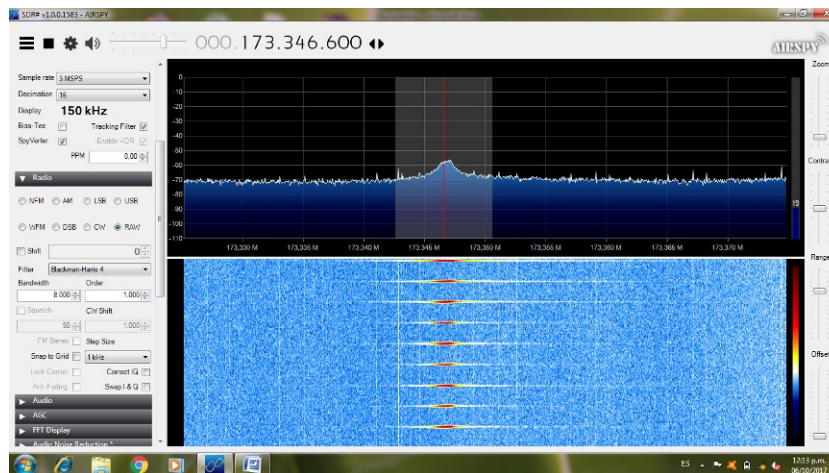


Figura 3. Captura del software SDR durante una grabación con un transmisor de prueba emitiendo pulsos en la frecuencia 173 MHz.

Cada individuo cuyo movimiento desea monitorearse lleva consigo (pegado al cuerpo, ver Figura 5) un transmisor de peso menor a 1 gramo de uso adecuado para especies como el monito del monte, el cual utiliza una batería que le permite emitir pulsos hasta por un período de dos meses, dependiendo del modelo de batería empleado. Actualmente estamos utilizando transmisores importados marca Telenax modelo TXA-004G y ATS modelo A2426 que transmiten en VHF, en particular, 150 MHz.

El transmisor que lleva el animal emite un pulso cada dos segundos (este valor puede variar dependiendo la marca y el modelo). Estos pulsos son recibidos por las tres estaciones de recepción con cierta potencia dependiendo de la distancia a la que se encuentre el transmisor respecto de cada una. Es posible asociar la potencia recibida con la distancia si se realiza una previa calibración que consista en emitir pulsos con el transmisor desde, al menos, dos distancias conocidas a cada antena (Rukaiya Javid, et al. 2015; Oguejiofor et al. 2013). En la sección siguiente se detallan los pasos a seguir en los ensayos y mediciones realizadas en el bosque del Llao Llao. Además, es necesario incluir algún tipo de señal que permita sincronizar las capturas para su posterior procesamiento.

3.4 Ensayo en el campo

Durante los meses de julio de 2017 a febrero de 2018 realizamos pruebas en el predio del Centro Atómico Bariloche y en el bosque del Llao Llao para caracterizar y configurar correctamente nuestros equipos y metodología. En febrero 2018 realizamos, con autorización de la Municipalidad de San Carlos de Bariloche, la primera medición con el monito del monte: se capturó a un individuo de esta especie (ver Figura 4), se le colocó un transmisor Telenax TXA-004G (ver Figura 5) y se lo soltó en un sitio georeferenciado del bosque. Para colocar el transmisor se le cortó el pelo al animal y se le pegó el transmisor con pegamento.



Figura 4. Fotografía del monito del monte capturado.



Figura 5. Fotografía del monito del monte capturado al que se le colocó el transmisor con pegamento.

Bordeando el área a monitorear (de, aproximadamente 1 hectárea) se colocaron las 3 estaciones de recepción formando un triángulo. Dado que el monito del monte es un animal nocturno, monitoreamos su movimiento durante las noches. Los tiempos de monitoreo de cada noche varían entre una y dos horas, dependiendo de la autonomía de los dispositivos usados. Durante las mediciones se realizaron pulsos con un handy para sincronizar las grabaciones de las tres antenas. Cada noche, previo al monitoreo del marsupial, se realizó una calibración de potencia en tres sitios georeferenciados (siempre los mismos). Esto permite tener un control sobre la variación de potencia recibida en los distintos días de monitoreo. La calibración nos permite conocer la potencia que recibe cada antena del transmisor ubicado en sitios conocidos, para luego traducir esta información a distancia desde cada antena al transmisor. La manera en que se realiza esa traducción depende del comportamiento de cada conjunto antena-receptor: la función que mejor ajusta la relación entre la potencia y distancia depende de cada estación de recepción. Los parámetros de cada ajuste también dependen de cada caso particular. En los resultados que mostramos en este informe se utilizaron ajustes lineales.

Utilizando Matlab importamos los archivos de las tres estaciones, los recortamos para sincronizarlos, filtramos el ruido de cada uno (ver Figura 6) utilizando un filtro tipo Nyquist de orden 45 centrado a la frecuencia del pulso, detectamos los pulsos de transmisión (ver Figura 7) y utilizamos esta información para estimar la posición del animal y determinar su trayectoria. Para detectar los picos se configuran parámetros de ancho, potencia y distancia mínima entre ellos para evitar falsos positivos. La metodología de análisis divide la captura en diferentes tramos y toma el valor máximo de cada uno. Utiliza los valores de cada antena para calcular distancias realizando una calibración para cada estación de recepción, y usa estos valores de distancia para estimar la posición del transmisor. La cantidad de puntos a triangular dependerá de la duración de las mediciones y del largo de los tramos. A modo ilustrativo, la Figura 6 muestra la captura de una de las estaciones de recepción correspondiente a una noche de medición: en azul se muestra la señal original mientras que, en rojo, se muestra la señal filtrada. Se observa que el ruido de la señal original se reduce notablemente, lo que permite detectar pulsos de menor potencia. En la Figura 7 se muestra un detalle de los picos detectados (izquierda) y un detalle del aspecto de los picos una vez filtrados (derecha).

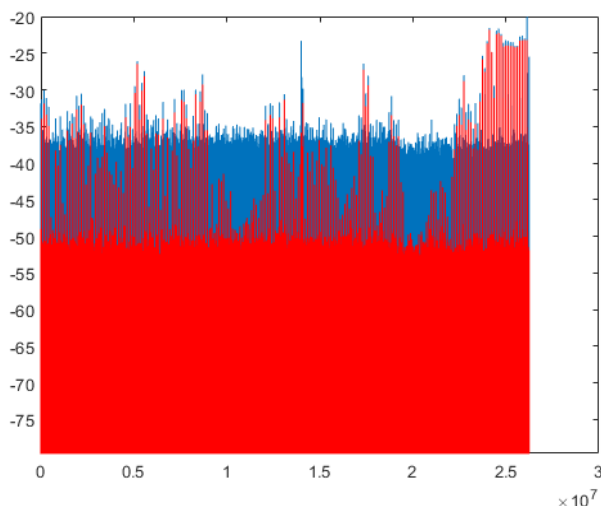


Figura 6. Señal medida por una de las estaciones de recepción (azul) y señal filtrada para reducir ruido (rojo).

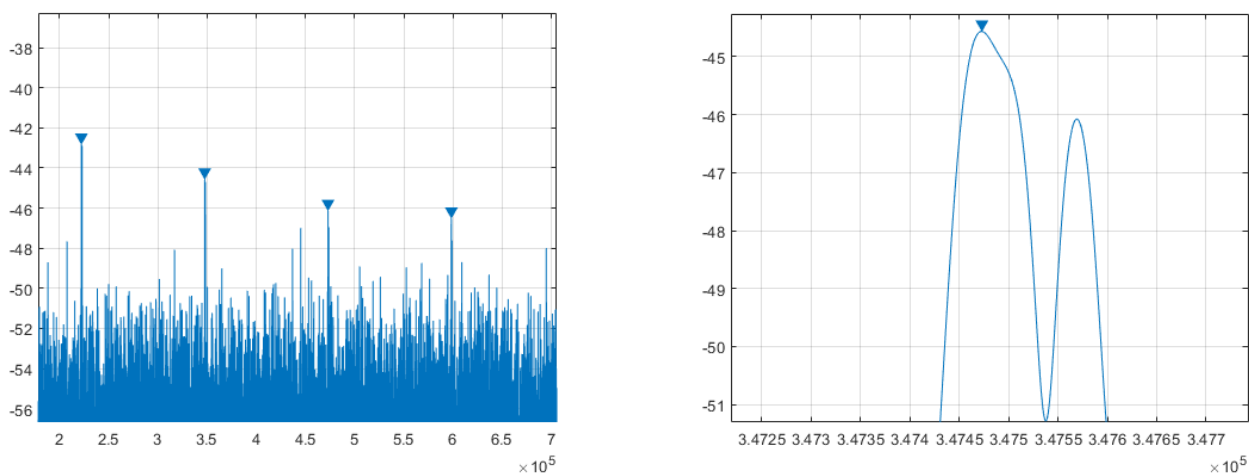


Figura 7. Izquierda: detección de picos de transmisión por sobre el ruido. Derecha: detalle de uno de los picos detectados, el cual tiene una forma y tamaño particular, que se ajusta con los criterios determinados para hallar picos y distinguirlos del ruido.

3.5 Resultados preliminares

El resultado de cada triangulación de distancias determina una posición en el plano bidimensional, y la trayectoria del individuo se construye con la sucesión de posiciones que surgen de la triangulación. La Figura 8 muestra una grilla de sitios que incluyen la ubicación de las tres estaciones de recepción, y la trayectoria realizada por el monito del monte la primera noche de medición. Cada celda de la grilla mide 20 metros de lado, y esta caminata en particular equivale a 15 minutos de medición, seleccionando máximos de potencia cada 5 segundos.

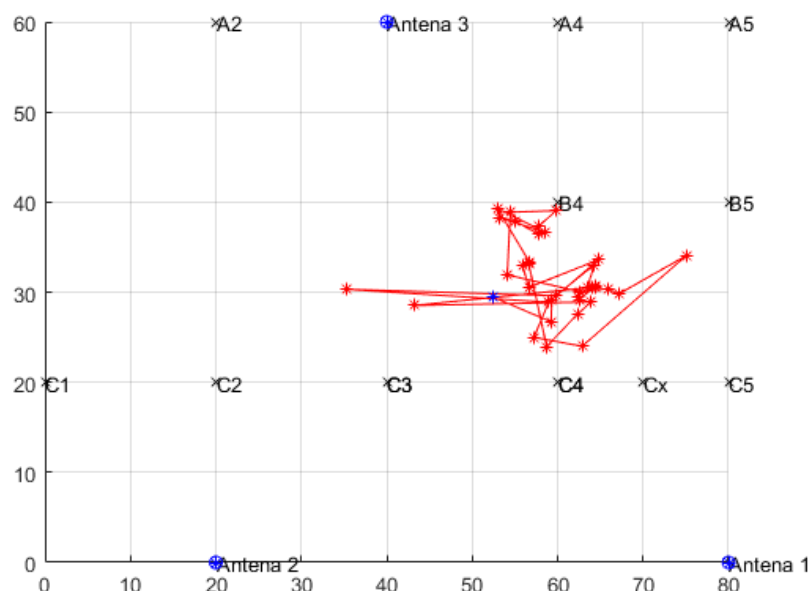


Figura 8. Trayectoria del monito del monte durante 15 minutos de medición.

Los resultados obtenidos hasta el momento son alentadores; es posible determinar las regiones por las que se mueve el individuo y reconstruir una trayectoria estimada. Sin embargo, esta metodología puede mejorarse de muchas maneras. Una de ellas, es agregar a la detección de pulsos más estaciones de recepción. Actualmente contamos con tres antenas y tres receptores adicionales; en la temporada siguiente contaremos con seis estaciones de recepción.

Otro aspecto a mejorar es que la potencia recibida varía con la orientación de la antena transmisora cuando el individuo bajo estudio se mueve debido al cambio de polarización de la señal emitida por la antena, la cual posee polarización lineal. Para esto comenzamos el desarrollo de antenas propias, no comerciales (ver sección 3.6) con polarización circular (Bevelacqua P.J., 2009). En simultáneo, estamos buscando alternativas para poder realizar mediciones durante la noche en el bosque de manera remota y con mayor autonomía.

3.6 Diseño y construcción de antenas omnidireccionales con polarización circular (antenas Cloverleaf)

En mediciones hechas en campo abierto confirmamos que la relación entre la potencia recibida con la antena transmisora en posición vertical y horizontal, conocida como relación axial, puede llegar a 20 dB. Esto sugiere la necesidad de utilizar antenas de polarización circular.

Actualmente estamos diseñando, armando y caracterizando nuestras propias antenas omnidireccionales. Los resultados obtenidos con las antenas omnidireccionales presentadas en la sección 3.3 sugieren la necesidad de utilizar antenas omnidireccionales con polarización circular para desvincular los cambios en la potencia recibida con posibles cambios de orientación de la antena del transmisor; los cambios en la potencia recibida debemos poder asociarlos a cambios en la distancia del transmisor al receptor y no a otros efectos.

Usando el programa de simulación CST diseñamos las antenas que muestran las figuras 9, 10 y 11. La primera es un prototipo pequeño que construimos para 915 MHz con el objetivo de validar el diseño. La segunda muestra parte del armado de la antena para 150 MHz, y la última muestra la antena armada. En la Figura 12 se observa el patrón de radiación obtenido en las simulaciones. En la Figura 13 se observa la relación axial para la antena simulada, donde se puede apreciar que esta se mantiene cerca de los 2 dB, lo que implicaría una mejora sustancial respecto de la recepción con antenas con polarización lineal. En la Figura 14 se muestra el patrón de radiación en el plano horizontal de la antena en 915 MHz, tanto para polarización vertical (celeste) como horizontal (violeta). Se aprecia una relación axial menor a 5 dB.

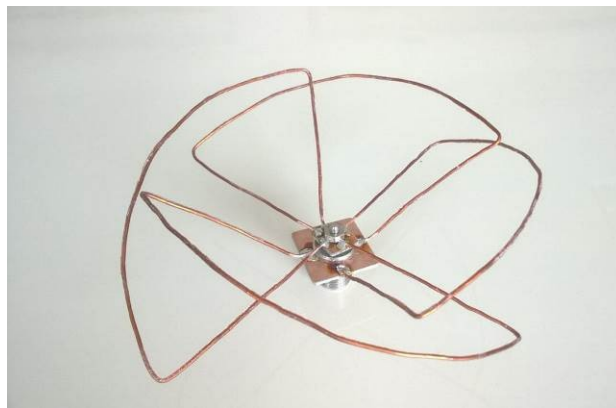


Figura 9. Prototipo de antena omnidireccional con polarización circular para 915_MHz.



Figura 10. Armado de la antena omnidireccional con polarización circular para 150_MHz.

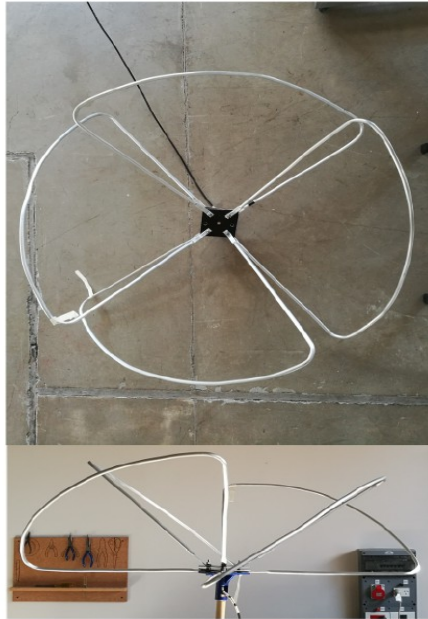


Figura 11. Antena omnidireccional con polarización circular para 150_MHz.

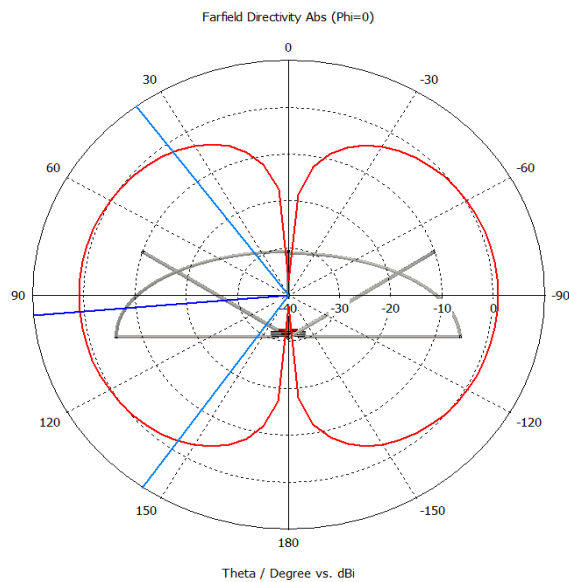


Figura 12. Simulación del patrón de radiación de la antena en 150 MHz con el software CST.

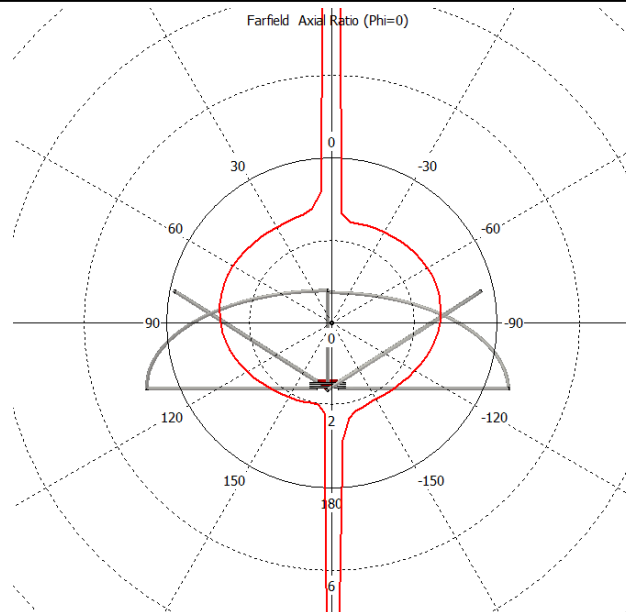


Figura 13. Relación axial para la antena simulada, donde se puede apreciar que esta se mantiene cerca de los 2 dB.

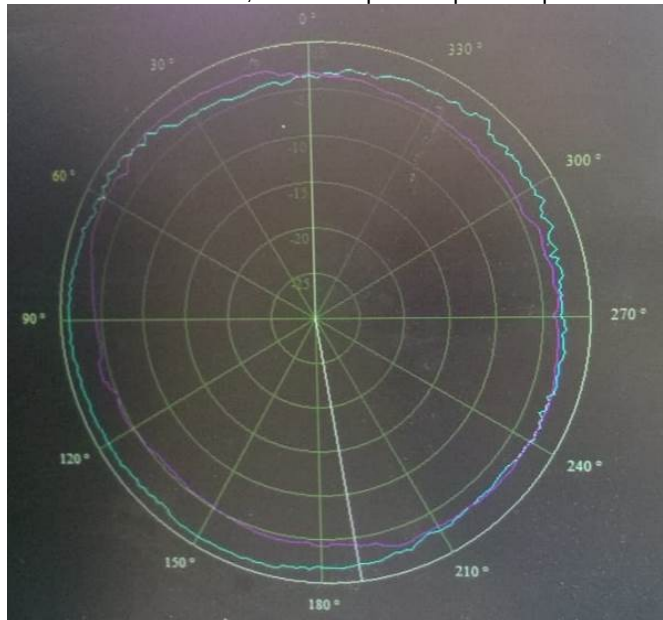


Figura 14. Medición del patrón de radiación horizontal de la antena de 915 MHz para transmisión con polarización horizontal (violeta) y polarización vertical (celeste).

3.7 Perspectivas y posibles aplicaciones

La necesidad y aplicación de sistemas de estas características es muy amplia. Por ejemplo, a nivel provincial o municipal el rescate de personas en el bosque implica costos muy elevados, generalmente porque la persona no cuenta con señal de celular ni GPS. Sin embargo, si se implementara este sistema de monitoreo y la persona llevase consigo un transmisor, en pocos minutos podría conocerse su posición exacta. Por otro lado, existen investigaciones científicas en curso, en el campo de la Ecología, que consisten en el monitoreo de animales en el bosque. Todas aquellas que utilizan técnicas de telemetría implican grandes gastos de importación de sistemas ya desarrollados. El sistema que hemos desarrollado es de fácil implementación y aplicable a diversas especies y hábitat.

CNEA	Desarrollo de un sistema de monitoreo para rastreo de pequeños animales en el bosque del Llao Llao	INT-INN_03FEI-003 Página: 12 de 13
-------------	---	---------------------------------------

4. REFERENCIAS

- Rodríguez-Cabal, M.A; Aizen, M.A and Novaro, A.J. (2007). Habitat fragmentation disrupts a plant-disperser mutualism in the temperate forest of South America. *Biological Conservation*, 139:195-202.
- Rodríguez-Cabal, M. A; Barrios García, M. N; Amico, G.C; Aizen, M.A and Sanders, N.J. (2013). Node- by-node disassembly of a mutualistic interaction web driven by species introduction. *Ecology*, 110:16503–16507.
- Kelt, D.A. and Martinez, D.R. (1989). Notes on distribution and ecology of two marsupials endemic to the Valdivian Forests of southern South America. *Journal of Mammalogy*, 70:220–224.
- Martin, G. M. (2010). Geographic distribution and historical occurrence of *Dromiciops gliroides* (Metatheria: Microbiotheria). *Journal of Mammalogy* 91:1025–1035.
- Fontúrbel, F.E. and Jiménez, J. (2011). Environmental and ecological architects: guidelines for the Chilean temperate rainforest management derived from the monito del monte (*Dromiciops gliroides*) conservation. *Revista Chilena de Historia Natural*, 84:203-211.
- Amico, G. and Aizen, M. A. (2000). Ecology: Mistletoe seed dispersal by a marsupial. *Nature*, 408(6815), 929-930.
- Amico, G.C; Rodríguez-Cabal, M.A and Aizen, M.A. (2009). The potential key seed-dispersing role of the arboreal marsupial *Dromiciops gliroides*. *Acta Oecologica*, 35:8-13.
- Amico, G.C; Rodríguez-Cabal, M.A and Aizen, M.A. (2011). Geographic variation in fruit colour is associated with contrasting seed disperser assemblages in a south-Andean mistletoe. *Ecography*, 34:318-326.
- Fontúrbel, F.E; Franco, M; Rodríguez-Cabal, M.A.; Rivarola, M.D. and Amico, G.C. (2012). Ecological consistency across space: a synthesis of the ecological aspects of *Dromiciops gliroides* in Argentina and Chile. *Naturwissenschaften*, 99:873–881.
- Armesto, J.J.; Rozzi, R.; Smith-Ramirez, C. and Arroyo, M.T.K. (1998). Conservation targets in South American temperate forests. *Science*, 282(5392), 1271-1272.
- Rodríguez-Cabal M.A; Amico, G.C; Novaro, A and Aizen, M.A. (2008). Population characteristics of *Dromiciops gliroides* an endemic marsupial of the temperate forest of Patagonia. *Mammalian Biology*, 73:74-76.
- Lara A.; Donoso, C. and Aravena J. C. (1996) La conservación del bosque nativo de Chile: problemas y desafíos. In: *Ecología de Los Bosques Nativos de Chile* (eds J. J. Armesto, C. Villagrán & M. K. Arroyo) pp. 335–62. Editorial Universitaria, Santiago de Chile.
- Díaz, G.B. and Ojeda, R. A. (2000). Libro Rojo de los mamíferos Amenazados de la Argentina. Sociedad Argentina para el Estudio de los Mamíferos. SAREM, Mendoza.
- Fontúrbel FE., Silva-Rodríguez EA., Cárdenas NH., Jiménez JE. (2009) Spatial ecology of monito del monte (*Dromiciops gliroides*) in a fragmented landscape of southern Chile, *Mammalian Biology*, 75:1-9 doi: 10.1016
- Fontúrbel FE., Salazar DA., (2016) Beyond habitat structure: landscape heterogeneity explains the monito del monte (*Dromiciops gliroides*) occurrence and behavior at habitats dominated by exotic trees, *Integrative Zoology*, 11:413-421.

CNEA	Desarrollo de un sistema de monitoreo para rastreo de pequeños animales en el bosque del Liao Liao	INT-INN_03FEI-003 Página: 13 de 13
-------------	---	---------------------------------------

Bevelacqua P.J., Antenna theory, <http://www.antenna-theory.com/>, 2009.

Rukaiya Javaid, Rehan Qureshi, and Rabia Noor Enam, RSSI based Node Localization using Trilateration in Wireless Sensor Network, 2015.

Oguejiofor O.S., Okorogu V.N., Adewale Abe, Osuesu B.O, Outdoor Localization System Using RSSI Measurement of Wireless Sensor Network, 2013.

5. INFORMACIÓN DE CONTACTO

Lic. Laila Kazimierski

División Física Estadística e Interdisciplinaria, Gerencia de Física

Centro Atómico Bariloche

lailakazimierski@gmail.com - laila.kazimierski@cab.cnea.gov.ar