



## XXXII Reunión de Administradores de Programas Antárticos Latinoamericanos Montevideo 2021



Tipo Documento (DI/DT)	DI	Sesión	CACAT
País	CHILE	Punto de Agenda	12.b
Fecha	13/09/21	Número Documento	

### **VEHICULO TERRETRES NO TRIPULADO (UGV) EN APOYO A LA TRAVESÍAS ANTÁRTICAS Y SISTEMA DE DETECCIÓN DE GRIETAS EN TERRENOS NEVADOS Y HIELO**

#### **RESUMEN**

Este proyecto es un esfuerzo combinado, bajo el convenio científico y tecnológico del año 2003 suscrito entre el Ejército de Chile y el INACH, el cual fue actualizado el 19DIC2019, con la finalidad de apoyar mediante la I+D en Ciencia y Tecnología, al desarrollo de tecnologías en apoyo a la Investigación Científica Antártica, dando cumplimiento a lo definido en el Antarctic Roadmap Challenges (ARC) impulsado por la COMNAP desde el año 2016, cuyo objetivo del proyecto ARC es identificar los requisitos críticos para permitir y entregar objetivos clave de la ciencia a través de la investigación, en y desde el sur de Regiones Polares en las próximas dos décadas. Es por ello que el Ejército de Chile (DIPRIDE) en conjunto con el INACH, definieron una hoja de ruta de potenciales proyectos en C&T que van en directo beneficio al cumplimiento de la hoja de ruta del ARC, donde uno de los proyectos definidos es el Sistema de Vehículo Terrestre No Tripulado (UGV) en apoyo a las travesías antárticas mediante un sistema de detección de grietas en terrenos nevados y hielo, el cual es un proyecto en actual desarrollo entre el Ejército de Chile (DIPRIDE), el Comando de Investigación del Ejército de los Estados Unidos (US ARMY DEVCOM-GVSC, CRREL) y la empresa Innervyces Labs. Este sistema está desarrollado para abordar la movilidad y la autonomía en escenarios complejos. La movilidad es fundamental para cualquier sistema terrestre tripulado o no tripulado, especialmente en entornos no estructurados complejos o peligrosos. Los entornos extremadamente fríos y los sensores ricos en datos casi no brindan ninguna ventaja cuando hay muy poca visibilidad o condiciones que limitan la conectividad externa y, por lo tanto, se deben desarrollar nuevas técnicas para extraer información del entorno inmediato para ayudar en las tareas de navegación. Terra-Mecánica es la fuente de datos más valiosa en este caso. En este sentido, la terra-mecánica representa un gran candidato para aplicar el aprendizaje profundo en dos aspectos. En primer lugar, se pueden recopilar rápidamente grandes cantidades de datos para alimentar y entrenar modelos y el hardware de aceleración se puede integrar actualmente en dispositivos electrónicos de pequeño tamaño para incorporar en robótica móvil y vehículos de la mayoría de las formas y características para clasificar el terreno de forma rápida y precisa. La clasificación de terrenos implica el desarrollo de diferentes tipos de terrenos candidatos a formar una lista larga e identificar los aspectos clave que afectan la movilidad y evaluar la transitabilidad para modificar la estrategia de conducción de forma continua.

#### **DESARROLLO**



## XXXII Reunión de Administradores de Programas Antárticos Latinoamericanos Montevideo 2021



### 1. Mecánica:

TRACER X fue construido como un vehículo eléctrico de tracción trasera de un solo eje de cuatro ruedas capaz de medir la interacción de cada componente con la superficie sobre la que se conduce mientras es guiado de forma manual o autónoma. Además, el proyecto requería que se implementara en un conjunto muy diferente de condiciones ambientales, como lluvias intensas, nieve y tierra calurosa y seca. Dado que el vehículo fue construido desde cero siguiendo las pautas del TRACER anterior (Polar TRACER) pero pasando a ser totalmente eléctrico, permiten un diseño orientado a ser una plataforma de prueba para diferentes algoritmos, recolección de datos y más investigación. Esto comienza con el diseño de todos los componentes mecánicos para poder controlarlos y medirlos mientras se realizan estas pruebas.

#### 1.1 Distribución interna de componentes:

En cuanto a la estructura interior, cada sistema tuvo que cerrarse de acuerdo con su sensibilidad al medio ambiente, dando al TRACER X una distribución interior particular. Los componentes más sensibles que necesitan aislamiento de la humedad, temperatura y otros debían estar contenidos en cajas con la protección IP requerida. Después de seleccionar los componentes más sensibles, los requisitos de espacio y las posiciones particulares, se puso a disposición un diseño tridimensional para determinar la mejor distribución. El diseño se basa inicialmente en establecer las dimensiones de la plataforma para la placa electrónica y los componentes que irán en su interior, los sensores de navegación deben colocarse lo más cerca del centro del eje central y del centro de gravedad del vehículo. El acceso a los paquetes de baterías es lo más simple posible, preferiblemente desde la parte superior, y todos los componentes deben tener una forma de alcanzarlos, reemplazarlos y mantenerlos fácilmente. La posición de las baterías, al ser los componentes más pesados, se diseñó para mantener una distribución de peso igual a 60/40 (trasero / delantero) orientado hacia atrás para tener un mejor control de frenado. Esto se debe principalmente a que cuando el vehículo frena, el peso se mueve hacia el frente acercándose a una distribución de peso de 50/50. Todos los neumáticos pueden frenar uniformemente, pero la parte trasera está controlada por un sistema hidráulico, mientras que la parte delantera es puramente mecánica. Los actuadores son electromecánicos. Para el montaje inicial, la posición de los actuadores lineales (2), los sensores inductivos (3), el potenciómetro de línea (3), el motor y el controlador, más el servo, deben configurarse en paralelo como se muestra en el siguiente modelo de referencia 3D.

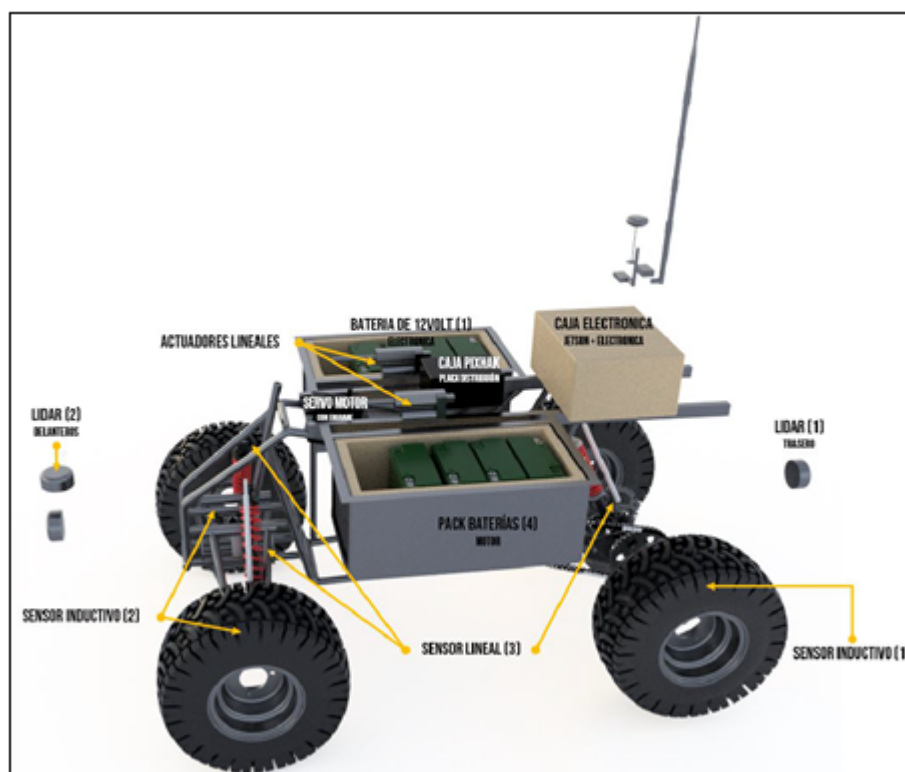


Figura N°1 “Distribución interna de TRACER X de los componentes principales”.

## 1.2 Aislamiento:

El propósito de los aislamientos es reducir la probabilidad de falla a bajas temperaturas ( $-20^{\circ}\text{C}$  o menos) de los componentes sensibles del sistema. Se consideran diferentes materiales aislantes según su aplicación y ubicación dentro del vehículo. \* El valor R se refiere a la inversa de la conductividad térmica, una medida de la resistencia de un material a los cambios de temperatura. Cuanto mayor sea el valor R, mejor aislamiento de la temperatura. Los valores de R son casi aditivos; Cinco cm de espuma de poliestireno tienen un valor R de R-9 en comparación con su valor R de R-5 de 2,5 cm.

Thickness [m]	W/m·K				
/	0,023	0,028	0,030	0,040	
0,01	0,43	0,36	0,33	0,25	R
0,02	0,87	0,71	0,67	0,50	
0,03	1,30	1,07	1,00	0,75	
0,04	1,74	1,43	1,33	1,00	

La tabla N°1, integra información sobre los valores proporcionales de conductividad térmica con el espesor del material seleccionado.



## XXXII Reunión de Administradores de Programas Antárticos Latinoamericanos Montevideo 2021

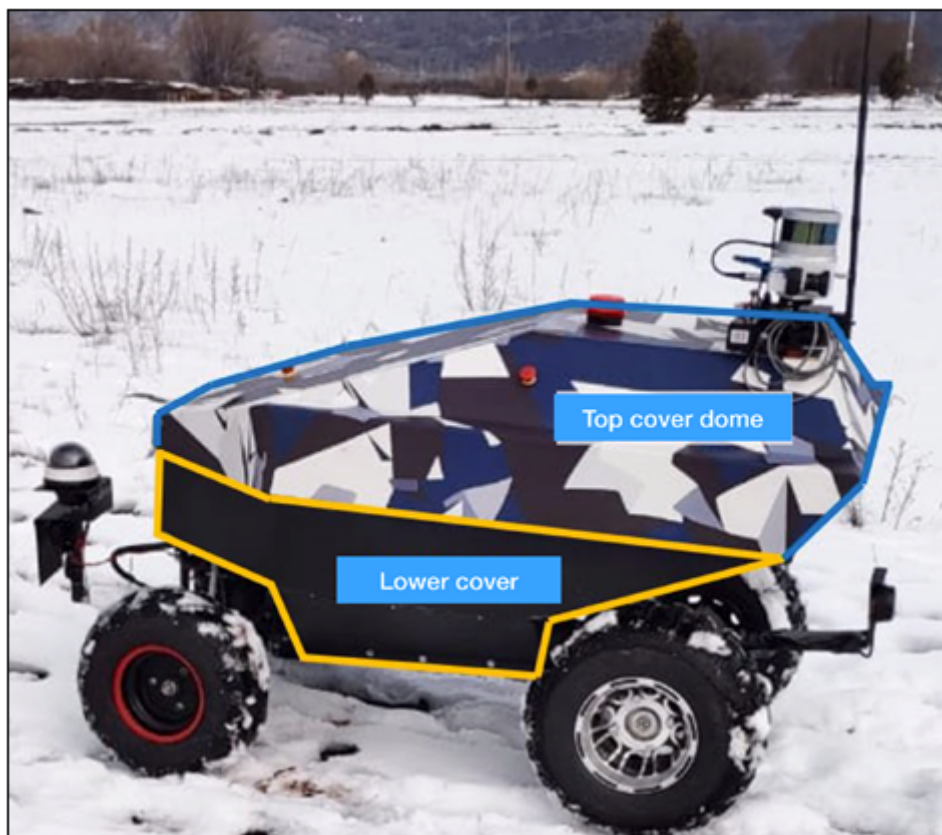


Figura N°2, “Separación en dos secciones de protección y aislamiento”.

### Energía:

El sistema de energía para la operación del vehículo se divide en dos fuentes de energía independientes, una para la operación de equipos electrónicos, sensores, actuadores y periféricos menores, la otra fuente solo para el motor de tracción del vehículo. Se utiliza un paquete de cuatro baterías de 12V20Ah instaladas en serie para aumentar el voltaje suministrado al motor a 48V. El modelo de batería utilizado es un 6-DZM-20 SLA (ácido de plomo sellado), ciclo profundo, libre de mantenimiento, libre de derrames.

### Características técnicas

Voltaje nominal: 12V

Peso: 7.0 Kgs

Dimensión: (181 mm  $\pm$  2) X (77 mm  $\pm$  2) X (170 mm  $\pm$  2)

Corriente máxima de descarga: 150 A (5 s)

Corriente de carga máxima: 2.7A

### Temperatura (°C)

Operación (máximo): -20 °C a 50 °C

Operación (recomendada): 20 °C a 30 °C

Temperatura de almacenamiento -20 °C a 50 °C



## XXXII Reunión de Administradores de Programas Antárticos Latinoamericanos Montevideo 2021



Dado que el vehículo debe desplegarse en regiones potencialmente frías, también se consideró que los efectos de la temperatura brindan certeza a una operación continua. El siguiente gráfico muestra que la capacidad de la batería será menor a medida que el vehículo esté sujeto a temperaturas más bajas. En el caso de operar a  $-20^{\circ}\text{C}$  la capacidad será aproximadamente del 65%. Esta es una de las razones por las que el aislamiento en la estructura exterior es extremadamente relevante.

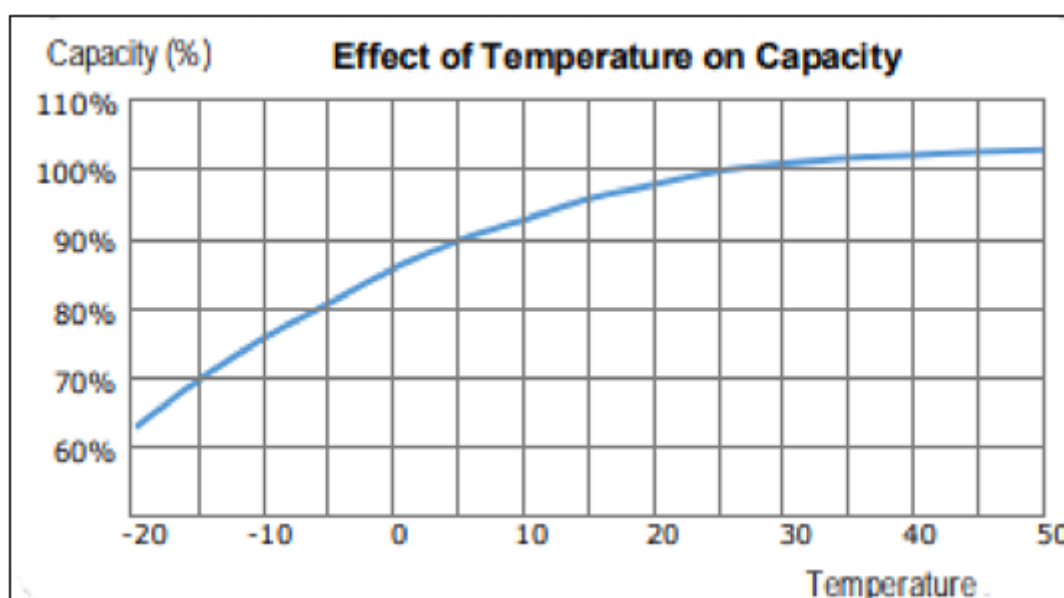


Figura N°3, “Temperatura vs capacidad en la batería interna”

### Sensores:

Se montaron varios sensores en el vehículo para realizar mediciones del mayor número de variables independientes. El muestreo de estas variables se serializará utilizando la biblioteca "ROS rosbag". Esto permite un análisis más detallado en una PC. A continuación, se describen los diferentes elementos que permiten capturar y procesar el sistema de sensores del vehículo:

**Microcontrolador (MCU):** El microcontrolador es el dispositivo destinado a gestionar los diferentes sensores, adquirir y procesar los datos, y finalmente transmitirlos al procesador central. Los aspectos críticos para la selección del modelo son la memoria, la frecuencia de reloj y el número de pines (GPIO).

**GPS:** El GPS (Global Positioning System) es el dispositivo que permite georreferenciar el vehículo. Este es un módulo UBLOX M8N con una sensibilidad de navegación líder en la industria de  $-167\text{ dBm}$ , brújula IST8310, LNA MAX2659ELT +, antena de parche de cerámica de  $25 \times 25 \times 4\text{ mm}$  y un rango de operación de  $-40^{\circ}\text{C}$  a  $85^{\circ}\text{C}$ .

**Temperatura y humedad:** es necesario medir la temperatura y la humedad para abordar los siguientes puntos:

- Sobrecalentamiento: permite activar secuencias de seguridad en caso de exceso de temperatura o humedad.





## XXXII Reunión de Administradores de Programas Antárticos Latinoamericanos Montevideo 2021



- Temperatura del motor: Termopar en contacto con la superficie del motor a través de una sonda. El termopar se conectará a un amplificador y desde allí será leído por la MCU.
- Temperatura y humedad en la electrónica: Se montó un sensor sensirion SHT21P en la placa electrónica, que permite medir tanto la temperatura como la humedad relativa ambiental. Este sensor ya se ha utilizado anteriormente, en otros proyectos, obteniendo buenos resultados y funciona desde  $-40^{\circ}\text{C}$  a  $125^{\circ}\text{C}$ .
- Temperatura y humedad ambiental: Realizada por un sensor externo SHT21P.
- Sensor de RPM: La medición de RPM se realizará tanto en el eje trasero como en las ruedas delanteras. Para realizar la medición se utilizaron sensores inductivos de distancia que, junto con la instalación de lengüetas metálicas tanto en el eje como en las ruedas, serán capaces de detectar cada revolución. El sensor inductivo a utilizar es: OM2 E2B-M12LN08-M1-C1 y tiene una temperatura de funcionamiento de  $-25^{\circ}\text{C}$  a  $70^{\circ}\text{C}$  y una carcasa IP67.

**Unidad de medición inercial (IMU):** el controlador Pixhawk utiliza los siguientes sensores que cumplen con esta funcionalidad:

Type	Model	Temperature operating range
Accel/Gyro	<a href="#">ICM-20689</a>	$-40^{\circ}\text{C}$ to $+85^{\circ}\text{C}$
Accel/Gyro	<a href="#">BMI055</a>	$-40^{\circ}\text{C}$ to $+85^{\circ}\text{C}$
Magnetometer	<a href="#">IST8310</a>	$-40^{\circ}\text{C}$ to $+85^{\circ}\text{C}$
Barometer	<a href="#">MS5611</a>	$-40^{\circ}\text{C}$ to $+85^{\circ}\text{C}$

**Compactación:** Para estimar la compactación del terreno se instalaron un par de sensores LIDAR. Un sensor se colocó en la parte delantera del vehículo y el otro en la parte trasera. Los sensores se colocaron de tal manera que el rayo láser apunta al suelo. El sensor delantero captará la superficie “intacta” del frente del vehículo, mientras que el sensor trasero captará el estado del terreno después del vehículo, pudiendo verificar si hubo compactación o no y cuantificarla. La hoja de especificaciones del RPLIDAR indica que el rango de temperatura para su funcionamiento oscila entre  $0^{\circ}\text{C}$  y  $45^{\circ}\text{C}$ , lo que significa que potencialmente podría requerir calentamiento adicional. Para abordar este problema se instalaron parches térmicos debajo de los LIDAR, que permiten calentar cada uno de los sensores.

**Detección de obstáculos:** Se colocará uno de los sensores LIDAR del mismo modelo en la parte delantera del vehículo y el rayo láser se proyectará paralelo a la superficie del suelo. La información procedente de este sensor se utilizará para activar los mecanismos de emergencia del vehículo al detectar un obstáculo cercano.

Prueba de campo en Lonquimay, Chile:



## XXXII Reunión de Administradores de Programas Antárticos Latinoamericanos Montevideo 2021



El TRACER X fue probado durante varios días en la zona de Lonquimay, en el sur de Chile buscando diferentes condiciones entre superficies secas, húmedas, nevadas, lodosas y heladas y gracias a la logística, equipos y personal provisto por el Ejército de Chile a través de DIPRIDE. Esto produjo varios tipos de comportamientos diferentes tanto en la conducción manual como en el modo autónomo. Toda la misión se registró y registró en las computadoras de a bordo para su posterior análisis. Las condiciones climáticas cambiaron abruptamente, lo que dificultó encontrar una superficie única y estable para hacer varias rondas durante varios días de las mismas pruebas para recopilar información para los algoritmos de aprendizaje automático, pero se capturaron suficientes datos para entrenar modelos después del aumento y preprocesamiento de datos. Esto resultaría en una implementación en una etapa posterior para determinar las condiciones del terreno en tiempo real mientras se atraviesa cualquier tipo de terreno.



Figura N°4, “Pruebas en diferentes tipos de terrenos”.

### Inteligencia artificial:

El objetivo inicial es detectar las condiciones NO-GO antes de que sucedan mediante el encuadre de las variables que conducen y escalan de manera constante antes. Dado que los segmentos de datos se eligieron para ser de 1 minuto, esto significaría que dentro de ese período de tiempo el algoritmo tendría tiempo para predecir la evolución de las variables y si conducen a una condición continua de "PASO" o si proyectan un "NO-GO" más allá. Estos resultados serían el primer paso en la implementación de una evaluación del terreno en tiempo real basada en el aprendizaje automático para determinar la viabilidad y podrían escalar a nuevas aplicaciones en iteraciones posteriores. El proceso para entrenar los algoritmos de IA/ML comienza con el conjunto de datos apropiado para el entrenamiento que en este caso considera el 20% de los datos reales para ser utilizados para las pruebas, el 80% de los datos reales para el entrenamiento y adicionalmente un aumento de aproximadamente el 500% a través del aumento de datos sintéticos. para obtener un total de 3600 segmentos etiquetados. Estos datos deben extender aún más las condiciones NO-GO ya que existe un desequilibrio previo de positivo y negativo. Si la



## XXXII Reunión de Administradores de Programas Antárticos Latinoamericanos Montevideo 2021



validación del entrenamiento da como resultado tasas de predicción bajas, los datos sintéticos se pueden modificar para lograr mejores resultados.

### Conclusiones:

El vehículo TRACER X se desarrolló con el propósito inicial de realizar pruebas en entornos fríos que incluían nieve, hielo, aguanieve, barro y otras condiciones complejas que presentarían verdaderos desafíos de movilidad. El objetivo no era crear un vehículo capaz de superar estas condiciones fácilmente, sino medir y determinar las características que conducirían a una condición "No-Go" y capturar los datos para aprender de ellos aplicando estrategias modernas de Deep Learning.

De hecho, la ubicación seleccionada en Lonquimay presentó condiciones extremas a lo largo de los días en que se llevaron a cabo las pruebas, pero los cambios de temperatura imprevisibles dificultaron la búsqueda de ubicaciones y la realización de pruebas exhaustivas en entornos similares. Sin embargo, se capturó una gran cantidad de datos bajo el funcionamiento manual y autónomo del TRACER X alcanzando las condiciones normales de "Go" y también varios "No-Go" por pérdida de tracción de inmovilización por falta de torque que fue suficiente para crear conjuntos de datos. Estos conjuntos de datos fueron aumentados y luego de probar varias técnicas y se utilizó LSTM-RNN para proyectar los datos del sensor varios segundos hacia el "futuro" (hasta 6 segundos en algunos casos equivalentes a varios metros dependiendo de la velocidad) para luego ser clasificados con un Soporte Vector Machine (SVM) en Go / No-Go antes de tiempo utilizando los datos de este proyecto. Las condiciones imprevistas también significaban que los ensayos tenían que estar contenidos en ubicaciones específicas que cambiaban rápidamente, por lo que la repetibilidad era difícil de lograr. Los datos obtenidos tuvieron que someterse a un proceso de aumento de datos para incrementar los datos de entrenamiento para los diferentes algoritmos.

Adicionalmente, con el fin de caracterizar el vehículo en sí para su posterior modelado, se realizaron pruebas básicas de movilidad bajo ambiente controlado y con base en ensayos de la OTAN obteniendo datos valiosos en mediciones de inercia, suspensión, distribución de peso, aceleración y velocidad, maniobrabilidad, entre otros.

Además, siguiendo los objetivos de la investigación, se instalaron dispositivos SDR en diferentes ubicaciones dentro del vehículo para transmitir y recibir una amplia variedad de señales que cambian de fase, frecuencia, amplitud y ganancia. Esto tenía como objetivo validar la hipótesis de que una señal de RF de un tipo específico podría caracterizar mediante correlación componentes mecánicos y cambios en el vehículo. Después de varios intentos, se encontraron y testificaron las características de radio más adecuadas para el propósito, lo que resultó en una determinación exitosa de diferentes posiciones de suspensión solo mediante la lectura de cambios en la fase y la ganancia de una señal transmitida a través de la estructura del vehículo.

Las siguientes fases de desarrollo incluye la integración de sensores de radares que permita la detección temprana de grietas en terrenos de nieve y hielo, además, integrar la tecnología desarrollada en vehículos de mayor tamaño.