

MONITOR DE GASES DE EFECTO INVERNADERO PARA PERMAFROST ANDINO Y SUELOS DE BOSQUE HUMEDO DE LA PATAGONIA

MURGIC, NICOLÁS¹; FRIEDRICH, GUILLERMOR.¹ Y LAIUPPA, ADRIÁN H.¹

1: Departamento de Ingeniería Electrónica
Facultad Regional Bahía Blanca - Universidad Tecnológica Nacional
11 de Abril 461 – (8000) Bahía Blanca

e-mail: murgic.niko@gmail.com; {gfried,alaiuppa}@frbb.utn.edu.ar, www.frbb.utn.edu.ar

Resumen. *A partir de la problemática que trae aparejada el Cambio Climático Global y la necesidad de cuantificar sus alcances, el presente trabajo busca implementar un Monitor de Gases de Efecto Invernadero, portable, de bajo costo y lo suficientemente robusto para permitir su utilización en zonas remotas de difícil acceso. Se ha diseñado para el estudio de suelos de Permafrost y Bosque Húmedo de La Patagonia, a fin de contribuir a la comprensión de estos ambientes y la modificación que se produce en ellos a partir de los cambios de temperatura, estimando la cantidad de carbono que almacenan y la medida en que se libera a la atmósfera en forma de Metano y de Dióxido de Carbono.*

Palabras clave: Cambio Climático, CO₂, Metano, Permafrost

1. INTRODUCCIÓN

El cambio climático es uno de los mayores problemas ambientales que enfrenta la región Patagónica [1], algo que quedó claramente demostrado desde 1978, cuando los glaciares de los Andes comenzaron a retroceder, incrementándose la intensidad de su recesión con el tiempo [2]. En los bosques nativos, se ven afectadas directamente las tasas de regeneración y supervivencia de las plantas, se observa erosión del suelo, pérdida de masa forestal, pérdida de biota asociada y cambio en el ciclo de nutrientes, todos factores que se reflejan en la composición de los suelos y en el consecuente secuestro de carbono. En cuanto a suelos de Permafrost, se han realizado escasos estudios en la Región Patagónica, y en general existe un conocimiento limitado, tanto en la sociedad como en el mundo académico, sobre la relación entre el permafrost de montaña, los glaciares y los recursos hídricos [3]. Por caso, no se sabe aún con exactitud la superficie total cubierta de Permafrost en la Cordillera de los Andes. Una estimación, a modo informativo, para el total de las montañas de Sudamérica, es de 270.000 Km² [4]. Estos ambientes son ampliamente estudiados en otras regiones del planeta, sobretodo en el hemisferio norte, donde ocupan grandes extensiones.

Los suelos se componen en parte de residuos orgánicos, por lo que funcionan como almacenes naturales de carbono, capaces de retenerlo durante largos períodos de tiempo. Un aumento en la temperatura del ambiente implica la aceleración de los procesos de descomposición de la materia orgánica, esto debido a la acción de microorganismos que producen Dióxido de Carbono en presencia de Oxígeno, y gas Metano en caso de ausencia de Oxígeno, incrementando así los flujos de gases que se entregan a la atmósfera.

Por lo tanto, se trabaja con sensores que midan los niveles de CO₂, metano, humedad y temperatura del ambiente a nivel del suelo, mediante método de campana. Los sensores son de costo intermedio, previendo la posibilidad de reemplazarlos en el esquema, ante un eventual avance del proyecto. Los datos se procesan mediante Arduino Uno (microcontrolador de placa – C++) sumado a Raspberry Pi 3 B (computadora de placa – Python 2), con la posibilidad de mostrar los datos en tiempo real y almacenarlos para su posterior análisis. Se busca por lo tanto el desarrollo de un sistema dúctil de bajo costo y fácil traslado que permita fiabilidad en las mediciones

2. RESPIRACIÓN DE SUELOS

La respiración del suelo se define como la producción de CO₂ debido a dos procesos: la ruptura u oxidación de la materia orgánica rica en carbono [5], por medio de microorganismos, y la respiración de las células de las raíces de las plantas. La tasa de generación de CO₂ indica la tasa de descomposición de la materia orgánica y por lo tanto de la cantidad de carbono que se pierde del suelo. Estas medidas colaboran a determinar la contribución del suelo al balance del CO₂ en la atmósfera.

El carbono es un elemento fundamental para el crecimiento de las plantas, obteniéndose de la atmósfera por medio de la fotosíntesis. Cuando las plantas mueren, sus tejidos ricos en carbono retornan al suelo y son descompuestos por los microorganismos. Por lo tanto el contenido de materia orgánica del suelo es la suma de los residuos orgánicos en diferentes grados de descomposición. Esto mejora la calidad del suelo, ayuda a prevenir la escorrentía, incrementa su humedad y contribuye a moderar las fluctuaciones diarias de temperatura en las capas superiores y funciona como un enorme almacén de carbono: se estima que los organismos vivos suponen aproximadamente un cuarto de todo el carbono de los ecosistemas terrestres, mientras que los otros tres cuartos están almacenados en la materia orgánica contenida en los suelos.

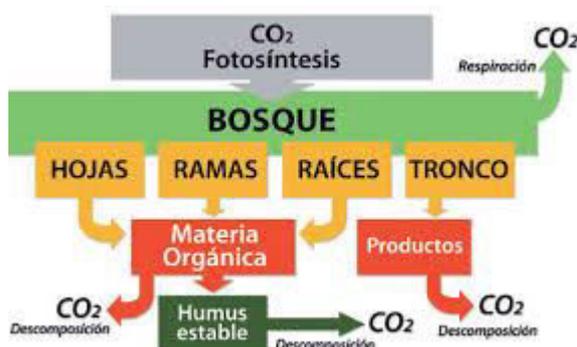


Fig 1. Ciclo de carbono en bosques

En la Fig. 1 se presenta un diagrama del ciclo de carbono en bosques. El carbono

acumulado en el suelo se libera al descomponerse la materia orgánica por la acción de organismos aeróbicos que requieren de carbono para su propio crecimiento. Este proceso libera nutrientes y produce CO₂. Tanto la temperatura como la humedad del suelo afectan la tasa de actividad microbiana y, por lo tanto, a la tasa de respiración del suelo; también influye la cantidad y calidad de su materia orgánica. Como todos los organismos aeróbicos desprenden CO₂ como resultado de la ruptura de las moléculas orgánicas, y como puede haber millones de estos organismos en un volumen tan pequeño como una cucharada de suelo, la respiración del suelo es una importante fuente de CO₂ atmosférico, contribuyendo anualmente con 100 billones de toneladas métricas al ciclo global del carbono [5].

Siendo la respiración del suelo actor fundamental en el ciclo del carbono, su medición resulta valiosa para evaluar los mecanismos que producen el calentamiento global y cuantificar la alteración que sufren los distintos ambientes ante esta problemática.

2.1. Cuantificación de la respiración del suelo

Para ello se tiene en cuenta la superficie de suelo expuesta, (diámetro de campana) y el tiempo de incubación. La respiración del suelo se calcula como la tasa de producción de CO₂ por superficie durante un período de tiempo dado y se define como flujo de CO₂ (mg/m²/hr).

Cálculo del flujo:

$$FCO_2 = Q * CO_2 / (A) * (t), \quad (1)$$

donde A es el área expuesta de suelo en metros cuadrados y t el tiempo de incubación en horas.

La mayor parte del CO₂ emitido por la superficie del suelo se produce debido a la acción de microorganismos, a mayor temperatura del suelo, más intensa es esta actividad microbiana. Por lo tanto la temperatura es una de las variables ambientales más importantes en el control de la tasa de producción de CO₂ por los suelos [5].

La otra variable que afecta a la respiración del suelo es el contenido de humedad del mismo. Esta es fácilmente medible pesando muestras de suelo, secándolas en un horno a 60°C durante 24 horas y pesándolas nuevamente. El porcentaje de humedad (MC) se calcula así

$$MC = ((\text{peso fresco} - \text{peso seco}) / \text{peso seco}) \text{ por } 100, \quad (2)$$

o implementando un sensor electrónico para realizar mediciones de humedad sobre el sustrato, en tiempo real.

3. INCREMENTO DE GASES DE EI

El aumento en los niveles de CO₂ y de otros gases en la atmosfera desde el inicio de la

Revolución Industrial al día de hoy se debe en mayor medida a la quema de combustibles fósiles y a los cambios en los usos de la tierra. La consecuencia directa de estos procesos es un incremento en la temperatura global, lo que repercute de diversas formas en los distintos ambientes.

4. GLACIARES Y PERMAFROST

El cambio climático tiene un gran impacto en hielos y glaciares, es observable la desaparición masiva de hielos permanentes de la superficie de la Tierra, tanto en los casquetes polares como en diversos cuerpos de hielo sobre los continentes. Esto trae aparejada la progresiva desaparición del permafrost (suelos congelados permanentes o semipermanentes, existentes en regiones frías o periglaciares) lo que se traduce en la liberación de metano, un gas de efecto invernadero muy poderoso, alojado en estos suelos. En La Patagonia los estudios sobre permafrost y ambientes de altura en términos de intercambios de gases son escasos y se denota falta de información acerca estos sistemas. En el pasado el permafrost parece haber cubierto la Patagonia y ciertas montañas extra andinas; hoy en día en Sudamérica, éste sólo se encuentra en la Cordillera de Los Andes [6]. No se sabe exactamente que superficie cubre, se estima que en las montañas de Sudamérica podrían existir unos 270.000 Km² [4]. En la Fig. 2 se presenta un modelo numérico correspondiente a la zona de Esquel [3].

No abundan datos acerca de sus características, así como de registros térmicos de períodos extensos en dichas regiones.



Fig 2. Permafrost en la cordillera de los Andes – Esquel
(imagen extraída de

<http://www.geocriologia.com.ar/modelo-numerico-de-distribucion-de-permafrost-de-montana>)

En Sudamérica existe una gran diversidad de glaciares a lo largo de la Cordillera de los Andes. Los glaciares de mayor extensión están ubicados en la Patagonia. La criósfera también incluye los suelos congelados a grandes alturas y el hielo intersticial discontinuo

o continuo (permafrost). Las nevadas estacionales sobre los Andes son fundamentales para la subsistencia de las comunidades en el centro de Chile y las regiones áridas del oeste en Argentina, donde el suministro de agua depende de la fusión de la nieve acumulada.

El balance negativo de masa es el principal factor en la reducción del espesor de los glaciares de la Patagonia causado por el incremento en las temperaturas y la reducción de las lluvias en el sur de Chile y la Argentina (Fig. 4). El aumento de temperatura en ambos lados de la cordillera se estima entre un $0,4^{\circ}\text{C}$ a $1,4^{\circ}\text{C}$ al sur del paralelo 46°S [7].

De acuerdo a recientes investigaciones, es posible mostrar que las temperaturas durante el siglo XX han sido anormalmente cálidas en los Andes Patagónicos [7].

El incremento de la temperatura durante las últimas décadas se ha evidenciado como el más alto de los últimos cuatro siglos en la zona austral de Sudamérica, algo también observable en el hemisferio norte (Fig. 3).

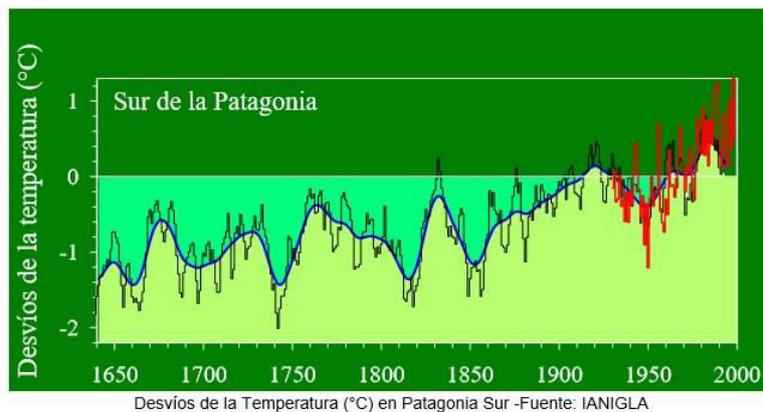


Fig 3. Desvíos de la Temperatura en Patagonia Sur

(imagen extraída de informe de diciembre 2010 sobre clima, de Greenpeace [8])

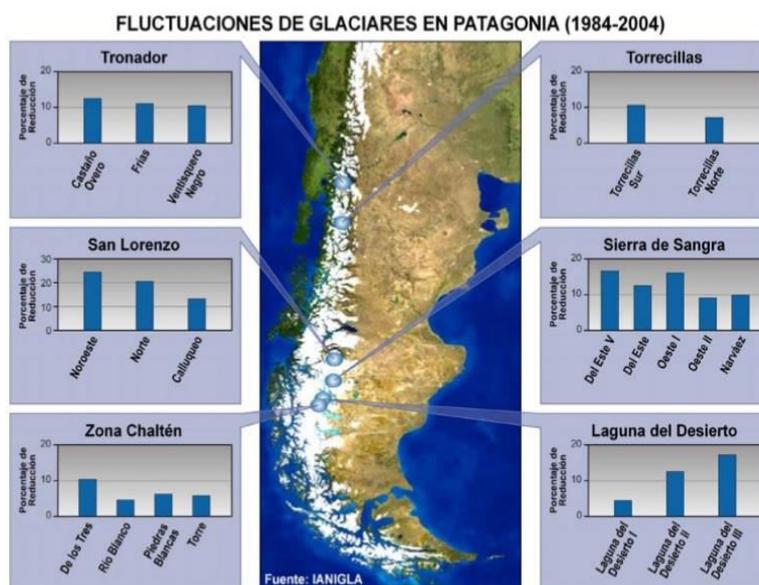


Fig 4 Fluctuación de Glaciares en Patagonia

(imagen extraída de informe de diciembre 2010 sobre clima, deGreenpeace [8])

5. BOSQUES HÚMEDOS

Este conjunto de bosques determina una captura de carbono importante, teniendo en cuenta la superficie que cubre. La captura de carbono en el bosque nativo está determinada por el proceso de renovación de las plantas que naturalmente se desarrolla en él. Implementando prácticas de gestión forestal sustentable, junto con una mejor conservación del bosque, pueden aumentarse significativamente los niveles de captura.

Son ambientes susceptibles a los cambios climáticos, actualmente se evidencian alteraciones en la dinámica del agua, cambios biogeoquímicos, cambios a nivel de comunidad de plantas y animales, y alteraciones en sus interacciones, lo que supone un cambio a nivel global [1]. Se observan cambios en la vegetación estrechamente relacionados con el aumento en la temperatura. A modo de ejemplo, en comunidades del límite altitudinal de Europa, se observa una transformación gradual de la comunidad de plantas de montaña relacionada con el cambio climático. A escala continental se denota una declinación importante en las especies adaptadas al frío y un incremento de aquellas adaptadas a climas más templados [9]. Todo ello sugiere que ocurrirá una progresiva declinación de los hábitats fríos de montaña y de la biota relacionada, es de esperar por lo tanto, un cambio en la distribución de especies de ambientes templado-cálidos hacia sitios más favorables donde no se encuentren condiciones en los umbrales de tolerancia fisiológica para el crecimiento. Se ha documentado un cambio en el gradiente altitudinal evidenciado durante los últimos 30 años [10]. Estos cambios no se deben a variaciones en contaminación o frecuencia de incendios, sino que se atribuyen a cambios en el clima de la región.

Los bosques nativos se encuentran bajo una gran apremio debido a la acción antrópica (extracción de madera de manera no sustentable, pastoreo, incendios, desarrollos socioeconómicos) lo que se traduce en una invaluable pérdida de masa forestal.

El deterioro del bosque repercute directamente en la composición del suelo, alterando la proporción de materia orgánica y la consecuente captura de carbono y la tasa de intercambio del sistema.

6. MOTIVACIÓN

Resulta fundamental contar con inventarios y evaluaciones ambientales actualizadas para cualquier proceso de planificación socioeconómica de un territorio. La Argentina, como muchos de los países de nuestra región, se enfrenta con la escasez de información básica e histórica sobre sus recursos naturales. Es menester poner en relieve la relación directa entre los ambientes, la actividad antrópica y las consecuencias inmediatas ante variaciones en las condiciones de un sistema, que se compone de un conjunto de interdependencias. Así mismo, el estudio de estos ecosistemas revisten un gran interés debido a su alto grado de vulnerabilidad ante cambios climáticos y a la necesidad de generar redes de datos acerca de los flujos de carbono con el fin de abarcar todos los tipos de ecosistemas terrestres y cuantificar con menor incertidumbre las emisiones de gases de efecto invernadero a escala global y su impacto.

7. IMPLEMENTACIÓN

Teniendo en cuenta todo lo dicho anteriormente se propone desarrollar un sistema de monitoreo de gases de efecto invernadero para ser utilizado en ambientes de características descriptas previamente.

Observando los costos de equipos profesionales se busca implementar un modelo de bajo costo, de precisión media, previendo la posibilidad de mejorar su rendimiento y características.

7.1 Sensores

Sensor de Gas Metano MQ2:

El material sensible es SnO₂, presenta baja conductividad en aire limpio, ante la presencia de gas la conductividad aumenta en proporción a la concentración, posee alta sensibilidad y un amplio rango de operación, pero requiere de un largo período de precalentamiento. Salida analógica y digital. Fig. 5.

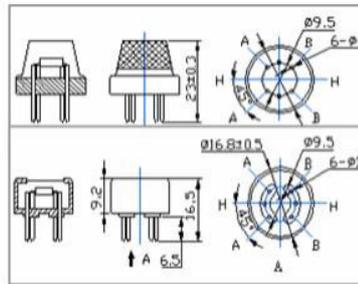


Fig5. Diagrama sensor MQ2

Sensor de Gas CO2 MG811:

Sensor de celdas electrolíticas, la reacción química en presencia de gas se traduce en una fuerza electromotriz que establece una tensión proporcional a la concentración.

Posee buena sensibilidad y selectividad, baja dependencia a la humedad y temperatura, y buena estabilidad y amplio rango, su tiempo de precalentamiento es también prolongado. Salida analógica y digital. Fig. 6.

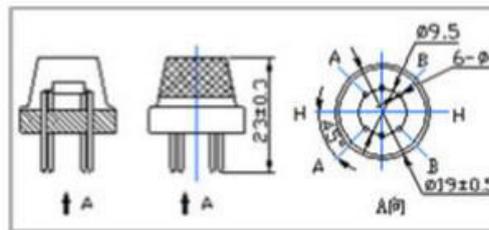


Fig6. Diagrama sensor MG811

Sensor de Humedad y Temperatura DHT11:

Sensor ampliamente utilizado, confiable y estable en el largo plazo, de rápida respuesta y aceptable sensibilidad. Fig. 7.



Fig7. Sensor DHT11

7.2 Procesadores

Los controladores que se utilizan son Arduino Uno R3: lenguaje C y Raspberry Pi 3 b: lenguaje Python 2 (Fig. 8).

La conexión se establece mediante el puerto serial utilizando el Arduino como actuador, se monitorean los datos mediante código Python desde la Raspberry Pi y se almacenan en un archivo .csv, el cual se envía luego a la plataforma Plot.ly para la generación de las gráficas.



Fig8. Arduino Uno R3 y RPi 3B

Plot.ly: es una plataforma gratuita de acceso público, la cual permite graficar los datos relevados (Fig. 9).

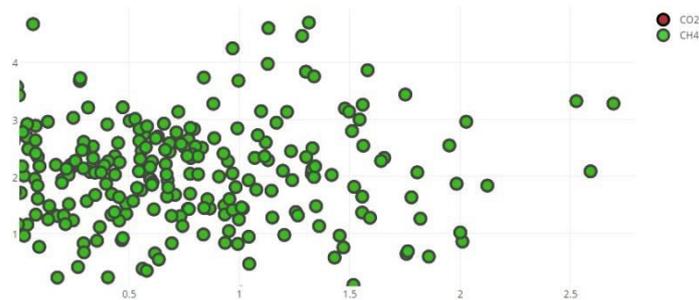


Fig 9. Gráfica de datos en Plot.ly

7.3 Sistema implementado

El proyecto (Fig. 10) se encuentra en desarrollo, teniendo prevista su finalización para los meses de julio-agosto. Se está realizando la calibración de los sensores y trabajando en el procesamiento de datos, el diseño de la carcasa para el actuador y la campana de muestra. Se han llevado a cabo pruebas satisfactorias y se analizan posibles soluciones para asegurar una adecuada autonomía, previendo una posterior mejora al sistema, en base a los cálculos de potencia y consumo de energía correspondientes.

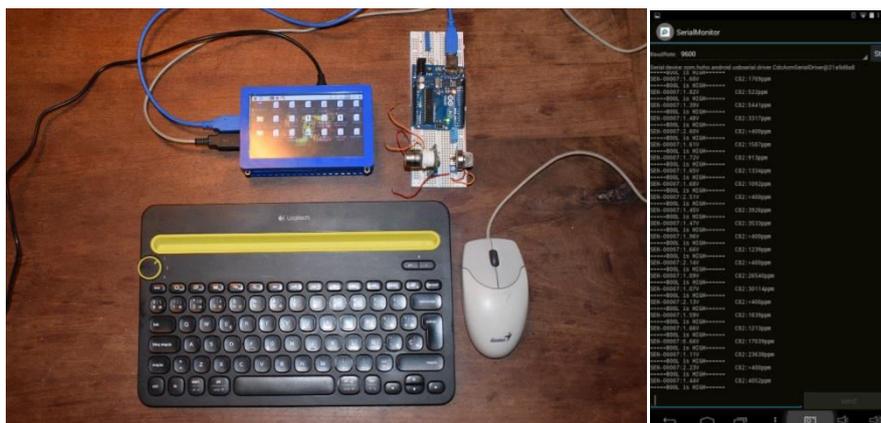


Fig10. Sistema implementado y mediciones

8. CONCLUSIONES

En base a todas las consideraciones efectuadas, se puede concluir que el monitoreo de los diversos ecosistemas, ante variaciones en las condiciones climáticas, es de vital importancia para prever y planificar de manera eficiente su conservación. Esto debiera ser una práctica generalizada y habitual en toda el área cordillerana y el resto del país. Mitigar el cambio climático es de suma importancia para asegurar la estabilidad de los ecosistemas y evitar consecuencias irreparables. El sistema de medición desarrollado tiene como objetivo contribuir de manera efectiva al monitoreo de estos ecosistemas.

REFERENCIAS

- [1] Suarez, Amoroso. “Bosques y cambio climático. Parte II: Eventos de mortalidad en bosques y su relación con la ocurrencia de sequías”. INTA, (2013).
- [2] Rabassa. “El cambio climático global en la Patagonia desde el viaje de Charles Darwin hasta nuestros días”. Revista Asociación Geológica Argentina vol. 67 N° 1, Buenos Aires, (agosto 2010).
- [3] Ruiz et al. Modelo Numérico de Distribución de Permafrost de Montaña. AASP, <http://www.geocirologia.com.ar/modelo-numerico-de-distribucion-de-permafrost-de-montana> (consultado en junio de 2011).
- [4] Haeberli et al. Ten years after drilling through the permafrost of the active rock glacier Murtel, Eastern Swiss Alps; answered questions and new perspectives. Lewkowicz, A. G. & M. Allard Eds.. Permafrost; seventh international conference proceedings. Centre d'Etudes Nordiques, Université Laval, pp. 403-410, (1998).
- [5] Lessard R., Gignac D. y Rochette P. El Ciclo del Carbono: Midiendo el flujo del CO2 del suelo. Traducción: Manuel Antonio Fernández Domínguez, GreenTeacher, (2005).
- [6] Etzelmüller & Hoelzle, Surface Energy Fluxes and Distribution Models of Permafrost in European Mountain Areas: an Overview of Current Developments, (2001).
- [7] Rignot E. [et al]; Villalba, R. [et al] Large-Scale Temperature Changes Across the Southern Andes: 20th-Century Variations in the Context of the Past 400 Years, Climatic

- Change, (2003).
- [8] Greenpeace, *Cambio Climático: Futuro Negro para los Glaciares*, Campaña Clima diciembre de 2010, http://www.greenpeace.org/argentina/Global/argentina/report/2010/cambio_climatico/cambio-climatico-futuro-negro-3.pdf(consultada en junio de 2017).
- [9] Gottfried et al. Continent-wide response of mountain vegetation to climate change. *Nature Climate Change*, (2012).
- [10] Kelly & Goulden, *Rapid Shifts in Plant Distribution with Recent Climate Change*, Standford, (2008).