

## RESULTADOS DEL PROYECTO PRECIPITA DE MODIFICACIÓN ARTIFICIAL BENÉFICA EN LOS PROCESOS DE PRECIPITACIÓN PARA EL DESARROLLO DE ACUÍFEROS SUSTENTABLES

PEREZ, RAÚL C.<sup>1</sup>; FLAMANT, ADRIÁN<sup>2</sup> Y FRIEDRICH, GUILLERMO<sup>3</sup>

1: LIHANDO. CEDS.

Dpto de Materias Básicas. Facultad Regional Mendoza  
Universidad Tecnológica Nacional  
Rodriguez 276  
e-mail: rcperezi@gmail.com

2: LIHANDO CEDS

Dpto de Materias Básicas. Facultad Regional Mendoza  
Universidad Tecnológica Nacional  
Rodriguez 276  
e-mail: adflamant@gmail.com

3: Grupo SITIC

Dpto de Ing. Electrónica. Facultad Regional Bahía Blanca  
Universidad Tecnológica Nacional  
11 de Abril 461  
e-mail: gfried@frbb.utn.edu.ar

**Resumen.** *Los procesos de precipitaciones naturales de cualquier región, son los más sensibles a ser afectados por las emisiones de las actividades antropogénicas, produciendo cambios en los procesos de precipitación natural, debidos a la acción del hombre, que repercutan inmediatamente en impactos climáticos a nivel de microescala, que, en la mayoría de los casos, se manifiestan con efectos dañinos.*

*La metodología para combatirlos más aceptada por la Organización Meteorológica Mundial, y además utilizada mundialmente por los grupos de investigación y operativos en todo el mundo, es la siembra de nubes con núcleos higroscópicos artificiales.*

*Nuestro grupo de investigación realizó los estudios e investigaciones correspondientes para desarrollar una experiencia de siembra de nubes para incrementar precipitaciones en zonas desérticas en la Provincia de Mendoza, Argentina.*

*Para llevar adelante este proyecto, fue necesario realizar una exhaustiva caracterización de la dinámica atmosférica de la zona, y a partir de este conocimiento, adaptar las metodologías empleadas en diferentes regiones del mundo a la atmósfera de Mendoza.*

*Finalizada la experiencia, después de seis años de trabajo, los resultados fueron alentadores.*

**Palabras clave:** Impactos climáticos, siembra de nubes, incremento de precipitaciones.

### 1. INTRODUCCIÓN

En la actual problemática del cambio climático, uno de los episodios más preocupantes son los procesos de desertificación y sequía. Para combatirlo, la metodología más aceptada por la comunidad científica internacional especializada en el tema es el incremento de precipitaciones (lluvias o nieve en alta montaña) por siembra de nubes, utilizando núcleos higroscópicos (CCN) artificiales.

Desde los últimos 40 años, se llevan a cabo en todo el mundo numerosos programas operativos de siembra de nubes, con el objeto de aumentar la cantidad de precipitaciones para proveer agua adicional a las poblaciones, para numerosas utilidades.

La siembra de nubes es un tema muy poco informado y entendido por el público en general y escasamente difundido en instituciones de enseñanza. El término en sí mismo es usado equívocamente, ya que muchas personas creen que implica alteración de los parámetros meteorológicos en gran escala o aún peor, control del tiempo. Nada de eso es cierto. Lo que en realidad se hace, es operar cada nube individualmente, resultando en un cambio en los procesos de la microfísica de las nubes, y en algunos casos hasta en la termodinámica de las mismas.

La investigación de modificación artificial benéfica de los procesos de precipitación, trata específicamente la modificación de los procesos a nivel de la microfísica y termodinámica de las nubes, tema que para ser tratado con la seriedad científica adecuada, requiere una formación adecuada y especializada.

La siembra de nubes no cambia los lugares de formación de nubes, su desplazamiento o donde se disipan. Porque cuando son realizados correctamente, lo único que hacen es alterar la *cantidad de precipitación que cae*, y algunas veces *donde* se produce.

Existe un reclamo y preocupación constante en los productores agrícolas que sufren frecuentes episodios de sequía, porque impacta fuertemente en el desarrollo de sus actividades productivas, debido a que en las zonas desérticas, las precipitaciones, tan necesarias para sus emprendimientos, no siempre son suficientes. En este contexto, el incremento de precipitaciones cobra un rol fundamental.

Con el objetivo de mitigar estos flagelos, se implementó un programa piloto de incremento de lluvias por siembra de nubes en la provincia de Mendoza (Argentina). Nuestro grupo científico de la Facultad Regional Mendoza (FRM) de la Universidad Tecnológica Nacional (UTN) realizó tareas de investigaciones, desarrollos y operaciones sobre este tema.

El proyecto se apoyó en toda la vasta experiencia y conocimiento actual a nivel mundial, a partir de la cual se diseñó una nueva metodología adaptada a las características de la dinámica atmosférica de Mendoza, para combatir la desertificación y la sequía.

El tomar un pequeño porcentaje del agua disponible verticalmente (vapor de agua más agua líquida, más hielo) en la atmósfera, es insignificante comparado con la influencia abrumadora de eventos atmosféricos a gran escala.

Estas investigaciones fueron hechas por Hindman (1986), quien presentó los cálculos hechos sobre el balance de agua sobre el Park Range de Colorado. Él mostró un promedio del 9 % en el ingreso de humedad que precipitó sobre la barrera. Asumiendo un incremento estacional del 10 al 15% por

siembra de nubes, Hindman (1986) concluyó que, "se encontró que una pequeña cantidad de humedad atmosférica precipita sobre la barrera montañosa (6 to 14%).

Más recientemente, dos grupos de universidades recibieron fondos del estado de Utah, para llevar a cabo investigaciones relevantes sobre posibles efectos en un gran área de las montañas Uinta de ese Estado. Un grupo llevará adelante análisis estadísticos de cantidad de precipitaciones y cursos de nieve, utilizando un sistema de control de blancos con información aleatorizada. El otro grupo evaluará la climatología de las montañas.

Al finalizar cinco años de ejecución del proyecto PRECIPITA, signados de numerosos inconvenientes, se presentan los resultados obtenidos, fruto del arduo trabajo de todo el grupo de investigación

## **2. OBJETIVOS**

- Caracterizar la dinámica de la atmósfera y sus procesos de precipitación en la provincia de Mendoza, para adaptar las metodologías de incremento de precipitaciones por siembra de nubes existentes en el mundo a Mendoza.
- Desarrollar una nueva metodología de incremento de precipitaciones para la provincia de Mendoza, en base al conocimiento adquirido en el objetivo anterior.
- Evaluar la eficiencia de la nueva metodología implementada, con el rigor y la seriedad científica necesaria.

## **3. CONSIDERACIONES GENERALES**

La primera evaluación a modo global que se puede realizar, es la que se obtiene mediante la utilización de los datos de precipitación caída en la región de la experiencia (San Martín, Mendoza, Argentina) durante los años que se ejecutó la experiencia. De esta forma, es posible comparar sus valores históricos promedios aportados por la información suministrada por el Servicio Meteorológico Nacional (segunda columna de la tabla 1), y las mediciones de la lluvia caída realizadas por el proyecto, mediante la estación meteorológica remota i-metos rain (tercera columna de la tabla 1), junto con los valores de agua caída durante los meses de la fase operativa del proyecto (columna número cuatro de la tabla 1).

De la observación simple y directa de la tabla 1, se puede visualizar en una primera interpretación errónea, que el proyecto fue un éxito rotundo; pero la realidad es otra, ya que se deben considerar las siguientes situaciones:

1. El período 2008-2011 en que se tomaron las medidas de precipitaciones con la estación meteorológica i-metos, estuvo caracterizado por la influencia del fenómeno de La Niña en la zona experimental, por lo que este período está caracterizado por años de extrema sequía en la región, al punto que la Provincia de Mendoza se declaró en emergencia hídrica durante el mencionado período.
2. Por el contrario, durante el año 2015 en que se realizaron las operaciones de siembra de nubes

para incremento de precipitaciones, estuvo bajo la influencia del fenómeno de El Niño o ENSO, provocando un importante aumento, mayor a la media anual en la región experimental, típico de la presencia de este fenómeno meteorológico.

Estas situaciones opuestas y contrastantes, han provocado que los datos de la tabla 1 no puedan ser comparables a los fines de evaluar la eficiencia del proyecto ni tampoco puedan ser usados para estos fines.

Por esta razón, para poder evaluar los resultados obtenidos por el proyecto con mayor rigor y seriedad científica, es necesario realizar un estudio estadístico con los datos colectados durante las operaciones, comparando la información procesada de la zona de pre-siembra con los de la zona de siembra.

Para poder evaluar la eficiencia de las operaciones de incrementos de precipitaciones por la siembra de nubes con Ioduro de Plata (IAg), se determinó una zona de control, en la que las nubes no fueron sembradas, y una región contigua de siembra en la que se operó sobre las nubes aptas para siembra con el fin de incrementar su precipitación. Esta situación es mostrada a continuación en la Fig. 1.

Los marcadores de color verde indican la posición de los colectores de agua de precipitación de las nubes que atraviesan la zona de control y no son sembradas; en cambio, los marcadores amarillos hacen referencia a los dispositivos para recolectar y medir la precipitación caída de las nubes sembradas con núcleos formadores de precipitación (IAg).

	desde 1961	2008-2011	2015-2016
Mes	histórica	Mediciones	operaciones
	media en (mm)	antes del proy	caída en mm.
Enero	5,5	2,4	sin oper.
Febrero	5,5	2,3	sin oper.
Marzo	5,0	2,3	sin oper.
Abril	2,5	1,7	sin oper.
Mayo	1,0	1,3	sin oper.
Junio	2,0	1,3	6,53
Julio	1,5	1,2	7,6
Agosto	1,0	0,2	2,5
Setiembre	2,0	0,1	7,6
Octubre	2,5	0,4	sin oper.
Noviembre	3,5	1,8	sin oper.
Diciembre	5,0	2,1	sin oper.

Tabla 1. Comparación de valores promedios de lluvia caída por mes.

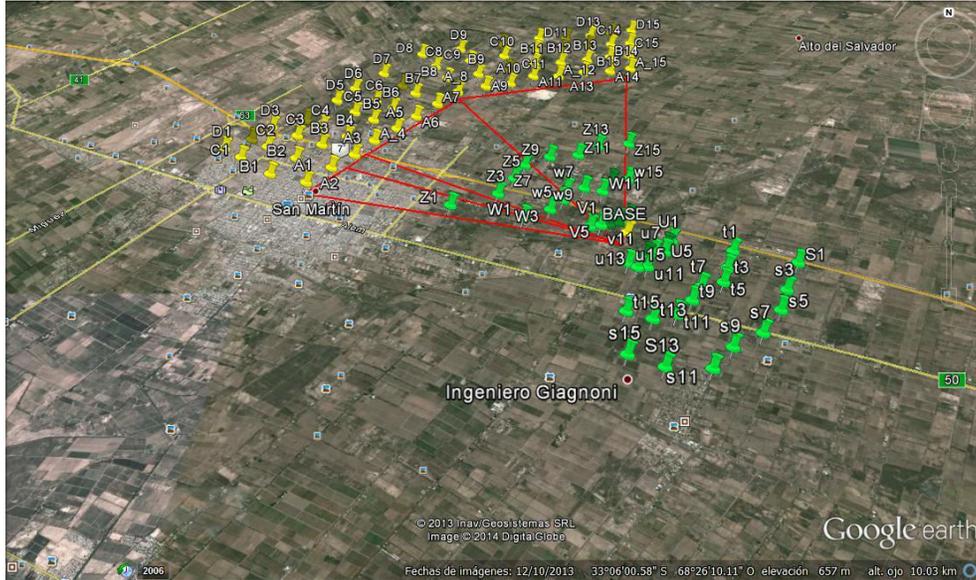


Figura 1. Imagen de los colectores de agua de precipitación en las zonas sin siembra (marcadores verdes) y con siembra (marcadores amarillos).

#### 4. METODOLOGÍA Y EQUIPAMIENTO

El gran inconveniente que se presentó en la recolección de datos para evaluar la eficiencia del proyecto, fue la escasa cantidad de días con las condiciones adecuadas para desarrollar operaciones de siembra en la zona experimental. Durante este período, sólo se contaron con cuatro eventos con condiciones favorables para realizar operaciones de siembra de nubes en orden con condiciones atmosféricas aptas para intentar incrementar sus precipitaciones.

Si bien en cada uno de los días en que se realizaron experiencias operativas durante horas (8 en promedio diario), la cantidad de datos recolectados no fueron suficientes para poder aplicar al muestreo la metodología estadística de Gauss normal.

Esta situación obligó a utilizar como método estadístico para evaluar la eficiencia de los resultados, el método *t-Student o Test-T*, que fue desarrollado por William Sealy Gosset en 1908, que se aplica cuando el muestro es pequeño e insuficiente para utilizar el estudio por método de Gauss.

##### 4.1 Método operativo

Dado que la Organización Meteorológica Mundial (WMO) ha determinado que uno de los métodos más eficientes para combatir los procesos de sequía y desertificación es la siembra de nubes; se desarrolló una experiencia piloto en esa línea para combatir estas contingencias.

El éxito de estas operaciones depende en gran medida de un correcto estudio y diagnóstico de las

características de la dinámica atmosférica y geográfica de la región en que se desea implementar. Por este motivo, la ejecución del proyecto requirió una serie de estudios previos con la finalidad de confeccionar un diseño de operaciones lo más eficiente posible; como también la evaluación con rigor científico de los resultados obtenidos. Con esta finalidad se realizaron las siguientes tareas de investigación, desarrollo y operatividad:

- \_ Estudio de Caracterización y Factibilidad
- \_ Diseño operativo de un Programa de Incremento de Lluvia
- \_ Implementación de un programa operativo piloto de incremento de lluvias
- \_ Evaluación de la eficiencia

#### 4.1.1 Fabricación de bengalas con Ioduro de Plata

Debido al aumento del precio del mineral plata (Ag) en los mercados internacionales, el valor monetario de las bengalas que utilizan IAg en las operaciones de siembra de nubes, aumento su costo en más del 25% en dólares para cuando dispusimos del dinero para comprarlas. Esto significaba que con el dinero presupuestado para comprarlas, sólo se podía adquirir el 75% de la cantidad comprometida en el presupuesto del proyecto.

A esta situación debe sumarse el hecho de que en ese lapso, el dólar aumentó en casi un 300%. Si a este impacto económico se le integra al detallado anteriormente, se concluye que con el monto de dinero recibido en pesos para la compra de bengalas sólo se podía comprar aproximadamente el 26 % del comprometido en el presupuesto (sólo 13 de las 50 bengalas).

Toda esta situación transformaba en inviable la continuidad del proyecto, motivo por el cual se decidió empezar a desarrollar y producir nuestras propias bengalas con el dinero asignado por presupuesto a su compra, encargando esta tarea a becarios e investigadores de la carrera de ingeniería Química pertenecientes al grupo de investigación.

El éxito fue total y pudimos producir más bengalas que las presupuestadas inicialmente en el proyecto. En la Fig. 7 puede apreciarse este hecho.



Figura 2. Imágenes fotográficas de la fabricación y funcionamiento de las bengalas con Ioduro de Plata fabricadas dentro del proyecto PRECIPITA.

#### 4.1.2 Sembrador de superficie

En orden a poder continuar con la ejecución del proyecto, reduciendo costos para poder utilizar el dinero asignado. Se pensó en una significativa reducción en los gastos, reemplazando la utilización de aviones como equipo de siembra de IAg en la nube, por dispositivos de siembra desde superficie de desarrollo propio.

El primer prototipo que se diseñó y construyó, consistía en una estructura metálica capaz de contener doscientas bengalas conectadas, las que podían ser encendidas a distancia remota, por medio de una señal de SMS a través de un hardware y software desarrollado por profesionales del departamento de ingeniería Electrónica de la Facultad Regional Bahía Blanca de la Universidad Tecnológica Nacional, como se muestran la Fig. 4.



Figura 3. Profesionales del Dpto. de Ing. Electrónica de la FRBB de la UTN construyendo el primer prototipo de quemado de bengalas a nivel de superficie.

En la Fig. 3 se puede apreciar el funcionamiento del equipamiento desarrollado.

Un inconveniente de la metodología usando este prototipo se presentó cuando la altura de la zona de siembra de la nube era superior a 1000 m respecto del nivel del mar. El origen de este se debió a que generalmente la situación meteorológica apta para el sembrado de nubes, está acompañada de intensas componentes de vientos horizontales, que recostaban la pluma del humo que contenía los núcleos higroscópicos formadores de gotas de lluvia, impidiéndoles superar los 1000 m de altura.



Figura 4 Fotografías de las pruebas de encendido remoto de las bengalas en el prototipo.

#### 4.1.3 Sembrador con globo aerostático en superficie

Para complementar este equipamiento y poder superar los mencionados 1000 m se diseñó y construyó un segundo prototipo utilizando globos aerostáticos (de los empleados en los radiosondeos) cautivos con una tanza, capaz de ascender hasta 1500 m, Estos balones se podían recuperar con un motor tipo malacate, enrollado en el carrete el hilo de sujeción. Ver Fig. 5.



Figura 5. Segundo prototipo utilizando globos aerostáticos. Fotos de la prueba de funcionamiento.

#### 4.2 Metodología de obtención de datos

Para poder tomar mediciones del agua precipitada por las nubes durante las operaciones de siembra, se colocaron colectores de agua en las zonas de control sin siembra mostrada con marcas de colores verdes en la Fig. 2, y en la región de nubes sembradas mostrada con de marcadores amarillos en la misma figura. En la Fig. 3 se presenta la planilla utilizada para anotar la medición de agua precipitada después de cada operación con sus coordenadas de GPS correspondiente. En ella se destaca con fondo color verde a los correspondientes a la zona de

referencia sin siembra de color verde y en amarillo a aquellos correspondientes a la zona de siembra.



Figura 6. Personal del proyecto instalando los colectores de agua en la zona experimental.

A continuación, se muestra en las Fig. 3 imágenes fotográficas de la colocación de estos colectores:

Cada vez que se finalizaba una operación de siembra, el equipo del proyecto salía a recorrer la red de colectores, volcando el contenido de cada uno de los recipientes en una probeta, con el objetivo de medir la cantidad de agua de precipitación caída en el respectivo colector y se asentaba en una planilla.

Así, la base de datos para evaluar la eficiencia del proyecto está constituido por las mediciones agua de lluvia caída en cada colector, realizadas de la forma descripta.

#### 4.3 Método estadístico

El muestreo de datos obtenidos para la evaluación del proyecto, entra en el caso particular de diferentes tamaños muestrales y se supondrá, para mayor generalización, que sus varianzas no son iguales.

Como se desprende de lo expuesto, que el número  $n_1$  de colectores de la zona de referencia de hipótesis cero de nubes sin sembrar es igual a 24; mientras que  $n_2$ , el número de mediciones de agua precipitada en la zona de nubes sembradas es de 16.

A priori, no existe razón para suponer que ambas muestras tienen la misma varianza, razón por la cual, para no perder generalidad, se aplicará como método para evaluación de la eficiencia el caso *d) Diferentes tamaños muestrales, diferentes varianzas.*

Esta prueba es también conocida como prueba *t* de Welch y es utilizada únicamente cuando se puede asumir que las dos varianzas poblacionales son diferentes (los tamaños muestrales pueden o no ser iguales) y por lo tanto deben ser estimadas por separado. El estadístico *t* a probar cuando las medias poblacionales son distintas puede ser calculado como sigue:

$$t = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{s_{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}} \tag{1}$$

Donde:

$$s_{\bar{X}_1 - \bar{X}_2} = \sqrt{\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2}} \tag{2}$$

Aquí  $s_{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}^2$  es el estimador sin sesgo de la varianza de las dos muestras,  $n$  = número de participantes, 1 = grupo uno, 2 = grupo dos. Nótese que en este caso, no es la varianza combinada. Para su utilización en pruebas de significancia, la distribución de este estadístico es aproximadamente igual a una distribución  $t$  ordinaria con los grados de libertad calculados según:

$$g. l. = \frac{(s_1^2/n_1 + s_2^2/n_2)^2}{(s_1^2/n_1)^2/(n_1 - 1) + (s_2^2/n_2)^2/(n_2 - 1)} \tag{3}$$

Esta ecuación es llamada la ecuación Welch–Satterthwaite. Nótese que la verdadera distribución de este estadístico de hecho depende (ligeramente) de dos varianzas desconocidas.

### 5. RESULTADOS Y CONCLUSIONES

Si se integran todos los datos obtenidos por medio de las mediciones realizadas durante todas las fechas en que se realizaron operaciones de siembra, conformando de esta manera, una sola muestra representativa de todas las experiencias; se puede aplicar el método de *t-Student*, para obtener un resultado general de todos los datos de la experiencia en conjunto. De esta forma se obtuvo:

n1	n2	X1	X2	S1	S2	S	t
24	16	0,213	0,336	0,010	0,033	0,050	2,480

Tabla 2. Estimadores estadísticos de los datos finales integrados de precipitación caída.

Esta muestra tiene 26 grados de libertad con un valor de  $t$  correspondiente de 2,48; indicando que ***se puede afirmar con un 98% de confiabilidad que a lo largo de toda la etapa de operaciones de siembra se registró un incremento de precipitaciones en la zona experimental del 58% respecto a la zona de control.***

A la luz de los resultados obtenidos y análisis, se pueden mencionar las siguientes conclusiones, desde el abordaje que brinda la metodología FODA:

## 5.1 Fortalezas

- El primer resultado importante, que objetivamente surge del estudio estadístico de los datos, es que existió durante la etapa operativa del proyecto, un incremento de precipitaciones en la zona de siembra de nubes del 58% respecto a la lluvia caída en la región de control en que las nubes no fueron sembradas. Esto indica objetivamente el éxito del proyecto, independientemente que ese incremento no se deba exclusivamente a la siembra, y que pueda ser fruto también, de otros factores anexos que se sumaron a la siembra. Es irrefutable que se incrementaron precipitaciones cuando se operaron sobre las nubes en forma clara.
- Una segunda fortaleza importante del desarrollo del proyecto, fue el diseño y construcción de dos prototipos para la siembras de nubes desde superficie, mucho más económicos que la utilización de aviones, con eficiencia a determinar. Este resultado no buscado previamente, abre toda una nueva línea de investigación y desarrollo de equipamientos para la modificación benéfica de los procesos de precipitación, que pueden bajar notablemente los costos de la utilización de aviones.
- Otro importante logro, fue el desarrollo propio de la fabricación de bengalas con Ioduro de Plata, reduciendo sus costos y logrando un eficaz funcionamiento de ellas. Este jalón también abre la posibilidad de obtener a menor costo y mayor eficiencia administrativa la fabricación de bengalas para todos aquellos programas y operaciones de modificación artificial benéfica de los procesos de precipitación de la Argentina y el mundo. También ha posibilitado la creación de un grupo especializado en el desarrollo e investigación en la búsqueda de nuevos núcleos higroscópicos, más baratos y eficientes.
- Finalmente, se puede mencionar como otra fortaleza, la alta especialización y capacitación que adquirieron todos los integrantes del proyecto, cada cual en sus áreas de trabajo.

## 5.2 Debilidades

Por los inconvenientes financieros mencionados, que se presentaron durante la ejecución del proyecto, especialmente en la etapa operativa, produjeron importantes debilidades, que se detallan a continuación:

- Los inconvenientes económicos y financieros que produjo el retraso en el desembolso del dinero para la ejecución del proyecto en sus diferentes etapas, se vieron agravadas por la coyuntura inflacionaria y su consecuente devaluación de nuestra moneda, motivando a la búsqueda de alternativas para abaratar costos y no tener que suspender la ejecución del proyecto por financiamiento insuficiente. Por estos motivos se rediseñó la experiencia, desarrollando dos prototipos de sembradores de superficie para reemplazar la metodología de siembra con aviones, corriendo el riesgo de ser menos eficientes en los resultados respecto a los que se hubieran podido obtener utilizando aviones.
- Otra situación que se puede considerar una debilidad de la experiencia, corresponde al hecho que durante el año correspondiente a la etapa de operaciones de siembra de nubes, se hizo

presente en forma severa el fenómeno de El Niño, aumentando el régimen de precipitaciones de la zona de experiencia en un 700% respecto de su media anual estándar. Esta situación creó condiciones atmosféricas particularmente favorables para la formación y caída de lluvias, impactando en forma favorable a la siembra, sin poder determinar en forma fehaciente el grado de influencia que tuvo en los resultados del proyecto.

### 5.3 Oportunidades

Se pueden mencionar como importantes oportunidades que deja el proyecto al finalizar su ejecución:

- El logro de haber formado un grupo de investigadores y desarrolladores con especialidades interdisciplinarias, sustentable y con gran capacidad de especialización para trabajar en las actividades científicas y operativas en la modificación artificial benéfica de los procesos climáticos que producen impactos climáticos dañinos; quizás, único en el país y uno de los pocos en el mundo.
- Se plasmó la posibilidad de desarrollar una fábrica local de bengalas para sembrar Ioduro de Plata, y cualquier otros CCN, reduciendo costos y precios; como también agilizando las tareas de reposición de stock de quienes necesiten de este insumo. Esta posibilidad queda abierta a futuro para todos aquellos que requieran de estos elementos o desarrollos similares, como la lucha antigranizo en la Provincia de Mendoza.
- La posibilidad de realizar el diseño y puesta en funcionamiento de equipos para sembrar nubes desde superficie, que abaratan considerablemente los costos que implican la utilización de aviones, aunque no siempre es posible reemplazarlos; pero cuando la ocasión lo amerite, se puede bajar los presupuestos utilizándolos. Pero, además, la capacitación adquirida en este rubro, permite emprender el diseño y construcción de nuevos dispositivos que sean requeridos en esta área a bajo costo.

### 5.4 Amenazas

La principal amenaza que presenta a futuro la finalización del proyecto, es que la gran capacitación y especialización que adquirieron todos los integrantes del grupo de investigación a lo largo de todos estos años caiga en saco roto.

## 6. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Houze Jr. y Robert A. “*Cloud Dynamics*”. Academic Press. 1993.
- [2] Pérez, Raúl C. “*Dinámica Atmosférica y los Procesos Tormentosos Severos*”. LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co. KG.2011. ISBN: 978-3-8454-9359-6. 2011.
- [3] Pérez, Raúl C. “*Física de los procesos atmosféricos*”. LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH& Co. KG.2014. ISBN: 978-3-8454-9359-6. 2011.
- [4] Rogers R. “*Física de las Nubes.*” Editorial Reverté. 1977.

- [5] Seinfeld John H. y Spyros N. Pandis. *“Atmospheric Chemistry and Physics From Air Pollution to Climate Change.”* John Wiley & Sons. 1998.