



Benavente, Juan C.

Solar Matienzo : estudio sobre la factibilidad y propuesta de instalación de un sistema de generación solar fotovoltaico en la Base Matienzo-Antártico



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Argentina.
Atribución - 2.5
<https://creativecommons.org/licenses/by/2.5/ar/>

Documento descargado de RIDAA-UNQ Repositorio Institucional Digital de Acceso Abierto de la Universidad Nacional de Quilmes de la Universidad Nacional de Quilmes

Cita recomendada:

Benavente, J. C. (2020). *Solar Matienzo. Estudio sobre la factibilidad y propuesta de instalación de un sistema de generación solar fotovoltaico en la Base Matienzo-Antártico. (Trabajo final integrador). Universidad Nacional de Quilmes, Bernal, Argentina. Disponible en RIDAA-UNQ Repositorio Institucional Digital de Acceso Abierto de la Universidad Nacional de Quilmes <http://ridaa.unq.edu.ar/handle/20.500.11807/2052>*

Puede encontrar éste y otros documentos en: <https://ridaa.unq.edu.ar>

Solar Matienzo. Estudio sobre la factibilidad y propuesta de instalación de un sistema de generación solar fotovoltaico en la Base Matienzo-Antártico

Trabajo final integrador

Juan C. Benavente

juantartico@gmail.com

Resumen

Este estudio propone un diagnóstico y análisis de factibilidad para una intervención con Energías Renovables en la Base Antártica Matienzo, consistente en la instalación autónoma de un sistema de generación eléctrica a partir de paneles solares fotovoltaicos. La propuesta se basa en experiencias previas y estudios realizados durante la Campaña Antártica de Verano 2017/2018, que posibilitaría complementar y reducir la generación de energía eléctrica en la base a partir de combustibles fósiles.

ESPECIALIZACIÓN EN AMBIENTE Y DESARROLLO SUSTENTABLE

TRABAJO FINAL INTEGRADOR

SOLAR MATIENZO

Estudio de Factibilidad y Propuesta de Instalación

de un Sistema de Generación Solar Fotovoltaico

en la Base Matienzo – Antártida

ALUMNO: Lic. JUAN C. BENAVENTE

DIRECTOR: Dra. CRISTINA CARBALLO

TUTOR TÉCNICO: Ing. EDUARDO J. MARTINS DO VALE

Agradecimientos

En primer lugar, deseo agradecer a mi familia por sostener la posibilidad que tengo de efectuar viajes de trabajo a la Antártida, en el marco de mis funciones como empleado público, a las que se sumó la intervención del proyecto de extensión Uniendo Voces, de esta universidad, que dirijo desde 2011. Agradezco al licenciado Martín Díaz, jefe de la División Gestión Ambiental de la ex Dirección de Asuntos Antárticos, y actualmente colega en el Comando Antártico, por el aporte de material necesario para realizar este estudio, por sus comentarios y correcciones y su entusiasmo y compromiso con la actividad antártica. Agradezco a la Dra. Cristina Carballo por asumir las responsabilidades de dirigir este trabajo, y por sus lúcidos aportes. No quiero dejar de mencionar al Lic. Omar Suárez, colega del Área de radio de la UNQ, por el trabajo en equipo y en cubrir los espacios durante mis viajes. Desde luego, agradezco a la Universidad Pública la posibilidad de trabajar y formarme en ella, y todo aporte que realicemos será una devolución social y una contribución para su crecimiento. Agradezco al ingeniero Martins Do Vale por su asesoría técnica, y por ser el jefe del único proyecto de Energía Solar Fotovoltaica en Marambio, y a partir del cual recogimos valiosa información. Lamentablemente él y su colaborador, el ingeniero Ricardo Bolzi, ya no están en el área de Investigación y Desarrollo de la Fuerza Aérea. Por último, una mención especial para mis camaradas de la dotación 2018 de la Base Antártica Matienzo, con quienes compartí el sueño de poder prestar servicios en ese lejano y desafiante rincón inhóspito del país. Con todos ellos formamos un equipo humano en el que se destacó la solidaridad y el esfuerzo grupal, imprescindibles para sobrellevar una misión antártica. A todos, gracias.

TRABAJO FINAL INTEGRADOR

SOLAR MATIENZO

Estudio y Propuesta de Instalación de un Sistema de Generación Solar Fotovoltaico en
Base Matienzo – Antártida.

Introducción

*Necesitamos el tónico de la rusticidad (...).
Jamás nos hartamos de la Naturaleza.
Debemos refrescarnos con la visión de ese vigor inagotable.*

Walden. La vida en los bosques. *Henry D. Thoreau, 1854.*

En un lugar inhóspito, frío, extremadamente bello y solitario, fecundó la idea de este estudio. En el mismo lugar al que está destinado: la Base Matienzo, en el sector antártico argentino. La posibilidad de servir al país en el sexto continente, que en algunos de quienes lo hacemos despierta la pasión no sólo por el desafío permanente, sino porque estamos conscientes de la importancia para la Nación y para la ciencia que tiene nuestro trabajo, promueve también compromisos y responsabilidades. Así, procuramos difundir lo que hacemos los argentinos en la Antártida mediante exposiciones en escuelas e instituciones diversas; así procuramos efectuar alguna contribución, como en este caso, un estudio final de una Especialización de posgrado. Es en ese marco y con ese espíritu que emerge este análisis. Como el autor suele afirmar, viajar a la Antártida es un raro y esforzado privilegio, que conlleva compromisos y responsabilidades.

Este trabajo es un estudio de diagnóstico y factibilidad que incluye una propuesta de intervención, vinculadas con las experiencias desarrolladas en la Base Matienzo durante la Campaña Antártica de Verano 2017/2018.

El objetivo general es desarrollar un diagnóstico de factibilidad para la introducción de una matriz energética complementaria en la Base Antártica Matienzo, con el fin de realizar un aporte para el reemplazo gradual de la matriz energética de las bases antárticas argentinas, basada sólo en combustibles fósiles, hacia matrices híbridas que incluyan energías renovables.

El trabajo tiene cinco objetivos específicos: recopilar información y experiencias acerca del uso de Energía Solar Fotovoltaica (ESFV) en bases antárticas argentinas; realizar un relevamiento de las condiciones ambientales de la Base Matienzo; analizar la

factibilidad de instalación de un sistema de ESFV en la Base Matienzo; desarrollar una propuesta de intervención piloto considerando una instalación solar que complemente el uso de la usina eléctrica basada en combustibles fósiles; y evaluar aspectos ambientales positivos con la implementación.

El marco conceptual estará imbricado con estudios sobre energías renovables y aspectos normativos fundamentalmente en torno al fomento y uso de energías renovables en el sector antártico argentino. En general, algunos trabajos que dan cuenta de experiencias con energías renovables, o que proyectan alguna aplicación (Christo, 2012, Cadena, 2014 entre otros) se enfocan en los beneficios generales y particulares que aporta la instalación, las dificultades técnicas sorteadas, las características, las variables y aspectos que intervienen en el diseño, los resultados esperables y obtenidos y la reducción de combustible fósil y contaminación ambiental que implica el desarrollo del proyecto.

Por otro lado, trabajos como los de Thomas y Santos (2016), procuran poner de relieve la importancia social de algunos emprendimientos vinculados a las energías renovables en el país, recuperando también situaciones en países limítrofes. Este enfoque “social” del tema contribuye no sólo a la toma y “distribución” de conciencia respecto del uso de energías renovables e instalaciones más amigables con el ambiente, sino que aporta ejemplos concretos y aplicables al análisis.

Conviene resaltar las razones principales¹ y beneficios generales para el uso de energías renovables, de aplicación también en la Antártida

- Son inagotables
- No generan desechos, y son neutras en materia climática
- Los costos se limitan a la instalación, mantenimiento y técnicas de transformación, y disminuyen a medida que se multiplican lugares de instalación.
- Se distribuyen naturalmente, frente a la concentración de las de origen fósil y nuclear.

¹ Extraído de El Atlas del Medioambiente de *Le Monde Diplomatique*.

La energía solar fotovoltaica, centro de este trabajo, consiste básicamente en el aprovechamiento de parte de la radiación electromagnética emanada por el sol para transformarla en energía eléctrica. Es decir, transformar *luz* en *electricidad*. Esto es posible gracias al uso de unos dispositivos especiales basados en tecnologías de semiconductores sensibles a la luz, las celdas fotovoltaicas, que agrupadas física y eléctricamente, conforman los *paneles fotovoltaicos*, (FV).

Tanto los componentes de un sistema fotovoltaico como su dimensionamiento dependen del consumo y del tipo de instalación. En este estudio, ello se trabajará específicamente en el capítulo III.

Las ventajas principales² de un sistema fotovoltaico pueden resumirse en:

- Es una energía descentralizada que puede ser captada y utilizada en distintos sectores.
- Tras la instalación el costo de mantenimiento es muy bajo y el costo energético es nulo.
- La instalación es modular y escalable.
- No produce contaminación.
- Tecnología en desarrollo que tiende a reducir los costos y a aumentar el rendimiento.

Según Garrino y Lalouf (2016)³, las primeras experiencias conocidas en el país con energía solar datan de la década de 1950, aunque dos décadas después se inició un estudio sistemático de recopilación de información de radiación solar (solarimetría) mediante una red de observaciones. Los registros se suspendieron en la década de 1990 por falta de recursos financieros.

El inicio de las experiencias vernáculas con energía solar es coincidente con lo que sucedía en otros países, y que en el exterior tuvieron un desarrollo vertiginoso en la

² Basado en: Secretaría de Energía (2008), *Energías Renovables 2008 – Energía Solar*, Buenos Aires, Secretaría de Energía de la Nación.

³ En: THOMAS, H., SANTOS, G. (2016). Ver bibliografía.

década siguiente para aplicaciones espaciales en satélites y posteriormente en naves-sonda.

En 1974 se creó la Asociación Argentina de Energía Solar (ASADES) entre un grupo de investigadores vinculados al área de Física Solar. En 1997 cambió su denominación por la actual, “Asociación Argentina de Energías Renovables y Ambiente” a fin de incluir otros temas de interés en torno a la energías renovables. Sus miembros representan a universidades, laboratorios, ONG ambientales y empresas de la Argentina, y ofrecen capacitaciones en EE.RR., difusión, encuentros de intercambio de experiencias, asesoramiento y soluciones en el tema.

Actualmente, los sistemas de generación fotovoltaicos utilizados en el país son importados, con excepción de algunos desarrollos por parte de científicos de la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA) destinados a ser utilizados en satélites.

Si bien los gobiernos nacionales discursivamente adhieren al uso de energías renovables (y solar entre ellas), no se verifica aún una política de Estado firme y comprometida con el tema, aún existiendo trabajos y experiencias alentadoras en el área.

La Ley 26.190 Régimen de Fomento Nacional para el Uso de Fuentes Renovables de Energía Destinadas a la Producción de Energía Eléctrica, y el decreto 562/09 de reglamentación, no fueron suficientes para impulsar programas de generación FV. Las Energías Renovables (EE.RR.) son declaradas de interés nacional en el art. 1° de esa norma, pero las intenciones de la letra no se acompañan con políticas y programas de estímulo e inversión.

Según Cadena (2014, p. 44) “es obvio que la incorporación de tecnología es progresiva y sólo hace falta la decisión política. Esta decisión tiene que ver con la falta de legislación para los sistemas solar-térmicos, la inyección de energía a la red y el régimen de subsidios”.

Un antecedente destacable es el Proyecto de Energías Renovables en Mercados Rurales (PERMER), una propuesta coordinada desde la Secretaría de Energía y Minería de la Nación que data de 1999. El objetivo era el abastecimiento de pobladores rurales aislados, apuntando a incluir al acceso energético a un 5 % de la población. Ese objetivo se amplió a otros, con el fin de difundir y apoyar las instalaciones de generación de

energías limpias. El presente estudio acerca de Base Matienzo será puesto a consideración del proyecto PERMER para su consideración.

Este trabajo se estructura en cuatro capítulos, procurando avanzar de manera gradual y lógica en el análisis.

El primer capítulo presenta de manera sucinta las características destacables del continente antártico; la ocupación argentina; la actual administración internacional de la región; la importancia del Protocolo para la Preservación del Ambiente Antártico, conocido Protocolo de Madrid, que promueve una gestión sustentable de la ocupación de la Antártida; las características principales de las bases Marambio y Matienzo, tomando como referencia a la primera, dada su escala, tránsito e importancia para las operaciones logísticas en el sexto continente, para ilustrar el impacto ambiental que provoca el uso masivo de combustibles fósiles para la generación de energía.

El segundo capítulo resume algunas iniciativas de EE.RR. desarrolladas por otros países en la Antártida, incluyendo las incipientes y recientes experiencias locales.

El tercer capítulo analiza las condiciones de factibilidad de uso de paneles solares en Base Matienzo, y bases de pequeña escala, e incluye una propuesta de intervención, cuya ejecución no fue realizada porque no es dable ni rápido poder efectuar un viaje a la Antártida. No obstante, en caso de aprobarse este estudio, la propuesta será presentada formalmente a los organismos que tienen jurisdicción en la zona para impulsar su realización.

Por último, el capítulo cuatro cierra y concluye este breve estudio enfatizando los aportes positivos desde el punto de vista ambiental (y logístico) que involucran desarrollar proyectos de EE:RR: en la Antártida.

I. LA ANTÁRTIDA. SITUACIÓN

1.1 Presentación

La Antártida es el lugar más inaccesible, frío, seco y ventoso del planeta, y el último en ocuparse. Con una superficie de 14.000.000 km² alrededor del 1% está libre de hielo, y la temperatura más baja registrada alcanzó los -93.2 °C en la estación científica rusa *Vostok*. El sector antártico que reclama la Argentina ocupa 1.461.597 km².

En la antigüedad, los griegos denominaron al polo norte “ártico” (*arktos* significa “oso” en griego) porque la estrella polar, que se encuentra en la proyección del eje polar, pertenece a la constelación de la Osa Menor. Por oposición, al lado opuesto (polo sur) lo llamaron *anti arktos*. De allí, Antártida.

En cartografías antiguas hay referencias a la zona antártica, primero como especulación imaginativa y luego, paulatinamente, con aproximación a los archipiélagos subantárticos. Una excepción es el polémico mapa de Piri Reis, de 1513, en el que aparece aproximado a la realidad un sector de la Antártida, tal como se viera libre de hielos.

La *Terra Australis Incógnita* se fue mostrando desde sus archipiélagos septentrionales a los navegantes de los siglos XVII y XVIII y durante las primeras décadas del XIX, se realizaron expediciones que alcanzaron a cruzar el Círculo Polar Antártico y del lado argentino hay referencias de navíos que llegaron a las islas Shetland del Sur para la explotación foquera, principalmente, que luego junto a la caza de ballenas, fueron el motor económico que impulsó a los comerciantes a internarse en la región. También se recogieron leyendas de etnias de Tierra del Fuego que hablaban del “país de los hielos”.

1.2 La ocupación formal argentina

En 1901, el sueco Otto Nordenskjöld inició una expedición científica a la Antártida en la que participó el alférez argentino José M. Sobral como cartógrafo y asistente. Tras varias vicisitudes, dos años después fueron rescatados en la isla de Cerro Nevado (al SO

de Marambio) por la corbeta *Uruguay*, al mando del teniente Julián Irizar. Sobral fue el primer argentino que invernó en la Antártida.

El 22 de febrero de 1904, en una austera ceremonia, un grupo de argentinos tomó posesión de las instalaciones construidas por los escoceses en la isla Laurie, en el archipiélago de Orcadas del Sur. Así, la Argentina desembarcó formalmente en la Antártida e instaló la primera dotación de hombres y el Observatorio Meteorológico y Magnético.

La Base Orcadas —operada por la Armada Argentina y levantada en el lugar del destacamento original— otorgó al país el privilegio de ser el único que ostenta la permanencia continua más duradera en la Antártida. Por ello, la Ley 20.827 estableció al 22 de febrero como el “Día de la Antártida Argentina”, celebración que coincide cada año con el pleno desarrollo de la actividad científica y logística de la Campaña Antártica de Verano.

1.3 Administración actual. Sistema del Tratado Antártico.

La Antártida (sector continental y mares circundantes) es un caso particular en el mundo, no sólo por sus características climáticas, morfológicas e históricas, sino por su situación geopolítica. Es el único lugar del planeta en el que actualmente conviven pacíficamente varios países abocados a la investigación científica y al mantenimiento de la presencia soberana, como es el caso de Argentina. La situación geopolítica del continente atravesó dificultades y momentos de tensión antes de lograr un consenso internacional⁴.

El primer instrumento jurídico surgido para administrar a la Antártida (y con plena vigencia en la actualidad) fue el Tratado Antártico, firmado en Washington en 1959 y que entró en vigencia dos años después. Los doce países signatarios originales (entre ellos Argentina) habían desarrollado actividades científicas en la Antártida durante el Año Geofísico Internacional (AGI) en 1957-58.

⁴ Sobre el tema, se sugiere consultar el trabajo de Pablo Fontana (2014) *La pugna antártica* (ver bibliografía) una exhaustiva investigación que proporciona información acerca de las tensiones que rodearon durante dos décadas la situación geopolítica de la región, y que tuvo como uno de los actores principales a la República Argentina.

La libertad de investigación científica en la Antártida y la cooperación hacia ese fin, como fueran aplicadas durante el Año Geofísico Internacional, continuarán, sujetas a las disposiciones del presente Tratado. (Art. II, Tratado Antártico)

Además del artículo citado, otros artículos del Tratado y de otros acuerdos hacen hincapié en el uso y carácter pacífico de las actividades desarrolladas en la Antártida, lo mismo que estimulan el espíritu de cooperación científica e internacional que animan las tareas.

Siete Estados (Argentina, Chile, Gran Bretaña, Australia, Francia, Nueva Zelanda y Noruega) mantienen reclamos de soberanía en zonas del continente antártico. Sin embargo, los reclamos de Argentina, Chile y Gran Bretaña están superpuestos en el sector que abarca la Península Antártica y mares adyacentes, con diferencias de algunos meridianos. EE.UU. y la entonces URSS (existente cuando se firmó el Tratado) se reservaron el derecho de reclamar sectores para sí, no obstante lo cual forman parte de la administración del Tratado y mantienen bases permanentes y transitorias⁵.

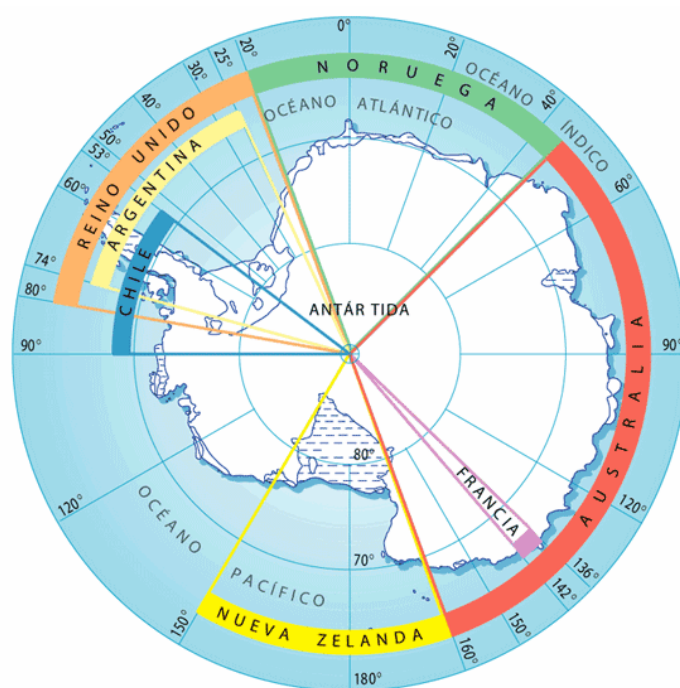


Fig. 1: Reclamos de soberanía en el continente antártico. Fuente: Dirección de Asuntos Antárticos, 2018.

⁵ Las bases de la ex Unión de Repúblicas Socialistas Soviéticas pertenecen a la Federación Rusa.

La Antártida es el único continente que no tiene población autóctona⁶ y fue el último en ser ocupado por el hombre. En la actualidad, y ampliando la administración propuesta por el Tratado, todas las actividades que se desarrollan en la región son reguladas, contempladas y supervisadas por el Sistema del Tratado Antártico (STA). El STA es el instrumento que fija las acciones y la política a ejercer en la Antártida y está constituido por el Tratado Antártico, el Protocolo de Madrid, acuerdos y decisiones tomadas en las reuniones de las partes integrantes. El STA tiene su sede en la ciudad de Buenos Aires.

Las energías renovables y el uso de combustibles alternativos en la Antártida se presentan como soluciones a dos contingencias: el impacto negativo del uso de combustibles fósiles sobre el ambiente antártico y sus ecosistemas (en el que deben considerarse además los residuos y procesos generados) y el importante esfuerzo logístico necesario (y costos asociados) para transportar el combustible hacia las bases, descargarlo desde las aeronaves y buques, bombearlo y trasvasarlo a los depósitos a granel (cisternas), y los subproductos y riesgos generados (residuos, contaminación, manipuleo, accidentes humanos, generación de derrames).

La especial administración internacional que regula la actividad en la Antártida — mediante el Sistema del Tratado Antártico— incluye el Protocolo al Tratado Antártico Sobre la Protección al Medio Ambiente (Protocolo de Madrid) que es un instrumento que apunta a una amplia y específica regulación de las actividades que en forma cierta o potencial impliquen una agresión al ambiente antártico. El Protocolo, surgido en la XI Reunión Consultiva Especial al Tratado Antártico, fue firmado en Madrid en 1991 y en su artículo 2 declara que

⁶ En 1949 el entonces coronel Hernán Pujato presentó al presidente de la Nación, Juan D. Perón, un visionario Plan Antártico que fijó las líneas estratégicas seguidas por la Argentina desde entonces. El Plan incluía cinco puntos, entre los cuales se hacía mención a la necesidad de fundar un poblado con familias. En diciembre de 1953 se funda la Base Esperanza, en el extremo norte de la Península Antártica. Esa base aún mantiene en su dotación anual a varias familias con niños y adolescentes que asisten a la Escuela N° 38 “Raúl Ricardo Alfonsín”, dependiente de la provincia de Tierra del Fuego, Antártida e Islas del Atlántico Sur. En 1978 nació en ese destacamento Emilio Marcos Palma, el primer ser humano nacido en la Antártida, inscripto en el mismo Registro Civil de la Base Esperanza.

Las Partes se comprometen a la protección global del medio ambiente antártico y los ecosistemas dependientes y asociados, y mediante el presente Protocolo designan a la Antártida como reserva natural consagrada a la paz y a la ciencia. (STA, 2017, p.36)⁷.

La Argentina, mediante la Ley N° 24.216, de 1993, fue uno de los primeros países en ratificar el Protocolo. El Protocolo incluye Anexos que abordan y regulan materias específicas, como la Conservación de la Flora y Fauna Antártica; Eliminación y Tratamiento de Residuos entre otros.

La puesta en vigor del Protocolo, fundamentalmente, promovió a los estados miembros a minimizar los impactos ambientales en la Antártida, a efectuar un mayor control y regulación de sus actividades y procesos; a intensificar los monitoreos e inspecciones ambientales y a desarrollar, consecuentemente, acciones para mejorar la calidad ambiental de las tareas.

Desde luego, uno de los problemas recurrentes más importantes de todos los procesos gira en torno a las tecnologías de generación de energía eléctrica en las bases y estaciones, y ligado a ello, el transporte, descarga, manipuleo, acopio y generación de subproductos relacionados con los combustibles de origen fósil utilizados. Desde el apartado 1.5 hasta el final del capítulo, se hará referencia a los casos particulares de las Bases Marambio (de manera general por la escala e importancia para el país) para captar el problema, y desde luego a la Base Matienzo, objeto de este trabajo.

1.4 Científicos y Fuerza Armadas

En el caso de Argentina, como en otros países que operan en la región, las FF.AA. han tenido una importancia central en la ocupación de la Antártida, siendo las responsables principales de las expediciones, asentamientos y fundación de refugios, bases y destacamentos, y en el apoyo a la actividad científica. Este hecho es fácil de comprender en tanto estos organismos cuentan con los medios marítimos, terrestres y aéreos

⁷ STA (2017), *Compilación de documentos fundamentales del Sistema del Tratado Antártico*, Buenos Aires, STA. Ver bibliografía.

necesarios para los desplazamientos hacia y en la región, como asimismo personal capacitado y entrenado para afrontar los desafíos singulares que se presentan. Desde luego, lo manifestado no excluye ni la capacidad ni la historia de los medios civiles utilizados en la región, pero es necesario remarcar los despliegues que históricamente realizaron las FF.AA. En particular, las bases Marambio y Matienzo, tratadas en este trabajo, fueron fundadas, mantenidas y operadas por la Fuerza Aérea Argentina.

En relación con el Tratado Antártico, y la participación de las FF.AA. en la región, queda explícitamente aclarado en el Art. I (Sánchez, 2007, p.234):

La Antártida se utilizará exclusivamente para fines pacíficos. Se prohíbe, entre otras, toda medida de carácter militar, tal como el establecimiento de bases y fortificaciones militares, la realización de maniobras militares así como los ensayos de toda clase de armas. El presente Tratado no impedirá el empleo de personal o equipo militares para investigaciones científicas o para cualquier otro fin pacífico.

Así, tanto el Ejército, como la Armada y la Fuerza Aérea, con personal y medios propios, constituyeron y constituyen no sólo el sostén logístico para todos los despliegues científicos, sino también para la administración de las bases⁸.

La Argentina posee seis bases permanentes (con dotaciones de personal que se renuevan anualmente), siendo el país que más estaciones permanentes posee, y siete bases transitorias o temporales, que son abiertas durante el verano para efectuar tareas de mantenimiento de las instalaciones y apoyo a la actividad científica. La Base Matienzo, depositaria de este trabajo, es una base temporal.

Además, la Argentina mantiene pequeños refugios en distintos sitios de la región, que son instalaciones reducidas que alojan víveres, combustible y abrigo. Los refugios son visitados y preservados para su uso eventual. Algunos destacamentos, como la Base Sobral, han desaparecido bajo la nieve por discontinuar su ocupación.

⁸ Por decreto PEN 368/18, se constituyó con carácter permanente el Comando Conjunto Antártico (COCOANTAR), dependiente del Estado Mayor Conjunto de las FF.AA., en jurisdicción del Ministerio de Defensa. El COCOANTAR es ahora el organismo centralizado responsable de todas las bases antárticas, concentrando también de manera permanente la coordinación de todas las operaciones navales, aéreas y terrestres en la región, a partir de los requerimientos formulados por el Plan Anual Antártico elaborado por la Dirección Nacional del Antártico.

A todo ello, durante la época estival, la Argentina despliega campamentos científicos en distintos sitios de la Península Antártica e islas, de acuerdo a los programas y proyectos de investigación incluidos en el Plan Anual Antártico por lo que la población residente en la zona aumenta.

La población argentina media que habita anualmente las bases permanentes asciende a unas 220 personas entre científicos, personal logístico, técnico y miembros de las FF.AA., y durante el verano puede llegar a los 1.000 habitantes, contando refugios, campamentos, científicos y personal logístico trabajando en el sector.

El organismo argentino responsable de las actividades que se desarrollan en la Antártida (planificación, supervisión, ejecución, en coordinación con el Ministerio de Defensa) y de la representación del país en los foros internacionales sobre la región es la Dirección Nacional del Antártico (DNA), que depende del Ministerio de Relaciones Exteriores, Comercio Internacional y Culto. La DNA incluye al Instituto Antártico Argentino⁹, responsable de los programas y proyectos de investigación científica en la región antártica.

⁹ La creación de un Instituto que coordine y realice la actividad científica en la Antártida fue otra de las propuestas estratégicas desarrolladas por Pujato en su Plan Antártico de 1949. Así, el Instituto Antártico Argentino (IAA) se creó en 1951 por decreto Nro. 7.338, siendo su primer director el mismo coronel Hernán Pujato.



Fig. 2: Bases permanentes y temporarias. En el recuadro se indica la zona donde están las bases Marambio y Matienzo. Fuente: <https://planetario.malargue.gov.ar/2016/10/27/1428/>.

1.5 La Base Marambio

Está ubicada en la isla Vicecomodoro Marambio (ex *Seymour*), en el Mar de Weddell, al este de la península Antártica. Las coordenadas de la base son: latitud $64^{\circ} 14' S$ y longitud $56^{\circ} 38' O$, y se halla a una altura de aproximadamente 198 msnm, localizada en una meseta al NE de la isla. Las características físicas de esa meseta posibilitaron la concreción de una pista de aterrizaje de 1.200 m de longitud y 40 m de ancho (cubriendo una superficie de 48.000 m²) construida sobre el *permafrost*¹⁰ siendo la

¹⁰ *Permafrost* (del inglés *permanent*, permanente, y *frost*, helado) es la capa de suelo que está congelado, en Marambio, mezcla de arcilla y hielo. La capa superficial suele descongelarse en verano (o en otra

primera pista inaugurada en la Antártida que permitió la operación de aviones con tren convencional (ruedas, sin esquís) de gran capacidad. La pista se encuentra aislada de los edificios principales que conforman la Base Marambio, distribuidos a unos 400 m al sur de la misma.

La inauguración oficial de la base fue el 29 de octubre de 1969 luego del significativo esfuerzo de un grupo de hombres que conformaron la *Patrulla Soberanía*¹¹, quienes vivieron en carpas durante meses en condiciones precarias y hostiles. Con herramientas de mano y explosivos fueron despejando y preparando el terreno para la operación de aviones, alcanzando su primer logro el 25 de septiembre de ese año, cuando un monomotor *Beaver* aterrizó con ruedas en la precaria pista de 300 metros de longitud. Fue la primera vez que un avión con ruedas aterrizó en la Antártida.

En 1970 aterrizó por primera vez en la pista de Marambio un avión de transporte y carga C-130E *Hercules* ampliando significativamente el apoyo logístico y la capacidad de transporte y carga hacia y desde la base, dado que esta aeronave es capaz de transportar diez toneladas de carga máxima en su bodega en los vuelos antárticos.

Además del traslado de maquinaria vial, se transportan grupos electrógenos, material de infraestructura, víveres y pasajeros en cantidades nunca antes efectuadas. El sostenimiento logístico de la actividad científica nacional e internacional en la zona cobró un impulso destacado.

Durante las décadas de 1970 y 1980 se construyeron las principales instalaciones que tiene la base: alojamientos, depósitos, hangar, pabellón científico, al tiempo que nunca se descuidó el tratamiento y mantenimiento de la pista. En 2015, Marambio fue reconocido por el ANAC (Administración Nacional de Aviación Civil) como Aeródromo Público Controlado.

Marambio es una de las mayores bases que tiene nuestro país en la región; por su ubicación, características y disponibilidad de pista, la que mayor tránsito de pasajeros posee durante todo el año, principalmente durante el verano, en el cual la población, entre personal de dotación, transitorios y científicos asciende a unas 250 personas.

estación con temperaturas cercanas al 0° C y positivas) lo que dificulta el desplazamiento y los trabajos en la zona.

¹¹ La denominación *Patrulla Soberanía* fue posterior al inicio de la misión.

En la Base Marambio, la Fuerza Aérea realiza el apoyo logístico a la actividad científica nacional e internacional que se efectúa en esa zona de la Antártida y mantiene la ocupación soberana. Marambio es considerada la “puerta de entrada” a la Antártida, a partir de la posibilidad de contar con un aeródromo permanente en el que la FAA efectúa los vuelos logísticos antárticos (LAN) realizados con aviones C-130 *Hercules*. Asimismo, en Marambio no se realiza ningún usufructo por actividades (es decir, no obtiene renta por espacios, alojamientos o servicios); desarrolla tareas SAR (*Search and Rescue*, Búsqueda y Rescate en su zona de influencia con aeronaves propias); funciona allí un importante Centro Meteorológico de observación atmosférica y producción de pronósticos MET para todas las bases argentinas y quienes lo requieran; realizan operaciones MEDEVAC (evacuaciones aeromédicas, trasladando pacientes hacia Marambio y de allí evacuados hacia la Argentina sudamericana) y operación de un servicio interbases de transporte de pasajeros, suministros, carga general y científica, mediante aviones DHC-6 *Twin Otter* de la escuadrilla Antártica de Vuelo *Águila*. Con el mismo medio se efectúan vuelos de reconocimiento glaciológico y de apoyo a la navegación marina, y traslado de personal de dotación de otras bases (despliegue y repliegue).

1.6 La Base Matienzo

La Base Matienzo está ubicada en las coordenadas 64° 58' S y 60° 8' O, en el *nunatak*¹² Larsen, perteneciente al grupo *Foca*, en el lado oriental de la Península Antártica (zona de la costa Nordenskjold de la Tierra de San Martín) sobre el Mar de Weddell, a 186 km al sudoeste de la Base Marambio, desde donde actualmente se realizan todos los traslados de personal y carga.

La zona donde se ubica la base estaba inmersa en la Barrera de Hielos¹³ Larsen A, desintegrada completamente en 1995. Desde entonces, con variaciones anuales, han quedado al descubierto amplias superficies de mar con escombros y témpanos flotantes.

¹² Un *nunatak* es una formación rocosa que emerge del mar o de un glaciar como un islote. En el caso del grupo *Foca*, los *nunataks* son de origen volcánico.

¹³ Barrera de hielo: Plataforma extensa de hielo flotante, ubicada sobre el mar y contigua al continente.



Fig. 3: Ubicación de la Base Matienzo al este de la Península Antártica. Fuente: http://www.nuestromar.org/noticias/antartida_122008_20892_bases_antarticas_argentinas. Recuperado: 12-05-2019. Fig. 4: Ubicación del Nunatak Larsen en el grupo Foca. Fuente: Imagen digitalizada de: FONTANA, L. R., (1983), *Atlas enciclopédico antártico argentino*, Buenos Aires, DNA.

Las instalaciones de la base ocupan una franja discontinua de unos 300 m de longitud, en el extremo Este y más angosto del *nunatak*, a una altura que oscila entre los 35 a 60 msnm, dado que los edificios se ubican en zonas irregularmente planas del terreno, entre barrancas.

La base se inauguró el 15 de marzo de 1961, asentada sobre el antiguo refugio San Antonio, y fue el primer destacamento antártico creado de manera conjunta entre el Ejército y la Fuerza Aérea, pasando a depender totalmente de esta última en 1964, con la nueva denominación de Base Aérea Teniente Matienzo, manteniendo una dotación de dos aviones monomotores *Beaver*, que operaban desde el glaciar contiguo al nunatak.

En Matienzo se desarrollaron diversas actividades científicas y sucesos históricos de trascendencia internacional. Entre las primeras, se cumplieron extensos programas de observaciones meteorológicas y climatológicas; se estudió el estado glaciológico de la ruta Matienzo-Esperanza y el canal costero entre la isla Robertson hacia el sur, superando los 72 ° de latitud Sur; se efectuaron relevamientos topográficos y aerofotográficos de la barrera de hielo Larsen, luego desaparecida.

En relación con los sucesos de trascendencia, en 1965 se lanzaron dos cohetes argentinos *Gamma Centauro*, fabricados por el entonces Instituto de Investigaciones Aeronáuticas y Espaciales (IIAE) de la Fuerza Aérea, antecedente de la Comisión Nacional de Actividades Espaciales (CONAE), actual agencia nacional a cargo del programa espacial argentino. Los cohetes, junto a los dos globos sondas lanzados desde Matienzo para medición de rayos-X, se trasladaron hasta el lugar mediante un avión de transporte C-47 al mando del comandante Mario Luis Olezza, precursor de la actividad de la FAA en la Antártida. Esa operación colocó a la Argentina no sólo entre el reducido número de países que construía cohetes en la década de 1960 para investigación científica, sino que además efectuaba lanzamientos desde la Antártida.

Además de ello, ese mismo año la base Matienzo constituyó la primera escala y el punto de apoyo de operaciones de la *Operación Sur*, el primer Vuelo Transpolar Argentino. Cuatro años después, también fue la base de operaciones para la creación de la Base Marambio.



Fig. 5: *Nunatak* Larsen y Base Matienzo. El glaciar de la izquierda se utiliza como pista de anevizaje para el avión que traslada pasajeros y carga. Fuente: Autor, 2018.



Fig. 6: Dos instalaciones de la base: Usina-Taller y Casa Alojamiento. Fuente Autor, 2018.

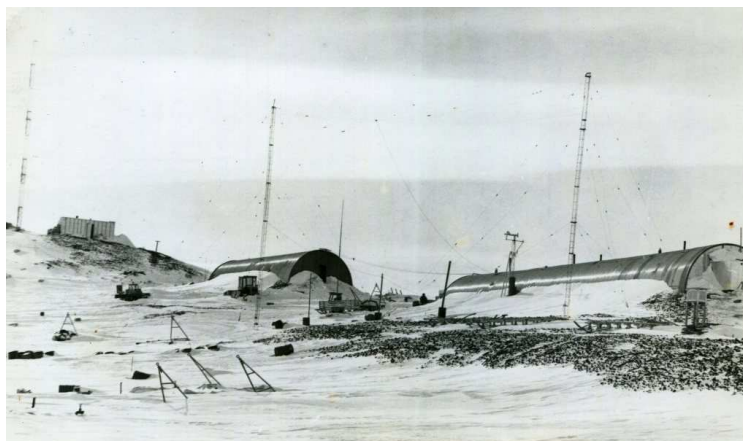


Fig. 7: Base Matienzo, 1965. Fuente: CANO, A., (1965), Colección familia Cano. Gentileza: Dirección de Estudios Históricos, FAA.

En 1972 Matienzo se desactivó como estación permanente y desde entonces fue reabierto durante las campañas de verano para realizar tareas de apoyo al vuelo, mantenimiento de las instalaciones, reabastecimiento, observación meteorológica y apoyo a la actividad científica.

La cantidad de habitantes temporales de Matienzo oscila entre diez y quince personas, por lo que constituye una base de baja escala y con facilidades para la instalación de sistemas de energías renovables, que permitan complementar la generación de energía eléctrica basada en los grupos electrógenos de la usina, que usan combustibles fósiles.

1.7 Generación de energía eléctrica en las bases. Impactos.

Como en todos los sitios y actividades, la energía y sus transformaciones son esenciales para posibilitar todas las realizaciones y la vida misma, más aún en una región extrema como la Antártida.

La energía eléctrica permite la mayor parte de las actividades de las bases antárticas, y centralmente para su generación se recurren a usinas basadas en combustibles fósiles. Además de ello, se utilizan distintos tipos de hidrocarburos (*gas oil*, nafta, aeronafta – Jet A1-, anticongelantes, aceites, gas) para los vehículos, maquinaria vial (como en el caso de Marambio); aeronaves, navíos, bombas, calefacción, cocinas y otros.

El combustible se compra y está sujeto a la variabilidad de los precios del mercado mundial. El combustible es transportado a la Antártida (principalmente) en barco y la

quema de combustible es necesaria para propulsar la nave. Reducir el uso de combustible ahorra costos operativos, reduce el impacto potencial de un derrame de combustible y reduce los contaminantes de escapes de motor. También reducir el uso de combustible reduce las emisiones de CO₂ y gases que contribuyen al efecto invernadero. (DÍAZ, 2018, p. 2).

Las bases antárticas argentinas basan su generación de energía eléctrica a partir de usinas que incluyen dos o más equipos GEL (Grupos Electrógenos) constituidos por unidades formadas por un motor de tipo *diesel* que tracciona al generador eléctrico. En los GEL instalados de manera fija, el motor *diesel* es alimentado por un combustible especial para bajas temperaturas, el Gas Oil Antártico (GOA), una variante sin parafina del gas oil convencional. Los GEL portátiles y de baja potencia de generación utilizan nafta como combustible. Toda la generación eléctrica de las bases argentinas utiliza ambos sistemas y requieren un gran esfuerzo logístico para el reaprovisionamiento anual de combustibles.

En el caso de la Base Marambio, cada año se trasladan aproximadamente un millón de litros de combustibles y lubricantes, además de tubos de gas licuado, necesarios para el funcionamiento de todos los servicios.

La gestión o manejo de esa cantidad de combustibles implica el traslado terrestre hacia el/los buques transportadores (rompehielos *Irizar* y avisos de la Armada); el posterior traslado hacia las bases antárticas; el traslado buques-bases mediante helicópteros; el desplazamiento y eventual acarreo de tambores de lubricantes y combustibles y tubos de gas hacia los sitios de almacenamiento; el trasvase de combustible hacia los contenedores a granel. Como se puede inferir de esta compleja cadena de abastecimiento, el esfuerzo logístico necesario, junto a los riesgos del manipuleo y traslado en toda la cadena, son altos.

Algunos países han implementado desde hace años sistemas de energías renovables (EE.RR.) en sus bases antárticas (ver capítulo II). Otros países han iniciado proyectos e instalado paneles solares fotovoltaicos y aerogeneradores sin haber reemplazado totalmente la matriz de generación energética. Así

...la integración de las energías renovables en plantas de energía en las bases se está convirtiendo en la alternativa adoptada para reducir los impactos ambientales, ampliar la autonomía y minimizar los costos de la energía. Sin embargo, diseñar sistemas de energía

híbridos para el continente frío requiere un estudio cuidadoso de las restricciones locales y recursos energéticos para lograr robustez y autonomía necesaria para el funcionamiento seguro incluso en condiciones adversas (DÍAZ, 2018, p.3).

No está permitido el uso de Energía Nuclear en la Antártida, y el único reactor instalado —que funcionó en la Base Mc Murdo de los EE.UU.— fue desactivado hace décadas¹⁴.

Es importante apuntar que algunas implementaciones ejecutadas en la Antártida se caracterizan por integrar “diferentes áreas del conocimiento, que implica las ciencias relacionadas con el uso racional y eficiente de la energía y los recursos hídricos, gestión de residuos, métodos, materiales y técnicas de construcción avanzadas” (DÍAZ, 2018, p.3). Es decir, es importante agudizar las tecnologías de generación de energía, tanto como optimizar los usos y mejorar las instalaciones, a efectos de mejorar sustantivamente la eficiencia.

La situación de Argentina es compleja y demuestra un atraso en la toma de decisiones políticas respecto del uso de energías renovables en la Antártida. La Argentina es el país que más bases posee en el sexto continente y como se indicó, el único que ostenta la mayor presencia ininterrumpida, desde 1904, en el sector. Sin embargo, el país no logra impulsar una política de modernización de la matriz energética de sus bases (permanentes y temporales) basadas en combustibles fósiles. Esto presenta al menos dos problemas troncales: 1) La falta de coherencia entre lo deseable por el STA y lo practicado por el país, en relación a la reducción/eliminación de residuos; reducción de gases de efecto invernadero; uso eficiente de la energía y reducción de uso de combustibles fósiles en la Antártida; 2) El elevado coste y la complejidad logística para abastecer de combustibles a las bases, con un pico de dificultad verificado en 2017 cuando el reabastecimiento de la Base Marambio se efectuó sólo con los escasos medios aéreos que posee la Fuerza Aérea.

¹⁴ El comandante Mario Luis Olezza (1928-1977), aviador argentino precursor de la actividad de la FAA en la Antártida, comenta con sorpresa en su libro *El valor del miedo* (ver bibliografía) el uso del reactor para generación de energía en la base, en 1965, durante el Vuelo Transpolar Argentino. El comentario alude a la situación tecnológica de la base norteamericana y no una crítica al uso de la energía atómica en la región.

Si bien hay algún antecedente experimental, hasta el momento la DNA, el organismo que tiene a cargo la política antártica argentina y fija el Plan Anual Antártico, no tiene en ejecución ningún programa o proyecto de Energías Renovables en la región. “También se debe entender que la contaminación es dinero, y se la pagará muy caro de no mediar cambios importantes, bajo el concepto de *hipotecas ambientales*” (Cadena 2014, p.44).

Aunque no se han ejecutado programas de implementación de EE.RR en la Antártida, no obstante la Argentina ha estado desarrollando acciones más serias y permanentes (a veces restringidas por las posibilidades logísticas) en relación con la limpieza y evacuación de residuos de sus bases, la gestión ambiental, la minimización de impactos, la prevención de accidentes e incidentes, la capacitación del personal y los protocolos y cuidados en el manejo y almacenamiento de combustibles.

En ese marco, y sustantivamente desde 1999, la Fuerza Aérea Argentina (FAA) impulsó el objetivo institucional de “contribuir a la protección, preservación y conservación del Ambiente mediante la reducción del riesgo de daño ambiental, la conservación de los recursos naturales o culturales, la seguridad y salud ocupacional (...)”. Dado que hasta 2018 esa fuerza administraba dos bases antárticas, esos objetivos institucionales fueron trasladados al sector antártico. Ello no sólo facilitó, por ejemplo, la evacuación de residuos históricos, sino que agilizó la implementación de medidas de prevención de accidentes y minimización de daños ambientales, sujetas a sus posibilidades logísticas, financieras y tecnológicas.

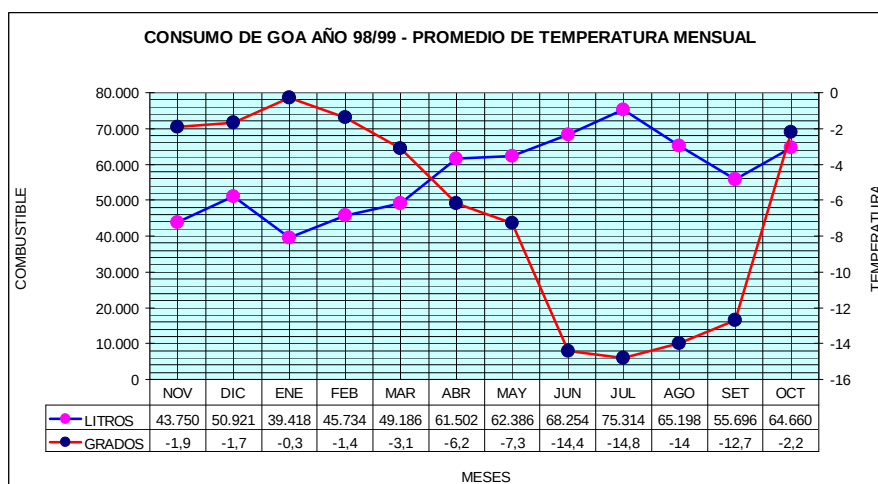
En los siguientes párrafos se incluyen diversos registros de consumos de años anteriores correspondientes a la base Marambio, para tener una aproximación a la importancia de avanzar hacia matrices energéticas híbridas en la Antártida. Se recuerda que Marambio es la base de mayor tránsito, con una importante actividad aérea en el verano austral, lo que permite dimensionar la magnitud y complejidad del reabastecimiento y las actividades logísticas en la Antártida. A continuación de esos registros, se hará referencia a la magnitud reducida de la Base Matienzo, objeto de este trabajo, para verificar la factibilidad de implementar allí un sistema piloto como el propuesto, capaz de ser replicado en otras bases pequeñas.

Características principales de los GEL de Base Marambio¹⁵

GEL	CANTIDAD	MOTOR	GENERADOR	POTENCIA	CONSUMO (aprox)
CAT 3412	3	V12	Trifásico, 400 V, 739 A	512 kVA	56 l/h @ 65A
CAT 3408	1	V8	Trifásico, 400 V, 520 A	320 kVA	45 l/h @ 55A

MES	DOT. XXVII 95/96	DOT. XXVIII 96/97	DOT. XXIX 97/98	DOT. XXX 98/99	DOT. XXXI 99/00	DOT. XXXII 00/01
NOV	51.800	46.782	68.096	43.750	53.280	61.268
DIC	50.000	60.538	47.312	50.921	45.540	63.343
ENE	50.500	47.900	48.331	39.418	68.500	57.500
FEB	48.693	48.050	49.675	45.734	54.943	61.435
MAR	63.375	59.800	54.167	49.186	49.787	55.200
ABR	66.522	64.750	59.667	61.502	52.147	65.480
MAY	66.017	52.395	74.182	62.386	55.978	74.136
JUN	61.276	64.500	76.947	68.254	61.833	73.686
JUL	56.564	66.495	75.816	75.314	63.913	68.478
AGO	58.361	72.010	60.643	65.198	67.808	
SET	62.256	66.540	55.224	55.696	66.314	
OCT	54.866	67.405	46.242	64.660	59.054	
TOTAL	690.230	717.165	716.302	682.019	699.097	580.526

Fig. 8: Consumo de GOA anual período 1995 a 2001 – Base Marambio. Fuente: División Gestión Ambiental – DAA, 2018.



¹⁵ Todos los GEL son de la empresa Caterpillar; la unidad CAT 3408 es un equipo de emergencia localizado en la Subestación Eléctrica N° 2, próxima al alojamiento. Para la finalización de este estudio, se están reemplazando algunos GEL por unidades modernas dado que todos los equipos de Marambio se instalaron a mediados de la década de 1980.

Fig. 9: Relación consumo de GOA campaña 98/99 con promedio de temperatura mensual – Base Marambio. Fuente: División Gestión Ambiental – DAA, 2018.

GRUPOS ELECTROGENOS 4	567.940	65,8%
TRANSPORTE	90720	10,5%
TRANSPORTE	6480	0,8%
CALEFACCION	165.600	19,2%
AGUA	32.000	3,7%
	862.740	

Fig. 10: Consumo general anual (calculado para 2018): 862.740 litros de GOA. Fuente: División Gestión Ambiental – DAA, 2018.

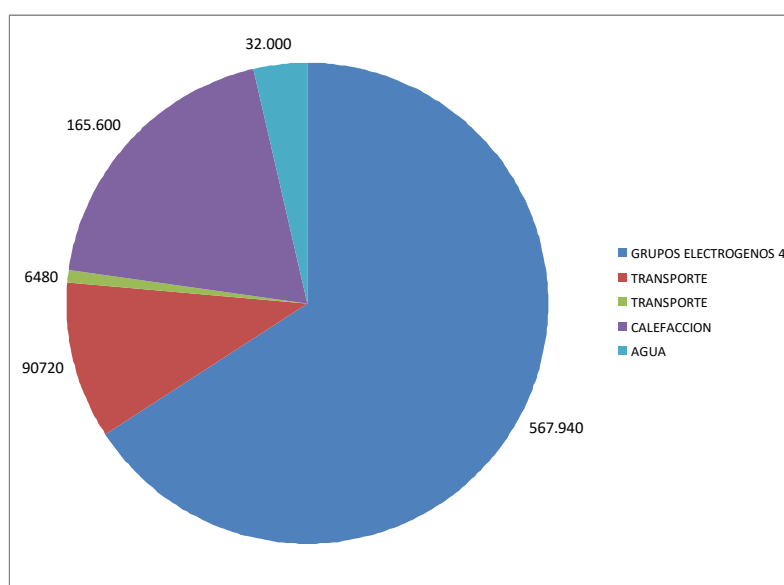


Fig. 11: Consumos de GOA para 2018 – Base Marambio. Fuente: División Gestión Ambiental – DAA, 2018.

1.7.1 Aspectos ambientales negativos del manejo de combustibles en Marambio

En 1998, dada la preocupación internacional existente por los residuos en la Antártida, personal de la DNA y de la FAA efectuaron en Marambio una inspección, con la posterior emisión del informe *Revisión Ambiental de las Actividades Argentinas en Base Marambio*. En el documento se identificaron, entre otros, la exposición de la red de drenaje de la isla debido a la acumulación de combustibles. Uno de los problemas fundamentales observados en el lugar y citado en el informe era la “gran dispersión espacial de los sitios de almacenamiento y trasvase”. A más de veinte años de ese

informe, tanto en la zona de la meseta donde se asienta la base Marambio como en varios sectores de la “submeseta” (zona de barrancas perimetrales a la meseta) se han minimizado varios de los impactos mencionados, aunque el manejo de los residuos asociados a impactos negativos continúa, sin dudas, también, por el gran volumen de combustible manejado anualmente en la base. En la Fig. 1 del ANEXO de este estudio, se incluye una tabla elaborada por la División Gestión Ambiental de la DAA que resume los problemas e impactos más significativos vinculados al problema.

La gestión de combustibles (GOA, JP-1, nafta), gas, aceites, lubricantes y anticongelantes, implica el movimiento y almacenamiento de aproximadamente un millón de litros, por lo tanto cualquier disminución en esta cantidad representa una minimización de los riesgos e impactos ambientales asociados a los mismos. (DÍAZ, 2018, p.4).

Las siguientes imágenes ilustran parte del esfuerzo logístico necesario para trasladar y disponer de combustible en la Base Marambio. De manera similar se procede en todas las bases argentinas, con el único atenuante que el resto de las bases consumen menor cantidad de combustibles y lubricantes al año, dadas las características de escala de cada estación antártica.



Fig. 12: Descarga y traslado de combustible desde el rompehielos hacia las bases. Fuente: COCOANTAR, 2018.



Fig. 13.: Helicóptero con cargamento de combustible. Fuente: Autor, 2014.



Fig. 14: Traslado de tambores de combustible desde las costas de Marambio hacia la base, mediante helicópteros. Fuente: Autor, 2018.



Fig. 15: Batería de cisternas de GOA para la usina de Marambio. Fuente: Autor, 2014.



Fig. 16: Vista aérea de Base Marambio. Fuente: Autor, 2014.



Fig. 17: Interior de la Usina principal de Marambio. Fuente: Autor, 2016.



Fig. 18: Movimiento de tambores de GOA desde su descarga mediante helicópteros hacia el sector de trasvase. Fuente: Autor, 2014.



Fig. 19: Bombeo y trasvase de GOA desde tambores a las cisternas de Marambio. Fuente: Autor, 2014.

1.7.2 La usina de la Base Matienzo. Consumos.

La usina, ubicada en un edificio de silueta denominada “omega” o “medio caño”, está constituida por dos grupos electrógenos Deutz, modelo 1966, con motores *diesel* de cuatro cilindros, alimentados a *gas oil*, y generadores trifásicos de corriente alterna.

GEL	CANTIDAD	MOTOR	GENERADOR	POTENCIA	CONSUMO (aprox)
DEUTZ A 4L-514	2	4L (cilindros en línea), 1.500 RPM	Trifásico, 380 V	32 kW	8-9 l/h

A diferencia de la Base Marambio, en la que se utiliza diariamente maquinaria vial para movimientos internos y fundamentalmente para el acondicionamiento de la pista, en Matienzo existen dos vehículos de oruga para nieve, modelo SNO-CAT, uno de ellos con motor desarmado, y el otro en condiciones precarias de operación (utilizado durante

la campaña 2018, quedando fuera de servicio por problemas de carburación). Ello implica que el gasto de combustible para maquinaria es sustantivamente menor que en Marambio, sin olvidar que la base es temporaria. Los inconvenientes logísticos acaecidos durante años, obligaron a que todo el combustible utilizado y en reserva (GOA para la usina; JET-A1 para aeronaves y nafta para SNO-CAT y GEL portátiles) sea trasladado en avión y depositados en el glaciar, distante a cientos de metros de la base con la dificultad posterior del traslado manual. Eventualmente, durante el verano se utilizaron helicópteros para trasladar los tambores de combustibles.

Respecto de Matienzo, existen registros de consumo de combustibles durante las últimas reaperturas de la base, sin datos firmes más antiguos. De todos modos, en tanto Matienzo es una estación temporal, la información de las últimas reaperturas de la base es suficiente para efectuar cálculos válidos y eficaces.

Así, considerando una reapertura de 45 días, con un uso de la usina de 6 horas diarias, el consumo aproximado¹⁶ de GOA rondaría

$$6 \text{ hs} \times 45 \text{ días} \times 8 \text{ litros/h} = 2.160 \text{ litros}$$

Es decir, para una reapertura de la base se utilizarían en promedio 2.160 litros de GOA, que equivalen a trasladar al menos —para cubrir este cálculo— 11 (once) tambores de 200 litros cada uno de combustible.

Desde luego existen prácticas que redujeron ostensiblemente este consumo, pero es necesario considerar, al momento de planificar una campaña, el abastecimiento por encima del máximo consumo calculado.

¹⁶ Se utiliza el término “aproximado” dado que existen variables a considerar que modifican el uso diario del GEL, como ser, mayor consumo por desgaste; uso menor o mayor diario al indicado según condiciones meteorológicas (por ejemplo, con temporales, el GEL se encendió durante más tiempo que con días sin temporales), gasto de combustible relacionado con el consumo eléctrico por encima del piso mínimo de consumo requerido por el motor para funcionar; y otros factores como tipo y duración de actividades. Por ende, y para el objetivo de este estudio, el uso de un término así es operativo y no afecta los resultados.

Considerando, una vez más, la necesidad de avanzar hacia matrices energéticas híbridas, junto a la reducción de los esfuerzos logísticos, cobra particular interés desarrollar emprendimientos con EE.RR.



Fig.20. GEL en usina de Matienzo. Fuente: Autor, 2018.



Fig. 21: Traslado y descarga de tambores de combustible, dejados en glaciér del *nunatak* Larsen. Fuente: Gastón Valussi, 2017.

II. EXPERIENCIAS CON ESFV EN LA ANTÁRTIDA

2.1 Preliminar

En la primera parte de este capítulo se presentarán escuetamente algunas de las experiencias más importantes en el uso de matrices energéticas híbridas con inclusión de energías renovables en la Antártida desarrolladas por otros países, para lo cual nos hemos orientado principalmente en el estudio de Tiago Malavazi de Christo (2012) para la Universidade Federal Do Espírito Santo.

En la segunda parte, se hará mención a un proyecto institucional implementado en Base Marambio y a continuación, la experiencia del autor en la Base Matienzo.

2.2 Energías limpias en la Antártida

Algunos países han iniciado proyectos de uso de EE.RR. en la Antártida, con el fin de estudiar la viabilidad y posibilidad de inserción de fuentes de energía de este tipo en sus matrices energéticas. Destacan en estas iniciativas las desarrolladas por Bélgica, Australia, EE.UU. y Nueva Zelanda.

En el caso de Bélgica, la estación Princesa Elizabeth, inaugurada en 2009 y ubicada a 190 km de la costa en las coordenadas 71° 57' S - 23° 20' E, utiliza un sistema híbrido de generación de energía eléctrica conformado por nueve turbinas eólicas; un área de 379,5 m² de 408 paneles fotovoltaicos; 22 m² de colectores solares y dos generadores tipo *diesel* de emergencia. Estos últimos, además, contribuyen a la carga de las baterías que funcionan con el conjunto fotovoltaico. En promedio, los generadores diesel trabajan unos cuatro meses al año, en tanto los paneles FV producen energía durante aproximadamente nueve meses (CHRISTO, 2012, p. 72).

Matriz	Potencia generada (kWp)
Eólica	54
FV	50.6
Diesel	88



Fig. 22: Vista general de la estación belga. Fuente: International Polar Foundation / René Robert. <https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/02-233634/princess-elisabeth-antarctica-la-primera-estacion-de-investigacion-cero-emisiones-en-la-antartica>. Recuperado: 12-05-2019.



Fig. 23: Vista del sector principal de paneles FV de la base. Fuente: International Polar Foundation / René Robert. <https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/02-233634/princess-elisabeth-antarctica-la-primera-estacion-de-investigacion-cero-emisiones-en-la-antartica>. Recuperado: 12-05-2019.

Respecto de las estaciones científicas de Australia, las matrices energéticas utilizadas son variadas y complementarias también. Australia tiene un total de cuatro bases, una de ellas localizada en la zona subantártica.

La Estación Mawson utiliza un sistema híbrido de generación eléctrica, basado en generadores diesel y turbinas eólicas. La particularidad de esta base es que desarrolló un sistema de producción, almacenamiento y uso de hidrógeno como combustible, que se utiliza para alimentar vehículos, hornos de cocción y celdas para generación eléctrica.

Tanto Mawson, como las bases Casey y Davis y la menor, estación subantártica, Isla Macquarie, todas de la División Antártica Australiana (AAD, en inglés) poseen sustancialmente matrices similares basadas en generadores de energía eólica y diesel. En Davis se usa además un colector solar para calentar el agua; en Casey existe un sistema de monitoreo eólico y solar, y en Macquarie se usan los RAPS (*Remote Area Power Supplies*), que son sistemas de generación modular y sustentable de energía de baja potencia para áreas remotas (típico para expediciones, refugios y campamentos) que complementan paneles solares, aerogenerador, baterías, motogenerador, combustible y panel de control.



Fig. 24: Vista de un sistema RAPS instalado junto a un refugio subantártico. Fuente: AAD, 2009. <http://www.antarctica.gov.au/>

Dos de las bases antárticas de los EE.UU. (la estación polar Amundsen-Scott, próxima al mismo Polo Sur geográfico) y McMurdo, localizada en el sector neocelandés en las coordenadas $77^{\circ} 51' S$ y $166^{\circ} 40' E$, a orillas del estrecho de McMurdo, son estaciones de gran escala, siendo que esta última tiene la capacidad de albergar a unos 5.000 habitantes durante el verano, y una dotación residente de 1.260 personas. Entre 1962 y 1972, en McMurdo se utilizó un reactor nuclear para su sistema de generación eléctrica, que permitió sustituir los 5.700 litros diarios de Gas Oil quemados para la generación convencional. No obstante, por razones de seguridad, problemas de desechos nucleares y la prohibición de uso de la energía nuclear en la región, la usina nuclear se reemplazó por generadores *diesel*.

En 2008, el Programa Antártico de Nueva Zelanda (ANZ) y su par de EE.UU. (USAP) desarrollaron un acuerdo para trabajar colaborativamente en un megaproyecto de generación de energía eólica que aportara a la demanda energética de ambas bases, y permitiera reducir alrededor del 11 % de combustible al año, cerca de 463.000 litros, con un impacto anual de 1.242 toneladas de CO₂ menos (CHRISTO, 2012, p. 85).



Fig. 25: Vista de McMurdo Station, Fuente: Gaelen Marsden, tomado de: <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=1391313>. Recuperado: 12-5-2019.

2.3 Las EE.RR. y las bases argentinas

Como se adelantó en el Cap. I, la Argentina presenta un atraso en el desarrollo e implementación de proyectos de EE.RR. en general en su territorio sudamericano y en particular en el sector antártico. En éste último, contrasta con su prolongada permanencia en la región, el gran despliegue realizado en la creación de refugios, destacamentos, bases y campamentos; contrasta con sus extensos y diversificados programas de investigación científica, sus objetivos estratégicos, su reclamo soberano, y el importante esfuerzo logístico que desarrolla anualmente para mantener estos objetivos y a sus bases.

En el caso específico institucional de la Fuerza Aérea Argentina (FAA) como administradora¹⁷ de las bases Marambio y Matienzo, conviene destacar algunas situaciones.

En primer lugar, como se adelantó en el capítulo I de este trabajo, la incorporación en 1999 del objetivo institucional de “Contribuir a la protección, preservación y conservación del Ambiente, mediante la reducción del riesgo de daño ambiental, la conservación de los recursos naturales o culturales, la seguridad y salud ocupacional, la adopción de estándares reconocidos y el cumplimiento de la legislación vigentes en todo el ámbito de la Fuerza Aérea.”¹⁸ Desde luego, este giro en la política institucional hacia la preservación del ambiente incluyó las acciones desarrolladas en la Antártida por la institución.

Posteriormente, coherente con esa política, en el ámbito de la Dirección General de Investigación y Desarrollo (DGID-FAA) se impulsaron proyectos de investigación e intervención en Río Gallegos y en la Base Marambio.

Una iniciativa comprende el diseño, construcción y ensayo de un generador eólico y el otro el “Programa para el uso de energías renovables en las Bases Antárticas Argentinas”. Este último consiste en el desarrollo de una usina verde, alimentada por biocombustibles, lo que progresivamente tendería a alcanzar dos importantes objetivos: atenuar el impacto ambiental y lograr la autonomía energética de las bases.

¹⁷ Vale aclarar hasta la conformación permanente del COCOANTAR, en 2018.

¹⁸ Política Ambiental de la Fuerza Aérea Argentina, Directiva 06/99, JEMGFAA.

En ese marco también se efectuó la reconversión de un camión *Unimog* de la Base Marambio para ser utilizado con BioGOA (mezcla de biocombustibles y gas oil antártico). Las pruebas en el denominado Vehículo Experimental Ecológico (VEE) tuvieron un resultado inicial exitoso.

2.3.1 Proyecto FAS I EA 0030

El 1° de enero de 2015 ocho paneles fotovoltaicos con una potencia máxima de 1,92 kWp instalados en el techo de la Terminal de Pasajeros de la Base Marambio comenzaron a inyectar energía eléctrica directamente a la red de baja tensión (220 VCA) de la base. El emprendimiento es parte del proyecto FAS I EA 0030 de la Dirección General de Investigación y Desarrollo (DGID-FAA), y emergió a partir de un convenio firmado entre el arma, la Universidad Nacional de San Martín (UNSAM) y la Escuela de Ciencia y Tecnología de esa universidad, a la vez integrante del proyecto IRESUD (Interconexión de sistemas fotovoltaicos a la red eléctrica en ambientes urbanos). IRESUD Es un convenio asociativo público-privado, y se interesó en estudiar la factibilidad de instalación de paneles FV en la Antártida y evaluar el rendimiento en ese ambiente extremo. Los referentes del proyecto en el ámbito de la FAA son los ingenieros Eduardo J. Martins Do Vale, Jefe, y Ricardo Bolzi, y el suboficial principal Gustavo Alejandro Ferreyra como asistente.

La propuesta arranca en 2014 con la firma de un Convenio Marco entre autoridades de la DGID y la UNSAM con el objeto de la “realización conjunta de actividades de investigación, desarrollo y asistencia técnica vinculadas a los intereses de las partes” (MARTINS DO VALE, 2017, p.2). La cláusula segunda del Convenio Marco establece la firma de actas complementarias para acordar la realización de tareas conjuntas, con lo que surge el Plan de trabajo, los aportes a realizar por las Instituciones, los recursos económicos, las obligaciones y atribuciones.

Las actividades previstas se desarrollaron a fines de 2014. El equipo de trabajo se conformó con personal técnico de la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA), los ingenieros. Sebastián Muñoz y Hernán Socolovsky como miembros del Proyecto IRESUD; por parte de la DGID los citados ingenieros Eduardo Martins Do Vale, Jefe del Proyecto y Ricardo Bolzi, y el suboficial principal Alejandro Ferreyra, y colaboró

personal de dotación de la Base Marambio. Los paneles continúan produciendo energía en Marambio y son monitoreados por personal de las dotaciones anuales de la base.



Fig. 26: Paneles FV en la Terminal de Pasajeros de Base Marambio. Fuente: Autor, 2016.



Fig. 27: Instalación interna y monitoreo del sistema FV de la Terminal de Pasajeros Fuente: Ing. Eduardo Martins Do Vale, 2016.



Fig. 28: Limpieza de paneles tras una nevada. Fuente: Télam, 2016.

2.3.2 Resultados

En el mes de abril de 2016, luego de un año de registros, los técnicos del Proyecto IRESUD entregaron un informe de desempeño del sistema solar fotovoltaico conectado en la Base Marambio.

De su análisis se desprende en primera instancia que existe una buena relación entre la energía inyectada y la radiación solar anual (E/R). Se observa que dicha relación es un 9% mayor para el caso de la instalación de Marambio comparada con idéntica instalación en Buenos Aires, debido probablemente al hecho de que la eficiencia de los módulos fotovoltaicos aumenta en ambientes de bajas temperaturas.

De los registros del sistema de energía inyectada a la red a lo largo del año 2015 se obtuvo que la contribución total a lo largo de ese año fue de 1.720 kW. Se observa que solamente durante un periodo de aproximadamente cuatro meses (desde el 1° de mayo al 1° de Agosto) el sistema proporciona poca energía a la red debido a dos factores: la baja radiación solar que predomina en Marambio durante esos cuatro meses y la acumulación de nieve sobre los paneles solares. (MARTINS DO VALE, 2017, p. 3).

Como dato adicional, la instalación genera a lo largo de un año un 66% más de la energía que dicha instalación produciría en Buenos Aires, siendo este un valor alentador con vistas al aprovechamiento de la energía solar en las bases antárticas de latitudes similares o próximas a las de Marambio.

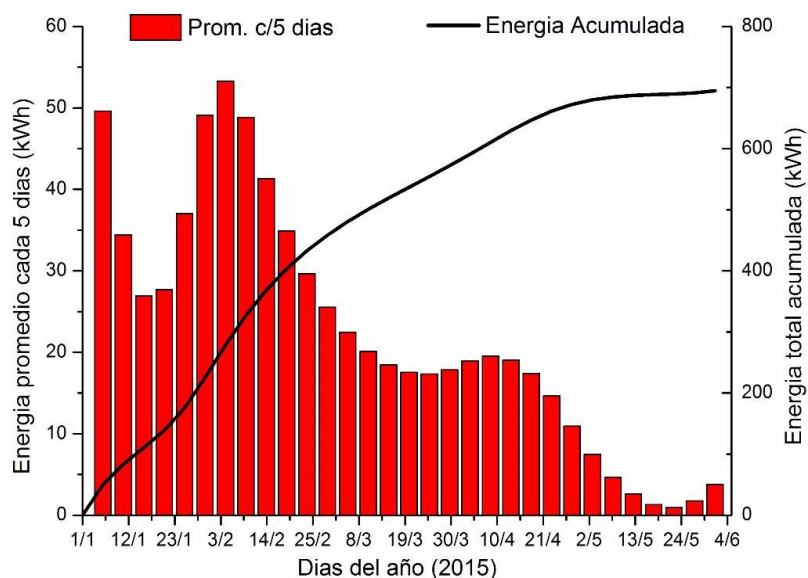


Fig. 29: Energía Promedio generada cada 5 días y el total de energía generado por la instalación piloto del 01/01/2015 al 01/06/2015. Fuente: DGID, 2016.

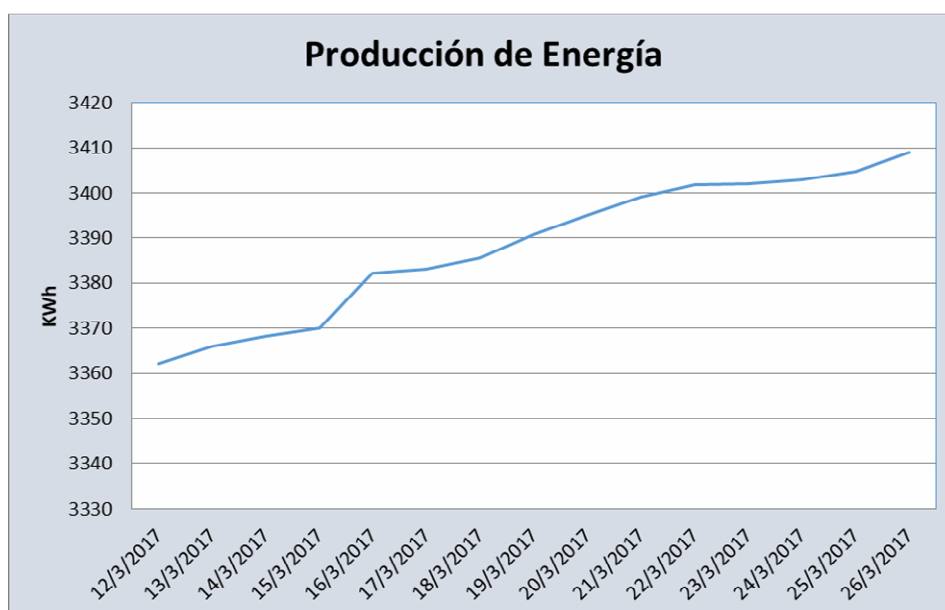


Fig. 30: Producción de energía de origen fotovoltaico. Fuente: DGID, 2016.

A mediados del año 2015, a pesar de no haber concluido la experiencia en Base Marambio, la Dirección Antártica del Ejército Argentino (EA) se puso en contacto con la DGID con el objeto de replicar la experiencia en la Base Esperanza, tras lo cual se firmó un acuerdo para la instalación piloto de un Sistema Fotovoltaico para inyectar energía eléctrica en la red de baja tensión de aquella base.

No obstante, en la actualidad, los proyectos de EE.RR. están demorados y en la Base Esperanza, como extensión del proyecto de la DGID, se hallan acopiados sin instalar diez paneles FV similares a los de Marambio.

2.3.4 Proyecto de Paneles Solares en Base Marambio

A partir de los resultados y registros efectuados en Marambio por el proyecto FAS I EA 0030, y a la necesidad de elaborar estrategias que contribuyan a la complementación de la matriz energética, se halla próximo a iniciar la ejecución de un proyecto de instalación de Paneles Solares en la Base Marambio, que a diferencia del proyecto FAS incluirá un banco de acumuladores (baterías). El sistema de generación y almacenamiento prevé una potencia máxima de operación de 20 kW, suficientes, en

principio, para alimentar al edificio del Pabellón Científico de la DNA y al sector de Comunicaciones, como primera fase para evaluar el desempeño.

Según el proyecto, se estima un ahorro cercano al 10 % de combustible durante los meses de verano. La empresa EXO, radicada en la República Argentina, proveerá el sistema y la instalación, cuyo financiamiento cuenta con el apoyo económico de la Provincia de Tierra del Fuego, Antártida e Islas del Atlántico Sur.

El Sistema de energía solar EXO está constituido por una matriz de paneles solares fotovoltaicos policristalinos de silicio, con una potencia unitaria de 250W, en tanto que el banco de baterías está formado por unidades de ciclo profundo de 800 y 1.600 Ah, que alimentan a una UPS (*Sistema de Energía Ininterrumpida*, análogo al utilizado en para las computadoras).

2.3.5 Experiencias en Base Matienzo, CAV 2018

Para la elaboración de esta sección se tomaron en cuenta las experiencias efectuadas por el autor con un sistema fotovoltaico autónomo de campaña y escala reducida, utilizado en la Base Matienzo durante la Campaña Antártica de Verano (CAV) 2018, desarrollada en los meses de enero y febrero, período en el cual el suscripto integró la dotación de dicha base.

Asimismo, en el Anexo “India” del Informe Final de Actividades, se incluye una *Propuesta de Laboratorio de fuentes alternativas de abastecimiento de energía al Informe Final de la Orden De Operaciones N° 01/18 “Matienzo” de la (ex) Dirección de Asuntos Antárticos (D.A.A.) – Campaña Antártica De Verano (C.A.V.)*¹⁹, se propone la creación de un LABERMAT (Laboratorio de Energías Renovables Matienzo), iniciativa en estudio y demorada por las discontinuidades de reapertura de esa base antártica²⁰.

Como se indicó en el capítulo I, la Base Antártica Matienzo presenta características de escala reducida, como ser su operación temporaria, su tamaño, capacidad de

¹⁹ Informe Final de la Orden de Operaciones N° 01/18 “Matienzo” – Dirección de Asuntos Antárticos - Fuerza Aérea Argentina – Campaña Antártica de Verano (CAV) 2017-2018.

²⁰ Durante la CAV 2018/19 la Base Matienzo no fue reabierto por razones presupuestarias.

alojamiento, consumo energético; mejor eficiencia térmica en la casa alojamiento (debido a su construcción y revestimiento interno en madera) entre otras, que permiten ser empleadas como un elemento experimental para el uso de energías renovables.

2.3.5 Sinopsis de la experiencia en Matienzo²¹

- a) Como experiencia piloto preliminar, y a efectos de demostrar la factibilidad de lo propuesto, durante la CAV 2018 personal de la dotación de Matienzo trasladó para uso temporal, instaló y utilizó un sistema reducido de energía solar fotovoltaica con resultados promisorios.
- b) Las características básicas del sistema utilizado fueron: módulo panel solar fotovoltaico policristalino, potencia nominal 20W (12V – 1,16A), con temperatura de operación mínima de -40 °C; un regulador de tensión con carga máxima de 5A para sistema fotovoltaico, con salidas de 12V para consumo y USB para carga de dispositivos móviles. El sistema descrito es extrainstitucional.
- c) Se adicionaron dos paneles solares de 12V 30W cada uno, desmontados de la Torre Este, pertenecientes a equipamiento de monitoreo remoto de la DNA.
- d) Los tres paneles se instalaron en el techo de la Sala de COM – MET, en configuración paralelo, lo que permitió disponer de mayor capacidad de generación de corriente para cargar baterías y dispositivos.
- e) Una vez entregados los paneles solicitados por la DNA, se vio reducida la capacidad de generación eléctrica. No obstante, hasta el desmontaje del sistema fotovoltaico, el sistema se mantuvo operativo durante todos los días (aún con cielo nublado y nevadas, desde luego con generación eléctrica atenuada por la menor irradiación solar) permitiendo la carga de baterías de 12V utilizadas en

²¹ BENAVENTE, J. C. (2018), *Anexo “India”*, en: *Informe Final de la Orden de Operaciones N° 01/18 “Matienzo”* – Dirección de Asuntos Antárticos - Fuerza Aérea Argentina – Campaña Antártica de Verano (CAV) 2017-2018.

Comunicaciones y en luminaria general, como así también la carga de baterías de dispositivos portátiles.

f) Períodos diarios promedio de uso de paneles para generación (aproximado):

Mes de enero: Hasta las 23 Hs.

Mes de febrero: Hasta 21 hs.

g) La Base Matienzo cuenta con una instalación eléctrica de 12 V, circunscripta a tres ambientes y con prestaciones mínimas: 1) Sala COM-MET-ELECT: Luminaria compuesta de dos tubos fluorescentes y tendido de alimentación de 12V para el equipamiento de radio en la zona de COM. En el sector de Electricidad, personal de la dotación 2018 adicionó un tubo fluorescente para el Taller homónimo y una extensión del tendido para alimentación de baterías; 2) Salón de Usos Múltiples (Comedor): Luminaria de 12V (dos tubos) ubicados en techo; 3) Cocina: Luminaria de 12V (un tubo) ubicado en techo. La alimentación de 12V del Salón y de la Cocina es independiente de COM, y el tendido se conecta a una batería localizada en la pared lado NORTE del Salón.



Fig. 31: Detalle panel FV en Matienzo. Fuente: Autor, 2018.



Fig. 32: Paneles FV provisionarios en Matienzo. Fuente: Autor, 2018.

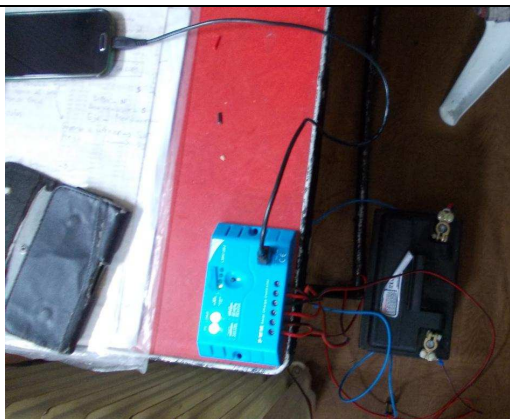


Fig. 33: Regulador de carga de batería y dispositivos con puerto USB. Fuente: Autor, 2018.



Fig. 34: Bateria para alimentación de luminaria. Fuente: Autor, 2018.

III. FACTIBILIDAD DE USO DE PANELES FV. PROPUESTA

3.1 Introducción

La energía está en el centro de todos los sistemas ecológicos y tecnológicos, y prácticamente toda la energía que se utiliza en el planeta proviene originalmente del Sol. Desestimando pequeñas variaciones de la temperatura media, la cantidad de calor recibida del Sol en forma de radiación es aproximadamente $1,5 \times 10^{15}$ kW/h²², es decir, unas 35.000 veces la energía consumida por la actividad humana (Dickson, 1985, p. 91). De acuerdo a una estima más reciente²³, para el año 2020 la demanda global de energía eléctrica de toda la civilización humana del planeta ascenderá a 20 tW (tW, *terawatts* o *teravatios*; un teravatio equivale a un billón de vatios). También, cabe mencionar que la energía del sol es absorbida por la Tierra de diferentes modos:

- a) Absorción por la atmósfera y partes cubiertas de agua; que es la energía que posibilita los movimientos del aire y del agua (evaporación, lluvias, desplazamientos hacia masas de agua; olas y corrientes oceánicas).
- b) Absorción por la biosfera; plantas (fotosíntesis) y animales.
- c) Absorción y concentración en la litosfera, ocurrida millones de años atrás, actualmente en forma de energía termal, química y nuclear. Además, una porción se encuentra almacenada en forma de combustibles fósiles, formados durante largos períodos de tiempo por la descomposición de materia orgánica. La energía almacenada en la litosfera no es renovable (*Ib.*, p. 92).

²² kW/h: kilowatts/hora. El watts (o vatio en español) es la unidad de medida de la potencia eléctrica, expresada por la relación $P = V \times I$; en donde V es la tensión eléctrica medida en volts, e I es la intensidad de la corriente medida en amperes. El kW corresponde a 1.000 watts o vatios.

²³ Entrevista realizada en 2009 al Dr. Eicke Weber, director del Instituto Fraunhofer para Sistemas de Energía Solar en Friburgo, Alemania. Fuente: Nacional Geographic, Vol. 25, Num. 3, septiembre de 2009.

El uso de combustibles fósiles para la producción de energía plantea varios problemas que afectan al clima global, pero además, fundamentalmente, problemas de orden termodinámico.

Una moderna sociedad industrial puede ser considerada como una compleja máquina para la degradación de energía de alta calidad en calor de desecho al tiempo que extrae energía para crear un enorme catálogo de bienes y servicios (...). Por razones termodinámicas, el despilfarro de calor es el resultado inevitable de la obtención de energía a partir de los combustibles fósiles, lo que puede suponer importantes problemas ecológicos. (...) Una ventaja adicional de los esquemas energéticos que utilizan la energía del viento o la solar recogida en la superficie de la tierra consiste en que, a diferencia de la utilización de combustibles fósiles, dichos esquemas no añaden ningún tipo de carga calorífica a la biosfera terrestre, puesto que no existe ningún calor de desecho implicado en los procesos primarios de conversión de energía (*Ib.*, p.93).

Para los países y regiones con un nivel importante de radiación solar, la posibilidad de conversión presenta a largo plazo una alternativa respecto del uso de combustibles fósiles.

En la Antártida la situación es compatible con la afirmación anterior, pero considerando en primer lugar la latitud de la estación en la que se pretende realizar la instalación, dado que, como se sabe, por debajo del Círculo Polar Antártico ($66^{\circ} 33' 46''$) es más acentuada la amplitud diurna o nocturna de acuerdo a las estaciones del año. Tanto en las bases Marambio como Matienzo no existen períodos de “noches cerradas” durante meses o sus antagónicos durante el verano. En cambio, se verifica durante el verano una duración del día muy extensa; la “noche” de verano, en el período más acentuado, corresponde a un crepúsculo que dura pocas horas.

3.2 Evaluación de las condiciones generales del lugar

Una de las características especiales que presenta el clima de la Antártida es la magnitud de la energía solar incidente. De acuerdo a documentación consultada, durante el verano austral es mayor la radiación solar recibida en la zona polar que la recibida por un período equivalente en las regiones tropicales.

Desde luego, toda instalación debe considerar las características del lugar y dentro de ellas, las variables meteorológicas son imprescindibles para planificar una intervención, más aún tratándose de un ambiente extremo como la Antártida, y de una base temporal. Respecto de la estación Matienzo, conviene tener presente información climatológica estadística para considerar y evaluar los requerimientos del sistema fotovoltaico.

Temperatura media anual: -11,6 °C

Nubosidad media anual: 5,3 octavos²⁴

Nubosidad media mensual (enero y febrero): 6,6 octavos

Días totalmente cubiertos: 51 %

Días parcialmente cubiertos: 39 %

Días despejados (cielo claro): 10 %

Fig. 35: Información climatológica básica. Datos tomados de FONTANA *et al.*, 1983, p.108.

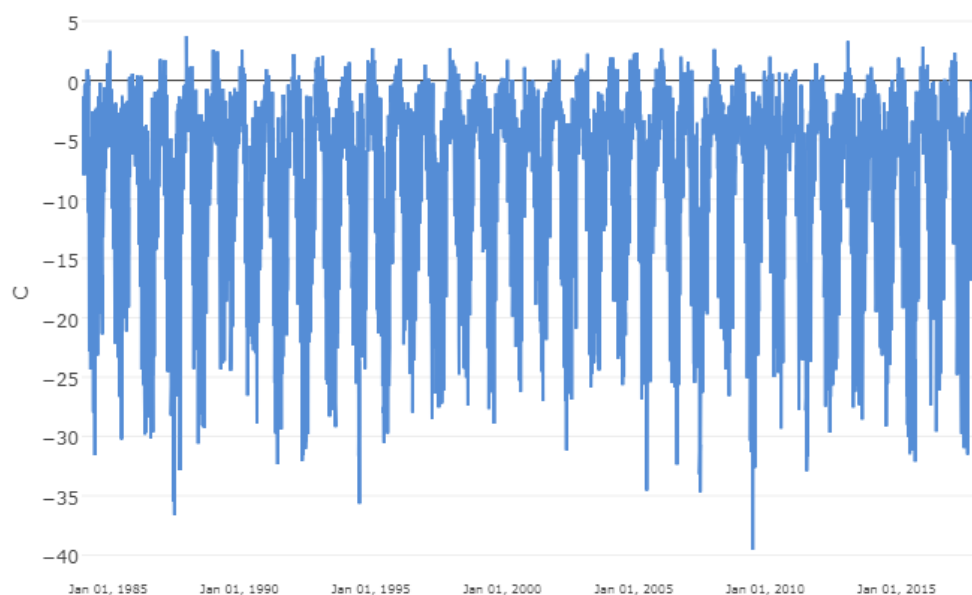


Fig. 36: Variación de la temperatura en Base Matienzo en el período 1985-2015. Fuente: POWER – Data Access Viewer, 2018

²⁴ La cantidad de nubes que cubren el cielo se informa en octavos. Por ejemplo, cielo totalmente cubierto se informa 8/8; mitad del cielo cubierto se informa 4/8; nubosidad mínima, 1/8.

3.2.1 La irradiación solar en Base Matienzo

Entre los parámetros que se consideran usualmente para una instalación solar está el HPS, u *horas de pico solar* que corresponden a las horas de irradiación diarias (u horas de luz), cuyo valor puede oscilar entre 3 y 7 horas, aunque esto depende de la época del año y del lugar (latitud) de la instalación. Tratándose de una región como en la que está Matienzo, y considerando que el sistema FV se utilizará durante el verano, la *irradiancia* a lo largo del día tendrá un valor de horas pico superior al de otras zonas. Por *Irradiancia* (PAREJA APARICIO, 2010, p.63) se entiende al flujo de irradiación solar que incide sobre una unidad de superficie y se mide en kilovatios por metro cuadrado (kW/m^2).

Otro parámetro a considerar es el de *irradiación* (*Ib.*, p.64), definido como la energía incidente en una unidad de superficie durante un período de tiempo, cuya unidad es el kilovatio-hora por metro cuadrado (kWh/m^2). Para obtener los valores de irradiación existen bases de datos de alcance mundial en línea, una de ellas es la PVGIS (*Photovoltaic Geographical Information System*), de uso extendido, que además se utiliza para obtener valores promedios de producción fotovoltaica. Lamentablemente esta herramienta no tiene cargados datos estadísticos sobre el continente antártico.

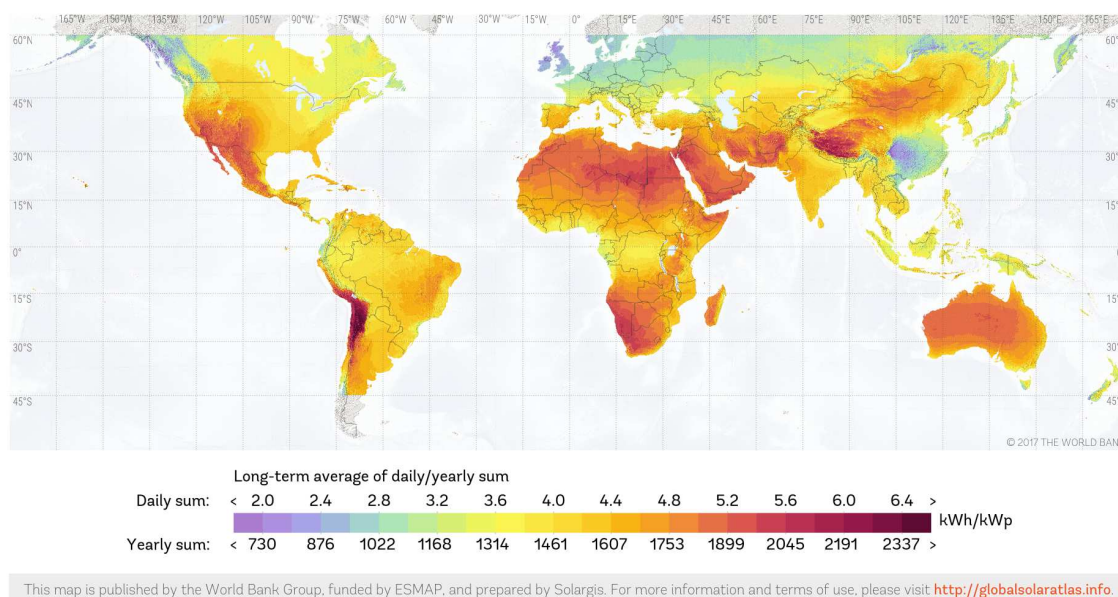


Fig. 37: Mapa de recursos solares - Potencial Energético Fotovoltaico. No está incluido el continente antártico. Fuente: <http://globalsolaratlas.info>, 2018.

Por fortuna, existen otras aplicaciones que permiten disponer de esa información. Para este estudio se utilizó la herramienta del Visor de Acceso a Datos (*Data Access Viewer*) del *POWER Project Data Sets*²⁵ un desarrollo de la NASA disponible en línea (<https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>), que ofrece un abanico de parámetros graficados para determinados períodos de tiempo, programables una vez que se introducen las coordenadas geográficas del sitio de interés, y que brinda información pertinente para desarrollos de sistemas de EE.RR.

Los gráficos incluidos debajo ilustran información estadística sobre parámetros solares y meteorológicos correspondientes a las coordenadas geográficas de la Base Matienzo, necesarios para analizar la factibilidad de instrumentación de un sistema FV en el lugar.

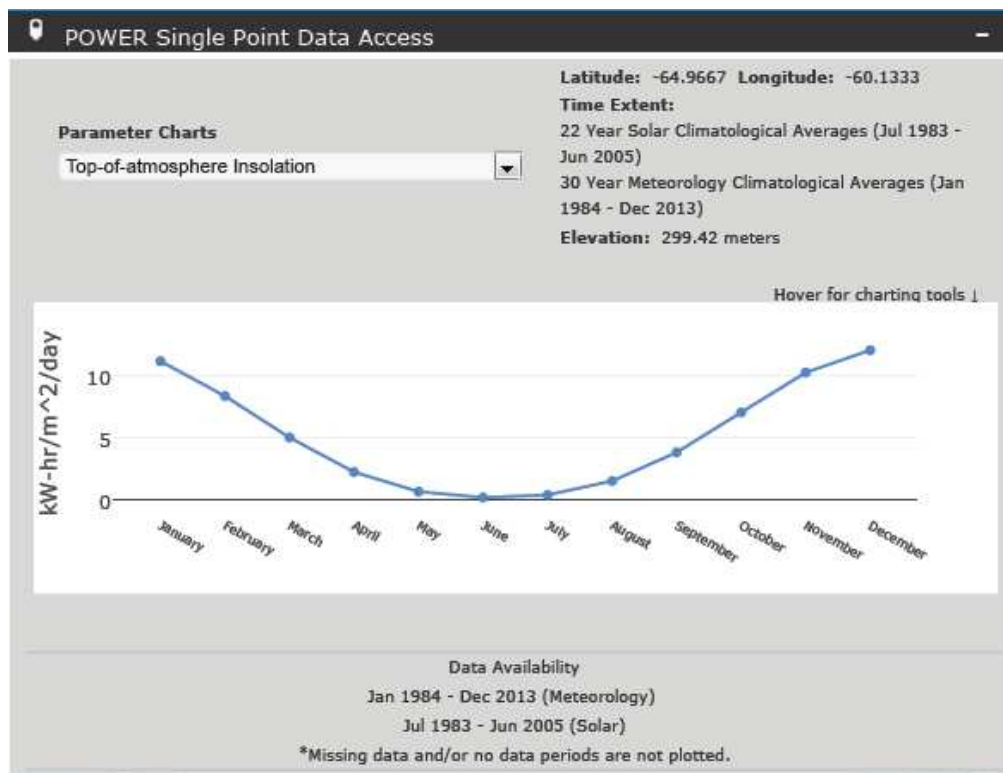


Fig. 38: Irradiación promedio, período 1983-2005. Se observa en el período comprendido entre los meses de noviembre a febrero una cantidad de irradiación solar media favorable para sistemas FV. Fuente: POWER – Data Access Viewer, 2018.

²⁵ POWER (*Prediction of Worldwide Energy Resource*), es un proyecto del Programa de Ciencias Aplicadas de la Tierra de la NASA (*NASA Earth Science's Applied Sciences Program*) que proporciona información meteorológica y solar útil para desarrollos de sistemas de energía renovables, edificios eficientes energéticamente y necesidades de la agricultura.

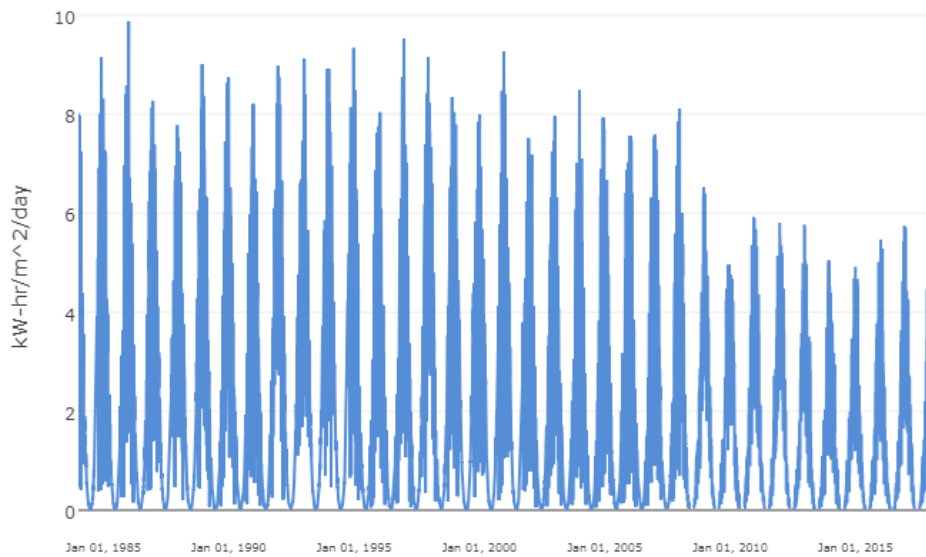


Fig. 39: Irradiación promedio para el mes de enero, en el período 1985-2015. Se observa en la envolvente un ligero decaimiento a partir de 2005, con valores descendentes más acentuados (6 kW-h/m² o menores) a partir de 2010. Fuente: POWER – Data Access Viewer, 2018.

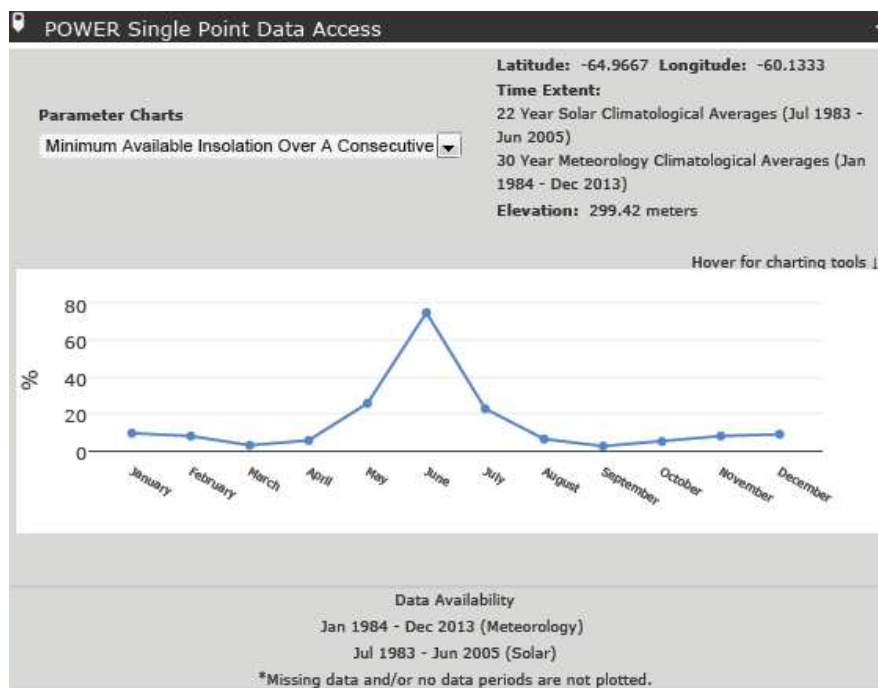


Fig. 40: Valores mínimos promedios de insolación en el período 1983-2005. En el lapso mayo- agosto, con un pico acentuado en el mes de junio, se observa una caída importante de insolación, producto del invierno austral. Fuente: POWER – Data Access Viewer, 2018.

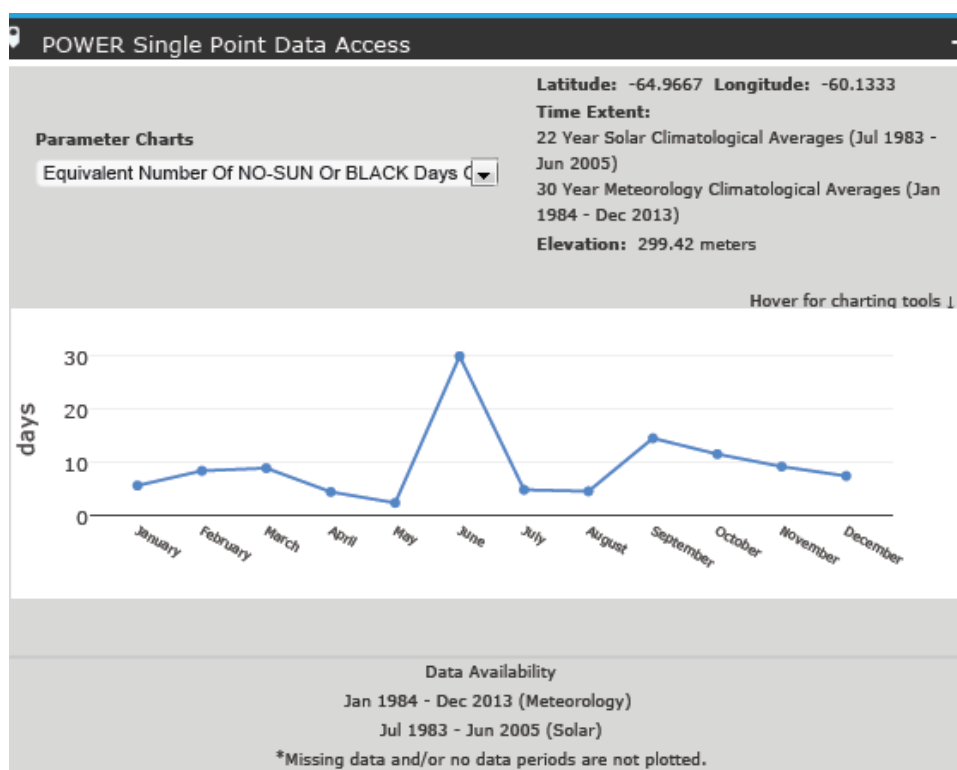


Fig. 41: Días con escasa luz solar, 1983-2005. Ver gráfico anterior. Fuente: POWER – Data Access Viewer, 2018.

Los datos estadísticos anteriores, junto a información precedente tratada, permiten inferir que:

- El período usual de reapertura de la base (enero-febrero), pleno verano austral, está incluido en el período de máxima insolación, comprendido entre los meses de noviembre a febrero, con valores de irradiación superiores a 10 kW-h/m^2 .
- De acuerdo a lo informado en los resultados preliminares de la generación fotovoltaica instalada en Marambio, durante este período la generación eléctrica es en promedio superior a una misma instalación FV localizada en Buenos Aires para el mismo período.

3.3 Sistema FV sugerido y sitios de emplazamiento de paneles solares

Para la propuesta básica que acompaña a este análisis de factibilidad, se sugiere instalar los paneles sobre dos techos planos de la casa-alojamiento principal, correspondientes a los sectores del derretidor de nieve y de comunicaciones (COM).

Los paneles se deberán montar en soportes metálicos fijos a los techos, que permitirán su instalación y desarmado rápido durante cada reapertura de la base, preservando así la vida útil de los mismos dado su resguardo de la intemperie durante los períodos en que la base está cerrada.

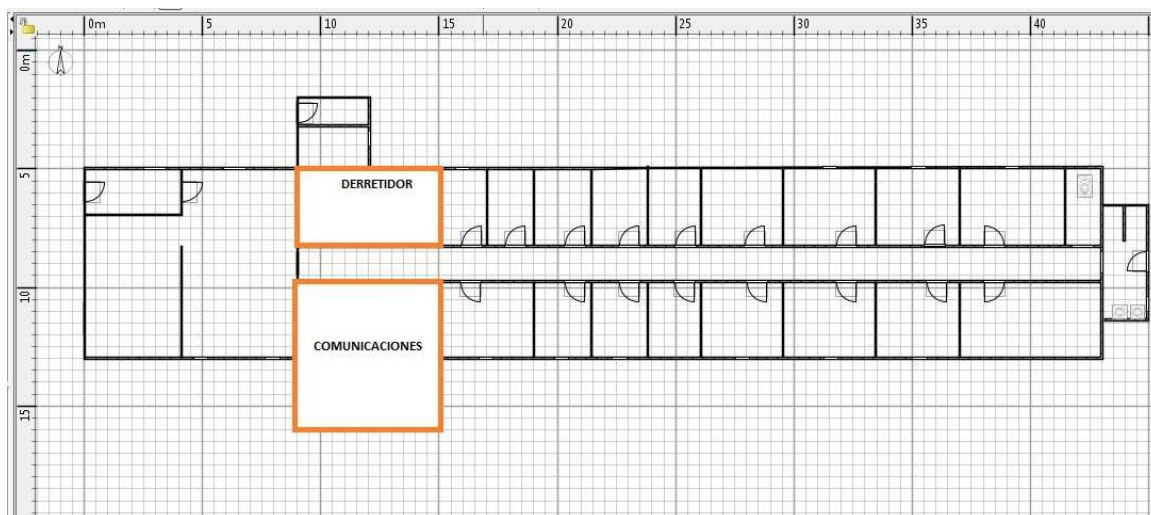


Fig. 42: Plano de la Casa-Alojamiento de Matienzo. Los recuadros de contorno naranja indican las superficies a instalar paneles FV en una primera etapa. Fuente: Lic. Martín Díaz – COCOANTAR, 2019, modificado por autor.





Fig. 43 y 44: Techo sector comunicaciones y techo del derretidor propuestos para ubicación de paneles FV. Fuente: Autor, 2018.

La arquitectura funcional del sistema FV autónomo analizado para Matienzo comprende:

- a) Dos conjuntos (*arrays*) de paneles FV policristalinos de silicio, capaces de soportar temperaturas mínimas de trabajo de -40°C (sustancialmente menores a las registrada en la zona durante el verano).
- b) Un sistema de regulación de consumo y carga, capaz de administrar una potencia eléctrica superior a 3 kW.
- c) Un conjunto de baterías de electrolito gelificado (gel), de ciclo profundo, capaces de trabajar en condiciones de bajas temperaturas (aún estando dentro de alojamientos).
- d) Un inversor estático, para convertir la CC²⁶ de los paneles en CA, capaz de inyectar energía a la red, con o sin operación del GEL.

El esquema inferior ilustra lo expuesto. Vale aclarar que instalaciones de este tipo, en algunos casos con manejos menores de potencia eléctrica, son usuales en embarcaciones, viviendas rurales y *casas rodantes/motorhome*.

²⁶ CC: Corriente continua, tipo de energía proporcionada por sistemas FV, baterías y pilas. CA: Corriente alterna, la de generación, distribución y uso en la red.

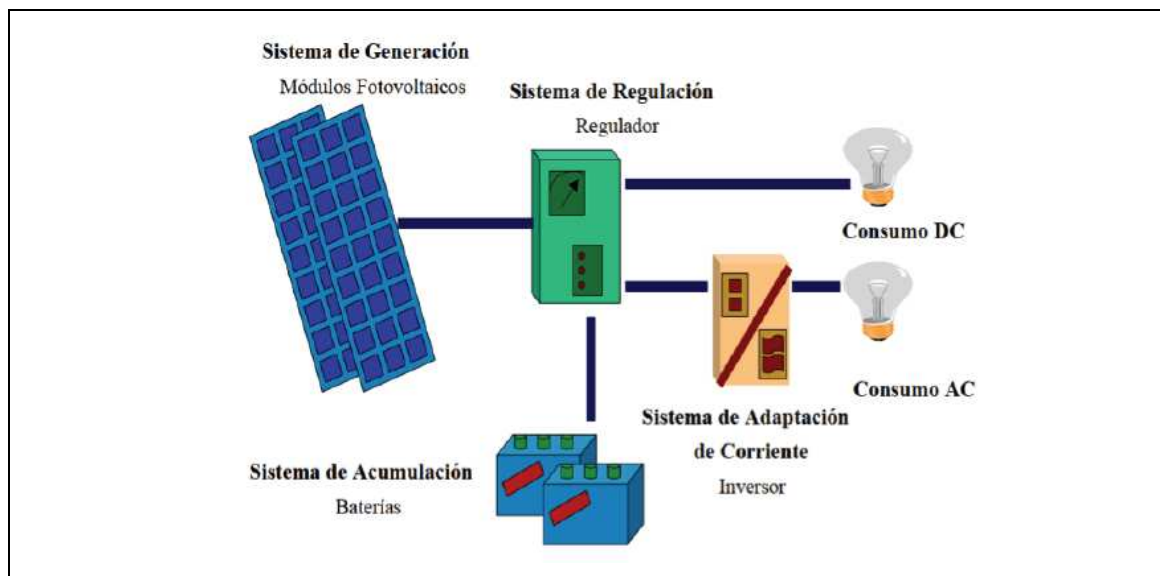


Fig. 45: Esquema básico de generación solar FV autónoma. Fuente: Lorenzo, J.A.A. (2018), *Manual para instalaciones fotovoltaicas autónomas*, Sunfields Europe, Coruña, <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/objetos/tutorial194.pdf>

En relación con los impactos y daños ambientales potenciales de ocurrir con la instalación fotovoltaica de Matienzo, conviene indicar que son escasos o no relevantes, dado que la propuesta de intervención implica:

- Los paneles no se ubicarán sobre el terreno volcánico del *nunatak*, sino sobre los techos de dos sectores de un edificio (casa-alojamiento) existente.
- Por la misma razón y por el tamaño de la infraestructura, el impacto visual será mínimo. Se resalta que una vez finalizada la campaña y la reapertura de la base, los paneles se desmontarán y resguardarán de la intemperie.
- El manipuleo, uso y operación de baterías utilizadas por el sistema fotovoltaico, seguirá un protocolo elaborado por la División Gestión Ambiental del organismo que tiene responsabilidad en la base (COCOANTAR). Las personas designadas para operar la base en cada reapertura, serán capacitadas en este asunto durante su preparación preantártica.

3.3.1 Estima de la energía eléctrica generada con paneles de bajo costo similares a los experimentados

Durante la experiencia 2018 se utilizó el panel fotovoltaico EC-20W-12 de 20 w de potencia de generación, constituido a base de celdas policristalinas de silicio. Las dimensiones del módulo son 520 mm x 360 mm. En relación con los otros dos módulos, poseían una potencia ligeramente mayor (30W) pero para el cálculo se tomará el modelo de 20 w.

Lugar	Superficie (m ²)	Generación aproximada (kW)
Techo COM	13.5	1,44
Techo derretidor	7.7	0,82
Total	21.2	2,26

La instalación permitiría obtener una capacidad de generación superior a los dos kilowatts de potencia sólo en un sector acotado de la base. De acuerdo a las últimas experiencias de reaperturas de verano, con las instalaciones actuales (es decir, con luminaria y equipos menos eficientes energéticamente) la capacidad de generación de energía eléctrica suficiente para satisfacer las necesidades de la base oscila entre 3 y 4 kW. Es decir, trabajando también en la dimensión del consumo racional y eficiente de la energía junto a la mejora en instalaciones y dispositivos, con la propuesta piloto de paneles FV se estaría cubriendo al menos el 50 % del consumo energético diario, con la posibilidad, además, de disponer de energía eléctrica todo el día, a diferencia de las prácticas habituales de encendido del generador durante 5 o 6 hs diarias.

3.3.2 Estima de la potencia eléctrica generada por paneles FV con mejor eficiencia

Para el cálculo siguiente, se considerarán paneles solares modelo AS-6P30, de 250 w de potencia eléctrica, a base también de celdas policristalinas de silicio, cuyas dimensiones por módulo y para el cálculo de la superficie a cubrir, son de 1664 mm de ancho y 992 mm de alto.

Lugar	Superficie (m ²)	Generación aproximada (kW)
Techo COM	13.5	2
Techo derretidor	7.7	1
Total	21.2	3

Comunicaciones: Se pueden instalar ocho paneles fotovoltaicos; con una potencia de generación de 250 w cada uno, el total generado asciende a 2 kW.

Derretidor: Se pueden instalar cuatro paneles, lo que permitirá obtener 1 kW de energía generada.

IV. EVALUACIÓN DE ASPECTOS AMBIENTALES POSITIVOS COMPLEMENTANDO LA MATRIZ ENERGÉTICA

4.1 Conclusiones

Tal lo indagado y expuesto en el primer capítulo de este estudio, el esfuerzo logístico que realiza el Estado Nacional a través de sus organismos (y el esfuerzo de los recursos humanos que operan en la Antártida) para reabastecer a las bases antárticas, junto a los impactos ambientales asociados al uso masivo de combustibles fósiles para la generación de energía y a las tecnologías y procesos asociados al transporte, manejo y almacenamiento de los combustibles, requieren de la pronta elaboración y ejecución de programas y proyectos de intervención que gradualmente contribuyan a complementar la matriz energética utilizada en la región. Sin olvidar, claro está, los compromisos internacionales asumidos por el país:

Se debe recordar que en los principios ambientales establecidos en el artículo 3 del Protocolo al Tratado Antártico se establece que “las actividades en el área del Tratado Antártico serán planificadas y realizadas de la manera que se limite el impacto perjudicial sobre el medio ambiente antártico y los ecosistemas dependientes y asociados”. Así también el *Council of Managers of National Antarctic Programs* (COMNAP) ha establecido las recomendaciones para los procedimientos de abastecimiento de combustible, así como para los planes de contingencias ante derrames de hidrocarburos y para la prevención de derrames y el almacenamiento de combustibles en las Estaciones y Bases Antárticas. (DÍAZ, 2018, p.3).

La Fuerza Aérea Argentina, como institución fundante de las bases Matienzo y Marambio, responsable y operadora de ambas hasta la constitución permanente del Comando Conjunto Antártico, ha implementado acciones para mejorar las condiciones de seguridad en el trabajo, prevenir y minimizar impactos ambientales producto del manejo de combustibles, y tiene al momento un pequeño sistema FV funcionado en Marambio, que permitió contar con un registro de producción de energía solar fotovoltaica en la zona. Por la escala de la Base Marambio, ese sistema FV si bien es alentador y constituye una prueba efectiva de la factibilidad de uso de EE.RR., no alcanza a cubrir el 0,1 % del requerimiento energético de la base.

Por ende, es necesario desarrollar proyectos de escala superiores para las bases de mayor infraestructura, tránsito y habitantes (Marambio y Esperanza) y otros de menor escala para campamentos y bases temporales y permanentes más reducidas, para que en ambos casos, exista una hibridación gradual en la matriz energética.

En ese marco, y a partir de la experiencia de campo recogida por el autor durante la Campaña Antártica de Verano en Base Matienzo, se pone en consideración este estudio, que involucra también, además de un análisis de situación y factibilidad, una propuesta económica y viable para implementar en estaciones antárticas de baja escala. Es deseable, además, que éste u otros trabajos puedan generar proyectos de intervención concreta en el corto plazo. De hecho, la iniciativa de Paneles Solares de Marambio, más importante y de mayor escala, surgió en 2018 *ex post* la pequeña experiencia de Matienzo y la presentación del informe del LABERMAT.

El desarrollo e implementación de proyectos e iniciativas que complementen las matrices energéticas de las bases antárticas es coherente con la política internacional de cuidado y preservación del ambiente, explicitadas en el Protocolo de Madrid y suscriptas por Argentina, así como también el caso particular de la reducción de residuos, la reducción de gases de efecto invernadero promovidos para la región, y con la necesidad nacional de reformular el esfuerzo logístico desplegado en la Antártida.

No obstante ello, es imprescindible trabajar más sobre el consumo racional de la energía eléctrica en las bases, en sincronía con una adecuación tecnológica que permita reducir todo lo posible el consumo energético. Sólo operando en esas tres dimensiones – hibridación de la matriz; racionalización y adecuación tecnológica- será posible obtener resultados eficaces, visibles y satisfactorios en el corto y mediano plazo.

Así, el sistema propuesto para Matienzo en el capítulo III, requerirá necesariamente de un cambio total de la luminaria de la base (tubos fluorescentes y lámparas de gas ionizado) a tecnologías basadas en semiconductores (LEDs), al mismo tiempo que se mantiene y mejora la infraestructura de la base para mejorar la eficiencia térmica en el alojamiento. Del mismo modo, es necesario reemplazar todas las estufas eléctricas por calefactores cerámicos (o de otra tecnología) de menor consumo, más seguros y eficientes.

Es vital, además, poder complementar las iniciativas de EE.RR (solar, eólica) con estudios por caso para aprovechar otras, por ejemplo, para reutilizar parte de la energía calórica producto del escape de los generadores eléctricos para la calefacción de la Usina-Taller.

El uso de paneles solares fotovoltaicos, al menos en los meses de verano y teniendo en cuenta la escala de la base Matienzo, el consumo eléctrico y la necesidad de complementar el uso de GEL alimentados con combustible fósil, es factible, oportuno, eficiente y económico.

Todo ello redundaría en ahorro de combustible y gas, y consecuentemente, reducirá el esfuerzo logístico requerido y los impactos ambientales asociados. Por ejemplo, y concretamente en el caso de estudio, una generación fotovoltaica que cubra el 50 % del requerimiento energético de la base tendría un impacto positivo de reducción de quema de combustible, sólo para el período de reapertura temporal de la base, de cerca de 1.000 litros de GOA, y consecuentemente, la reducción del esfuerzo de transporte en toda la cadena logística. Si este sistema se replicaría en otras bases y campamentos, existiría una reducción visible de varios miles de litros de combustible al año. De igual forma permitiría consolidar la idea de que el Ministerio de Defensa, a través de las FF.AA., puede contribuir con aportes desde la investigación aplicada y no sólo circunscribir su competencia al apoyo logístico de la actividad científica, habida cuenta, además, de la historia y operaciones que desde 1904 desarrolla de manera continua en la región.

Por otro lado, es imprescindible para lograr los objetivos estratégicos mencionados en la primera parte de estas conclusiones, que las FF:AA. y el Comando Conjunto Antártico —organismo responsable de la coordinación y ejecución del soporte logístico y de las bases y refugios antárticos—, junto con la Dirección Nacional del Antártico, profundicen el trabajo conjunto en EE.RR. e inicien un giro actitudinal de apertura para sumar iniciativas, estudios y esfuerzos de las UU.NN. y organismos públicos y privados relacionados con energías alternativas y desarrollos tecnológicos.

En ese sentido, este trabajo asumió el compromiso de analizar, experimentar y proponer una solución perfectible, pero factible y oportuna, que no sólo podría implementarse en la Base Matienzo, sino adecuarse a otras estaciones antárticas de baja escala. De ese modo, el autor, como integrante de una Universidad Pública y con el adicional de

desempeñar funciones en la Antártida, entrega este estudio como contribución para su análisis y evaluación de factibilidad con la vocación de efectuar un aporte para la mejora de las acciones argentinas en la Antártida y una reducción de los impactos ambientales asociados.

Bibliografía y fuentes de consulta

- AUBERT, C., et al. (2008), *El Atlas del Medioambiente de Le Monde Diplomatique*, Buenos Aires, Capital Intelectual.
- BENAVENTE, J. C., (2018), *Informe Experiencia Energía Solar Fotovoltaica en Base Matienzo*, (no publicado), DAA – FAA, Antártida.
- CADENA, C., (2014), *La generación de energía solar fotovoltaica en Salta: Un desafío para el crecimiento*, Energías Renovables y Medio Ambiente, ASADES, Buenos Aires, disponible en: <http://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/4940>, Recuperado el 20-4-2018.
- CADENA, C., OTTAVIANELLI, E. E.; *Inclusión de indicadores sociales en el análisis de requerimientos energéticos. El caso de la provincia de Salta*; ASADES; AVERMA; 17; 11-2013; 801-810, Disponible en: http://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/1491/2013-ASADES_indicadores.pdf?sequence=1&isAllowed=y, Recuperado el 8-5-2018.
- CAPDEVILA, R. y COMERCI, S., (2013), *Los tiempos de la Antártida: Historia antártica argentina*, Ushuaia, Editora Cltural de TdF.
- CHRISTO, T. M. de, (2012), *Uma proposta de matriz energética para a Estação Antártica Comandante Ferraz: uma experiência aplicável à novas edificações*, Universidad Federal de Espírito Santo, Espírito Santo.
- DÍAZ, M., (2018), *Proyecto de Paneles Solares para Base Marambio*, (no publicado), COCOANTAR, Buenos Aires.
- DÍAZ, M., (2008), *Situación Ambiental de la Base Marambio 1998-2008. Diez años de Gestión Ambiental Antártica*, Buenos Aires, XIX RAPAL.
- DICKSON, D. (1985), *Tecnología alternativa*, Madrid, Ediciones Orbis S.A.
- FONTANA, L. R., (Coordinador), (1983), *Atlas enciclopédico antártico argentino*, Buenos Aires, DNA.
- FONTANA, P. (2014), *La pugna antártica. El conflicto por el sexto continente 1939-1959*, Buenos Aires, Guazuvirá Ediciones.
- KWIATKOWSKA, T. & ISSA, J., (Comps.) (1998). *Los caminos de la ética ambiental. Una antología de textos contemporáneos*. México D. F. Plaza y Valdés.
- LEY N° 23.775, *Provincialización del actual Territorio Nacional de la Tierra del Fuego, Antártida e Islas del Atlántico Sur*, Sancionada: Abril 26 de 1990, Promulgada Parcialmente: Mayo 10 de 1990. Disponible en: <http://servicios.infoleg.gob.ar/infolegInternet/anexos/0-4999/176/texact.htm>, consultada el 13-5-2018.
- MARTINS DO VALE, E. J., (2017), *Estado de Actividades Relacionadas con la Energía Solar Fotovoltaica en Base Marambio*, Buenos Aires, Memorando DGID – FAA no publicado.
- OTTAVIANELLI, E. E., IBARRA, M., CADENA, C., (2013); *Uso de indicadores sociales en estudios de factibilidad de instalación de sistemas solares para generación de electricidad en zonas rurales de la provincia de Salta*; ASADES; AVERMA; 17; 9-2013; 1221-1226, Disponible en:

<http://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/1511/2013->

[ASADES FACTIB.pdf?sequence=1&isAllowed=y">ASADES FACTIB.pdf?sequence=1&isAllowed=y](#) Recuperado el 8-5-2018.

PAREJA APARICIO, M., (2010), *Energía Solar Fotovoltaica. Cálculo de una Instalación aislada*, Barcelona, Marcombo.

SÁNCHEZ, R., (2007), *Antártida: Introducción a un continente remoto*, Buenos Aires, Albatros.

STA (2017), *Compilación de documentos fundamentales del Sistema del Tratado Antártico*, Buenos Aires, STA. Disponible en: https://documents.ats.aq/atcm40/ww/ATCM40_ww014_s.pdf, recuperado el: 26-2-2019.

TAYLOR, S. J., BOGDAN, R. (1994). *Introducción a los métodos cualitativos de investigación*. Barcelona. Ediciones Paidós.

THOMAS, H., SANTOS, G. M., (2016), *Tecnologías para incluir. Ocho análisis socio-técnicos orientados al diseño estratégico de artefactos y equipos*, Carapachay, Buenos Aires, Lenguaje Claro Editora.

Sitios de Internet consultados:

Dirección de Asuntos Antárticos – FAA: www.daa.faa.mil.ar

Dirección Nacional del Antártico: www.dna.gob.ar

Fundación Marambio: www.marambio.aq

Sistema del Tratado Antártico: www.ats.aq

Índice

Agradecimientos	2
Resumen	3
Introducción	4
Capítulo I	
La Antártida, Situación	
1.1 Presentación	9
1.2 La ocupación formal argentina	9
1.3 Administración actual. Sistema del Tratado Antártico	10
1.4 Científicos y FF.AA.	13
1.5 La base Marambio	16
1.6 La base Matienzo	18
1.7 Generación de energía eléctrica en las bases. Impactos.	21
1.7.1 Aspectos ambientales negativos en Marambio	26
1.7.2 La usina de Base Matienzo. Consumos.	29
Capítulo II	
Experiencias con Energía Solar Fotovoltaica (ESFV) en la Antártida	
2.1 Preliminar	32
2.2 Energías limpias en la Antártida	32
2.3 Las EE:RR: en las bases argentinas	35
2.3.1 Proyecto FAS I EA 0030	36
2.3.2 Resultados	37
2.3.4 Proyecto de Paneles Solares en Base Marambio	39
2.3.5 Experiencias en Base Matienzo, CAV 2018	40
2.3.5 Sinopsis de la experiencia en Matienzo	41
Capítulo III	
Factibilidad de uso de ESFV en Base Matienzo. Propuesta piloto	
3.1 Introducción	44
3.2 Evaluación de las condiciones generales del lugar	45
3.2.1 La irradiación solar en Base Matienzo	47
3.3 Sistema FV sugerido y sitios de emplazamiento de paneles solares	50
3.3.1 Estima de la energía eléctrica generada con paneles de bajo costo	53
3.3.2 Estima de la potencia eléctrica generada por paneles FV con mejor eficiencia	54
Capítulo IV	
Evaluación de aspectos ambientales positivos complementando la matriz energética de las bases	
4.1 Conclusiones	56
Bibliografía y fuentes consultadas	60