



CLIMATOLOGÍA ANTÁRTICA: MATEMÁTICA ASOCIADA AL ANÁLISIS DE CAUSAS Y DIDÁCTICA DE LA REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE LA INFORMACIÓN.

Diplomado en asuntos antárticos

Leonardo Parada Valencia

www.ingenieriaacustica.cl

18/08/2015

Contenido

1. Resumen.....	3
2. Introducción	4
2.1. Objetivos	5
2.1.1. Objetivo general.....	5
2.1.2. Objetivos específicos.....	5
3. Metodología	6
4. Exposición del tema	7
5. Elementos causales en el clima y didáctica matemática de los efectos.	9
5.1. Causales del clima antártico y matemática asociada.....	9
5.1.1. La geometría de la incidencia de los rayos solares y su consecuencia en el clima antártico.9	
5.2. Didáctica matemática de la representación de la información del clima antártico.	12
5.2.1. La estadística y la geometría en la construcción de una rosa de los vientos.....	12
5.2.2. Líneas de flujo, curvas de nivel y carta de vientos.....	13
6. Conclusiones.....	14
7. Referencias bibliográficas.....	15
8. Imágenes	16

1. Resumen

El presente trabajo presenta una propuesta que intenta poner de manifiesto situaciones en las que la matemática, a través de cada una de sus sub-áreas, permite explicar fenómenos climáticos, como a su vez permite la representación didáctica de la información climatológica como consecuencia de las causas que la originan. La metodología para el desarrollo consiste en exponer estos contenidos apoyados en los conocimientos del autor, material multimedia disponible en internet y la información obtenidas en las diversas exposiciones del diplomado, incluyendo las impresiones personales de otros participantes del curso que dada sus particulares áreas de trabajo han tenido experiencia en manejo de datos climatológicos. A fin de hacer el documento más amigable, se han escogido algunos ejemplos bastante simples de la aplicación de las matemáticas y que pudiesen ser explicado sin la necesidad de recurrir a complejas formulas o de un exceso de imágenes, considerando el contexto principalmente educativo y de difusión de esta publicación.

2. Introducción

A lo largo de la historia la humanidad se ha esforzado por entender la esencia del funcionamiento mundo material, intentando descubrir las normas y las pautas que determinan los objetos del entorno y de las complejas relaciones que tiene entre ellos mismos. A lo largo de miles de años las sociedades de todo el mundo, han descubierto que hay una disciplina por encima de las demás, que proporciona un cierto conocimiento de las realidades que subyacen en el mundo físico, esa disciplina es la matemática. [1]

La climatología como área del conocimiento, recurre a las matemáticas para poder explicar las causas de ciertos fenómenos climáticos, como también para poder comunicar sus resultados de manera didáctica haciendo uso de elementos principalmente visuales que representan gráficamente información cuantificable en términos matemáticos. Para el caso de la Antártica, surgen como interrogantes como el por qué de sus bajas temperatura y como está relacionado con la incidencia de la luz solar sobre su superficie, lo que puede ser explicado con ayuda de la matemática, haciendo uso de sub-áreas de esta como la geometría y la trigonometría.

En la primera parte de este trabajo, se explica la naturaleza de las sub-áreas de la matemática y algunos datos asociados al contexto histórico de su evolución y principales exponentes, destacando las fortalezas que permiten abordar situación climáticas que requieren de esta área ya sea para explicar un fenómeno o para poner a disposición de los usuarios información de tipo cuantitativa de manera organizada y didáctica.

Posteriormente se presentan algunas aplicaciones concretas del usos de las matemáticas para explicar fenómenos de la climatología y para representar la información, como por ejemplo, explicar el por que de poca energía solar que llega a los polos producto del ángulo de incidencia de los rayos con la superficie y

algunas representaciones matemáticas de la información como por ejemplo la rosa de los vientos y las cartas de olas respectivamente.

Se deja como trabajo futuro el poder ampliar el número de ejemplos y el desarrollo de simulaciones multimedia, a fin de poder destacar de manera justa el rol que tiene la matemática en la climatología Antártica,

2.1. Objetivos

2.1.1. Objetivo general

- Exponer aplicaciones de la matemática y sus áreas asociadas, como herramienta para la explicaciones de causas y efectos del clima antártico.

2.1.2. Objetivos específicos

- Enumerar conceptos matemáticos asociados a causas de la climatología Antártica.
- Enumerar conceptos matemáticos asociados a causas de la climatología Antártica.

3. Metodología

La sustentación de la propuesta se desarrollará mediante la búsqueda de información disponible en la web, debido a la facilidad de acceso a diversos contenidos multimedia que esta herramienta provee, destacando animaciones computacionales interactivas online y video, junto los conocimientos de física y matemática adquiridos durante la etapa de estudios del autor en la carrera de Ingeniería Acústica en la Universidad Austral de Chile.

Otros antecedentes son adquiridos a través de la absorción de contenidos entregados por los expositores del diplomado y a través del dialogo posterior con estos, incluyendo los demás participantes, muchos de los cuales poseen experiencias relevantes en cuanto a manejo de datos de clima antártico de manera directa o indirecta.

4. Exposición del tema

La matemática y algunas sub-disciplinas tradicionalmente enseñadas durante la etapa escolar y universitaria, como ser: **Álgebra, Aritmética, Geometría, Estadística y Cálculo**, constituyen la base de un lenguaje que permite a los seres humanos explicar una serie de fenómenos físicos, que han sido de interés para su estudio desde tiempos lejanos. La climatología está asociada al estudio de diversos fenómenos físicos de la naturaleza, como ser temperatura, precipitaciones, humedad, viento, presión atmosférica y radiación UV, que para su análisis y comprensión requiere del apoyo del lenguaje matemático, para explicar las causas y comprensión de los efectos percibidos en el entorno.

El universo está gobernado por diversas leyes físicas que son descritas mediante ecuaciones matemáticas y el clima no está ajeno al mundo del lenguaje matemático. Tanto desde la Grecia antigua, a través de observadores de nuestro entorno como **Pitágoras, Thales** y otros grandes de la física y la matemática como **Arquímedes, Leibnitz, Galileo y Newton**, nacen interrogantes respecto de cómo se producen las estaciones del año, el por qué de las mareas, la órbita del planeta en el sistema solar y muchas incógnitas más que fueron respondidas mediante el uso de la matemática y que tienen como consecuencia el responder algunas inquietud similares relacionadas al caso específico de la climatología Antártica.

El **Algebra** nos permite trabajar de manera abstracta con letras que representan algo en una ecuación matemática, entendiendo esta, como una proposición, de las que luego de ser desarrolladas dentro de una propuesta matemática general, dará lugar a una fórmula matemática que resumirá algún fenómeno de la física. Como por ejemplo la Ley de los gases ideales **PV=nRT** que define el comportamiento de una masa de aire en función de las

variables físicas presión, volumen y temperatura, que es requerida para realizar estudios relativos a la atmósfera.

La **Estadística**, surge de la necesidad de recolectar información y sus orígenes son algo más recientes que las demás áreas y sus orígenes se basan en su aplicación en política y economía, para recolectar datos y apoyar la toma de decisiones de los gobernantes [2]. Su naturaleza de recolección y análisis de datos, es utilizada por los climatólogos para calcular parámetros estadísticos de los datos de campo recolectados, a fin de poder visualizar esta información, buscar patrones en esta y en algunos casos predecir el clima. Hoy en nuestros tiempos gracias al desarrollo del computador y el desarrollo de dispositivos de registro de datos a menores costos, es posible disponer y procesar de gran cantidad de datos con una cierta facilidad, que hace algunas décadas era impensado y mucho del trabajo estadístico debía desarrollarse de forma manual.

La **Aritmética** y sus 4 operaciones básicas: sumar, restar, multiplicar y dividir, son herramientas básicas que permiten desarrollar ciencia climatológica. Al leer un termómetro a una hora determinada, y al tomar lectura posteriormente, resulta un hecho prácticamente automático el pensar si la temperatura subió o bajo, lo que tiene asociado de forma de forma implícita, una resta del primero con el segundo valor, resultado que dependiendo del signo de este, podemos decir si ha subido o disminuido la temperatura.

La **Geometría** define algunos pilares como los lados y ángulos de las figuras geométricas que particularmente son utilizados por otra área de la matemática: la **Trigonometría**, que es la base para calcular magnitudes vectoriales y ser descompuestas en sus componentes vectoriales para poder operar con estas en un sistema de coordenadas apropiados, como dirección del viento, ángulos de incidencia de la radiación UV, campos vectoriales usados en cartas de viento usada en navegación marítima, entre otros.

El **Cálculo** y todo su mundo asociado de derivadas, integrales y ecuaciones diferenciales, son herramientas que permiten el estudio de diversos fenómenos físicos, como ser propagación de la temperatura, física de ondas, dinámica de fluidos, por mencionar algunos. Este tipo de herramientas sirven de insumo para realizar modelaciones de variables físicas del clima mediante el uso de software computacional especializado.

5. Elementos causales en el clima y didáctica matemática de los efectos.

En algunos casos la matemática es utilizada para explicar las causas del fenómeno climatológico y otros es utilizada para explicar su comportamiento y efectos, los cuales pueden ser visualizados didácticamente mediante elementos matemáticos, como ser gráficos, tablas, campos vectoriales, líneas de flujo, mapas de niveles, entre otros. A continuación, se exponen algunas situaciones observadas en donde la matemática tiene protagonismo en temas de climatología antártica, las cuales surgen naturalmente como preguntas de indagación luego de escuchar a los expositores del programa del “Diplomado en asuntos antárticos” desarrollado por GAIA Antártica - UMAG y MINEDUC y socializar con algunas personas del público asistente.

5.1. Causales del clima antártico y matemática asociada.

5.1.1. La geometría de la incidencia de los rayos solares y su consecuencia en el clima antártico.

La energía térmica del sol que recibe el planeta, depende de la **densidad de rayos de luz que atraviesa cierta área**. Esta área y los rayos de luz forma un ángulo denominado ángulo de incidencia, y la máxima densidad se alcanza cuando la incidencia de los rayos de luz es perpendicular a la superficie (90°).

Para definir correctamente esta situación, debemos destacar dos hechos. El **primero** es que los rayos del sol provienen desde muy lejos y no porque esta distancia sea un número grande, sino que **proporcionalmente es grande respecto del tamaño del planeta Tierra** (25.000 veces) y eso tiene una consecuencia: **los rayos viajan como líneas paralelas**.

Distancia Tierra al sol: 150.000.000 de kilómetros aproximadamente [3]

Diámetro Tierra: 6.000 kilómetros aproximadamente

$$150.000.000 / 6.000 = 25.000$$

El hecho de que no consideremos este hecho de manera natural, surge como consecuencia de que los primeros dibujos del sol y sus rayos sobre un paisaje, realizados en etapa escolar, se basan en un círculo con líneas que apuntan en todas direcciones (ver figura 1), lo que tendría como consecuencia que la longitud de las sombras sea diferente para cada objeto en el dibujo, lo cual es un error en términos físicos.

El **segundo** hecho es que la superficie terrestre vista desde el espacio exterior tiene la forma de una esfera pero vista desde la superficie es un plano. Ahora bien con estos dos hechos es posible razonar respecto de la incidencia de una serie de rayos paralelos sobre una superficie a medida que varía el ángulo de incidencia.

Como se aprecia en las figuras 2, 3, y 4 inicialmente se tiene una cierta cantidad de rayos incidiendo sobre la superficie, luego al ir aumentando variando el ángulo de incidencia a un valor distinto de 90° es posible observar como las líneas que antes incidían sobre la superficie A ya no inciden sobre esta sino sobre la superficie B, Como el área de la superficie A no ha cambiado y la cantidad de rayos que incide sobre la superficie A es menor, la **densidad de rayos por unidad de superficie**, ha cambiado, por tanto ha disminuido la energía recibida, y esa energía ahora incide sobre la superficie B. De forma recursiva es posible

llegar a una situación donde ya no inciden rayos sobre A (densidad cero) sino que todos los rayos ahora inciden sobre B.

Con este ejemplo es posible explicar el hecho de porque la luz que llega a la zona de los polos “calienta menos” [4] [5].

¿Cómo varia esta energía a medida que varia el ángulo de incidencia?

Una forma de visualizar la situación para dar respuesta a la pregunta es considerar un cociente que define la densidad en cuestión, en el denominador correspondiente a la superficie se mantiene constante y el numerador correspondiente a la cantidad de rayos de luz varia. Sin embargo resulta conveniente considerar la situación equivalente en la que la cantidad de rayos permanece constante y la superficie sobre la cual inciden varia.

Esta variación de la medida de la superficie se puede obtener multiplicando el valor del área por el **seno del ángulo** de incidencia el cual corresponderá al porcentaje de energía. Los resultados del cálculo del seno para ángulos entre 0 y 90 grados y una gráfica de barras que muestra el decaimiento es posible de apreciar en la figura 5. De este resultado es posible observar que la función seno energía decae más lentamente alrededor de los 90 grados, lo que para efectos de cálculo de la energía incidente corresponderá a los rayos que inciden sobre zonas cercanas al Ecuador, y que decae muy rápidamente entre ángulo cercanos a cero lo que de modo análogo corresponde a zonas cercanas a los polos del planeta.

5.2. Didáctica matemática de la representación de la información del clima antártico.

5.2.1. La estadística y la geometría en la construcción de una rosa de los vientos.

El registro de datos de viento, supone tomar nota de una variable vectorial de dos componentes, que indique la magnitud y dirección del viento, variabilidad debe ser tratada mediante un tratamiento estadístico de **datos agrupados**.

Un modelo de datos agrupados, consiste en definir diversos grupos (también llamados clases) sobre la cual posteriormente se realiza una contabilización de los datos, considerándolos como parte de una clase para poder contarlos. Un ejemplo de datos agrupados se muestra en la figura 6.

Por otra parte la variable dirección, se restringe solamente a ocho posibilidades, por lo que podemos definirla como una variable discreta, pero no se realizara estadística sobre ella sino que se utiliza este criterio de las ocho posibilidades para construir un conjunto de datos agrupados para cada una de estas ocho posibilidades, lo que generara 8 tablas de frecuencia y sus correspondientes histogramas.

La rosa de los vientos (ver figura 7), surge de la idea de mostrar los ocho histogramas en un modelo 3D donde cada histograma se orienta en los ejes de simetría de un octógono, ubicándolos desde el centro hacia el correspondiente vértice, con una longitud proporcional a la cantidad de datos que representa.

5.2.2. Líneas de flujo, curvas de nivel y carta de vientos.

Las líneas de flujo son trayectorias que sigue un fenómeno físico y son comunes de visualizar en áreas de la física como dinámica de fluidos y electromagnetismo. Por otra parte las curvas de nivel, permiten representar en un plano 2D información que originalmente es de tipo 3D, las cuales eventualmente se le puede adicionar color para ejemplificar una acumulación de curvas de un mismo nivel, transformándolas en un mapa de niveles, las cuales corresponden a un tratamiento estadístico de datos agrupadas en caso de trabajar con datos de campo, o a una discretización del modelo, en caso de trabajar con datos simulados.

En el caso de la representación matemática del oleaje marino, se utiliza lo que se denomina una carta de olas [6], que corresponde a una superposición de las líneas de flujo y un mapa de niveles (ver figura 8).

6. Conclusiones

- La climatología como área del conocimiento, se ha valido de diversas herramientas matemáticas para representar datos, incluso haciendo cierto abuso respecto de uso, lo que podría considerarse innovación como consecuencia de las necesidades del área del conocimiento que hace uso de estas herramientas.
- La Antártica recibe poca energía térmica en comparación a otros lugares alejados de los polos, debido al ángulo de incidencia de los rayos solares, hecho que presupone confusión cuando se dice que la Antártica recibe una gran cantidad de radiación solar producto de la baja densidad de ozono en ella.
- Se requieren de cálculos más rigurosos, adicionales al cálculo de la disminución de energía solar recibida producto del ángulo de incidencia, para evaluar cuanta energía del sol recibe la Antártica y así poder afirmar con mayor propiedad que esta nos protege de la radiación solar gracias al blanco de la nieve.
- No resulta simple explicar algunas situaciones geométricas sin recurrir a materiales multimedia, que puedan mostrar simulaciones computacionales o animaciones 3D.
- Existen precedentes en la formación escolar de las personas que dificultan la comprensión de la situaciones geométricas que representa el arribo de la energía solar, conceptos que resultan necesarios de explicar para abordar la incidencia de la luz sobre la superficie Antártica..

7. Referencias bibliográficas

[1] <https://youtu.be/IEU1TGOV4QI> La Historia de las matemáticas.

[2] <https://youtu.be/zzGMOUdVzsw> Estadística para niños del sexto grado-matematicas de primaria.

[3] <http://www.latercera.com/noticia/tendencias/2012/09/659-484527-9-astronomos-fijan-distancia-exacta-entre-la-tierra-y-sol-149597870700-metros.shtml>

[4] <https://youtu.be/VBLxGv32OWs> Las estaciones del año.

[5] <https://youtu.be/uc0jSM3yJ-U> Rayos Solares.

[6]

http://meteoarmada.directemar.cl/prontus_meteo/site/artic/20140105/pags/20140105094103.html

8. Imágenes

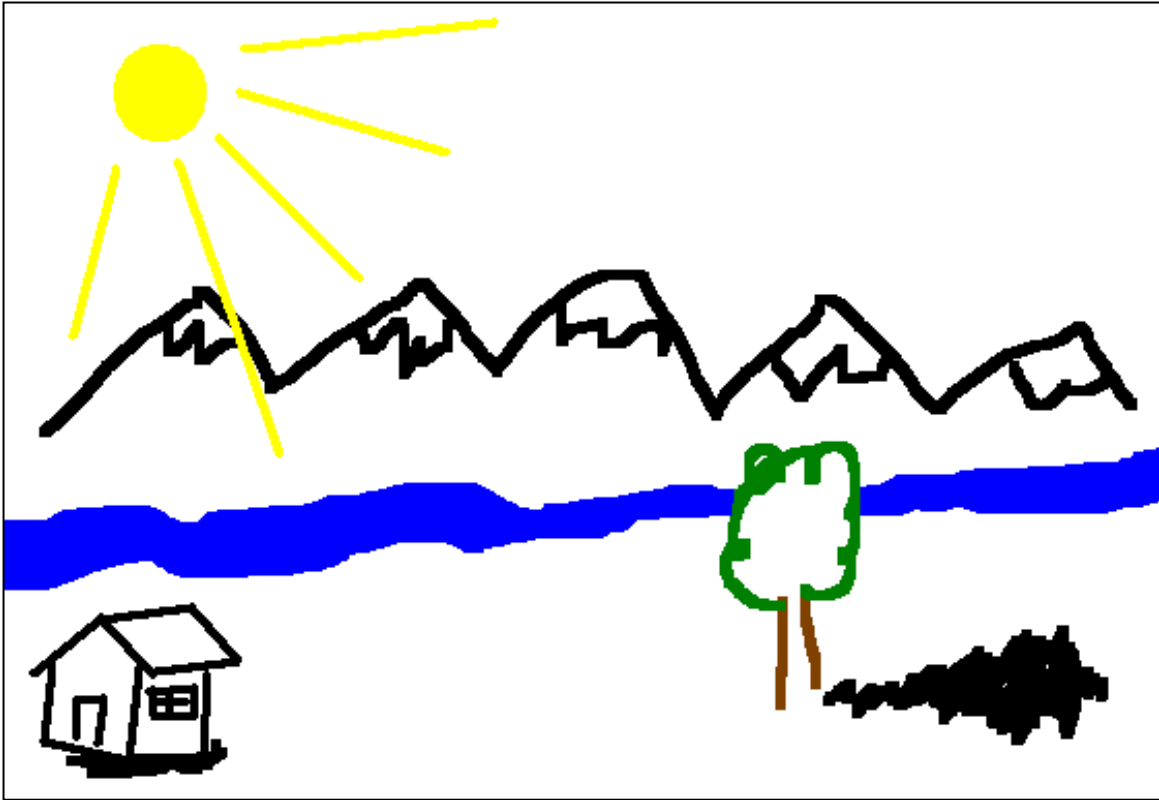


Figura 1: Imagen pre-escolar que representa error conceptual de la dirección de arribo de los rayos solares sobre la superficie del planeta.

(Fuente: Elaboración propia)

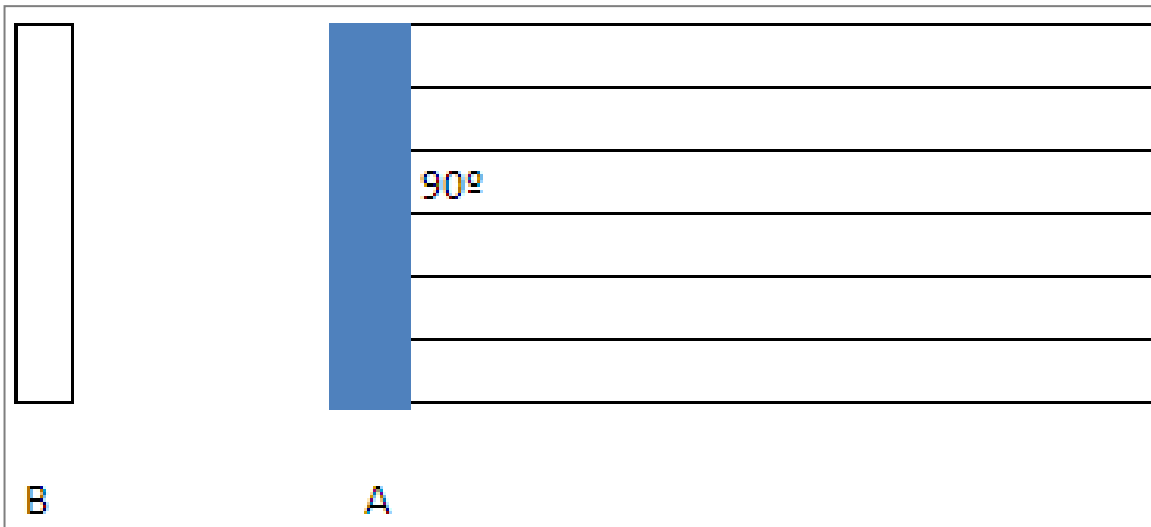


Figura 2: Croquis que ejemplifica los rayos de luz incidiendo a 90° sobre una superficie.

(Fuente: Elaboración propia)

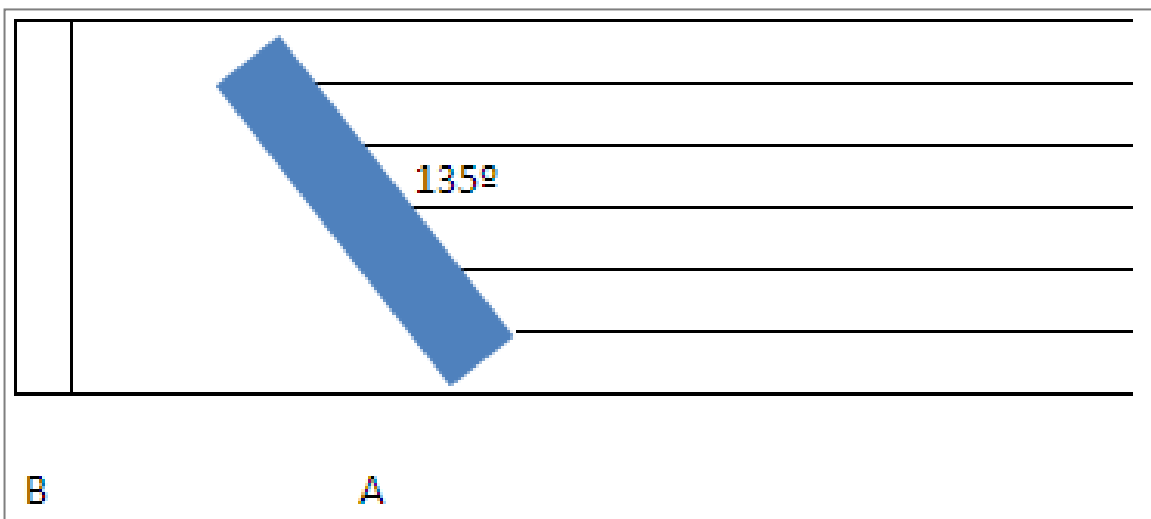


Figura 3: Croquis que ejemplifica los rayos de luz incidiendo a 135° sobre una superficie.

(Fuente: Elaboración propia)

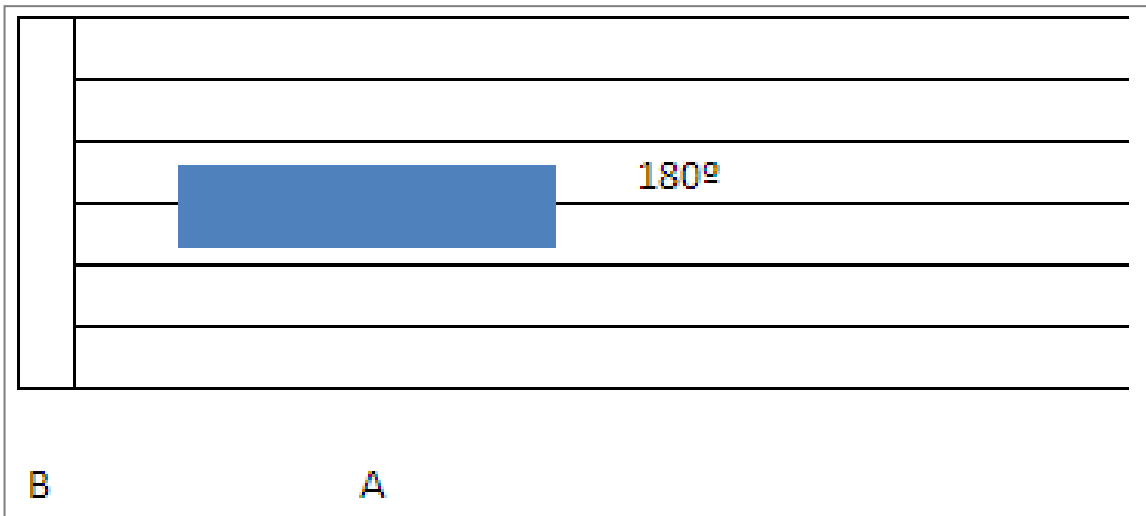


Figura 4: Croquis que ejemplifica los rayos de luz incidiendo a 180° sobre una superficie.

(Fuente: Elaboración propia)

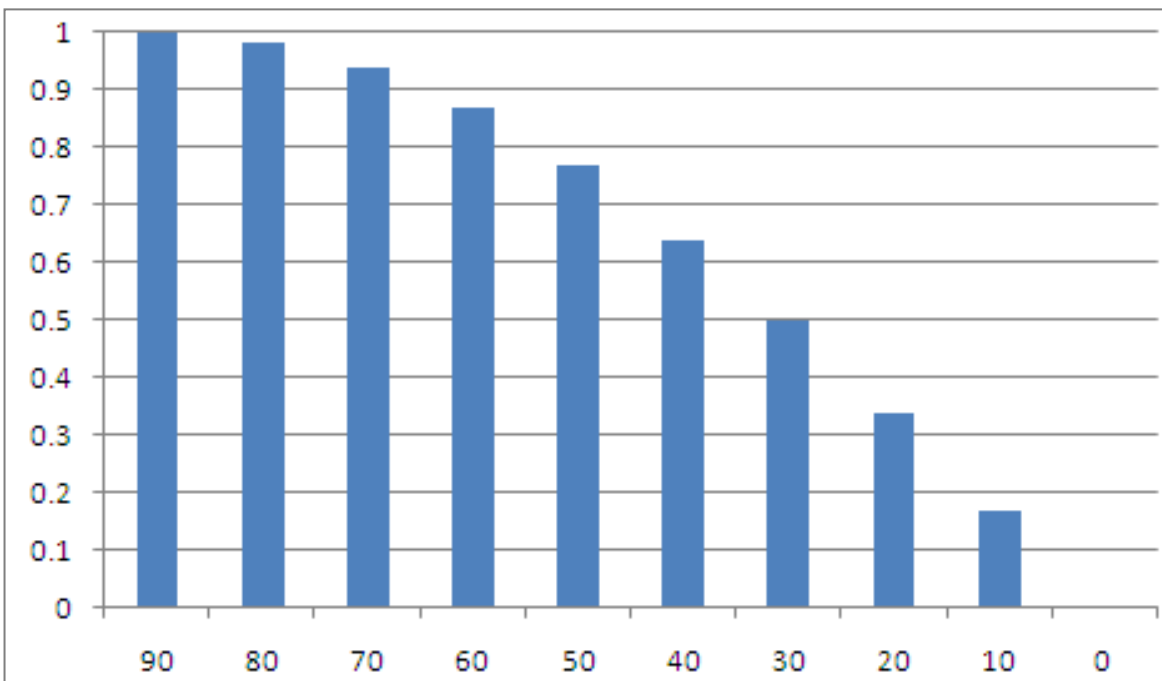


Figura 5: Gráfica que muestra el porcentaje de luz incidente sobre una superficie a medida que decae el ángulo de incidencia.

(Fuente: Elaboración propia)

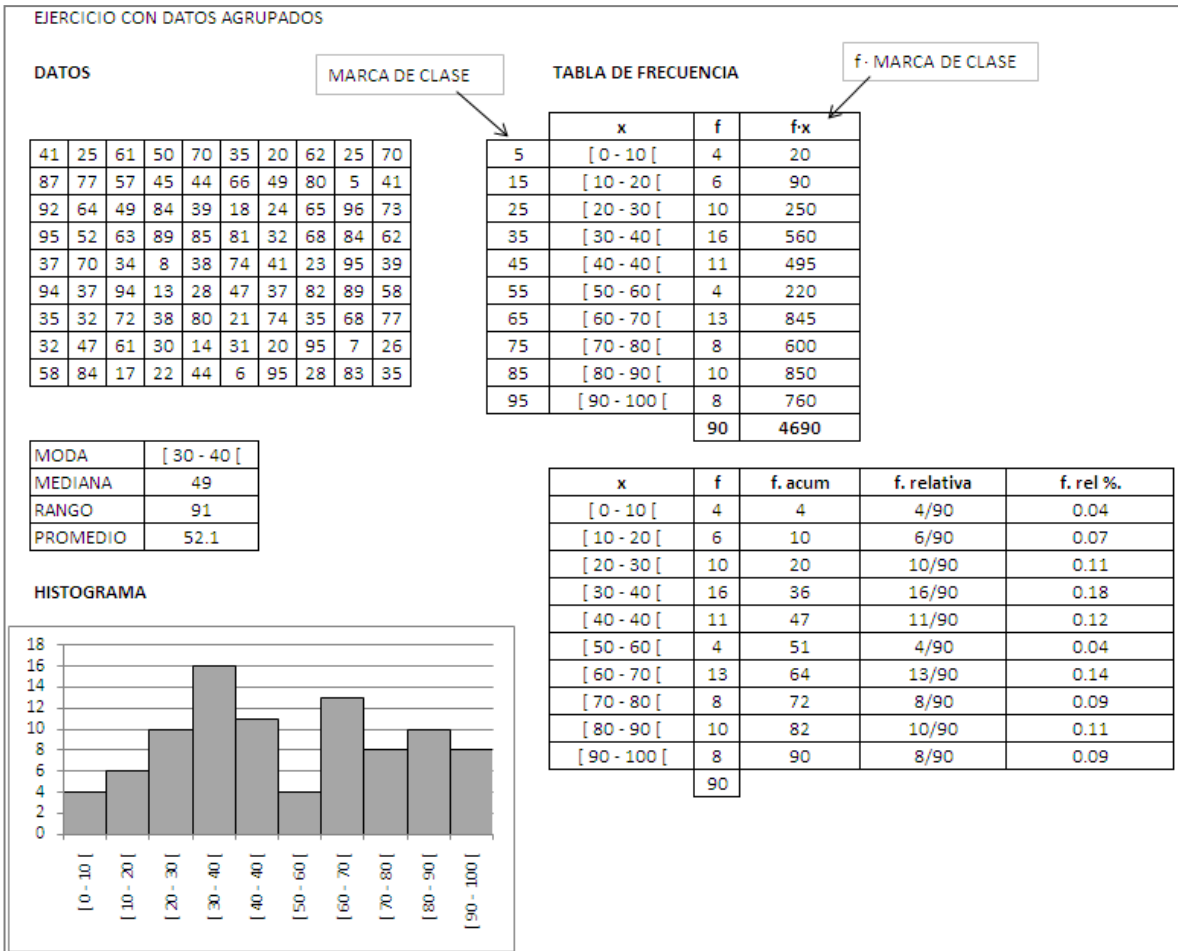


Figura 6: Didáctica de representación de la información estadística usando tablas y gráficos.

(Fuente: Elaboración propia)

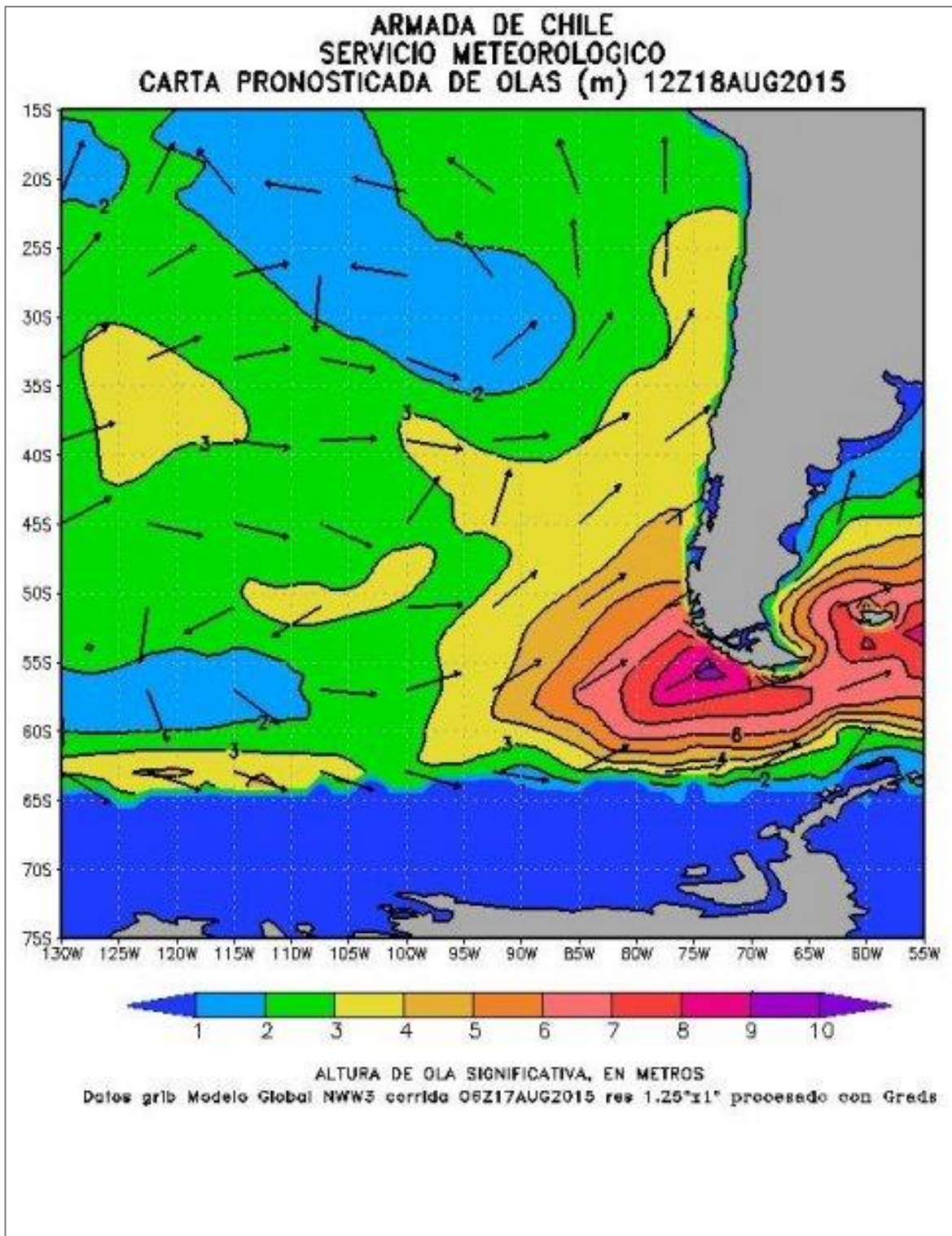


Figura 7: Uso de curvas de nivel y líneas de flujo para representación de olas marinas.

(Fuente: Armada de Chile)

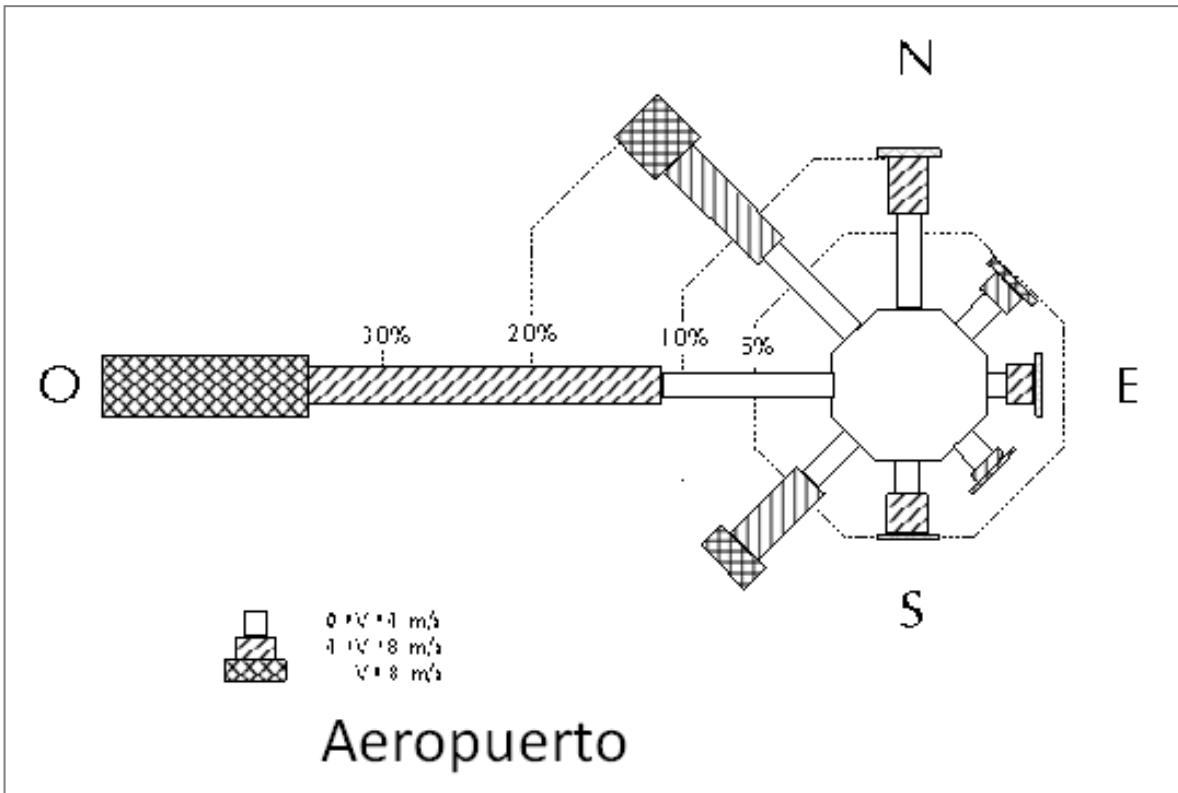


Figura 8: Rosa de vientos correspondiente a datos de la ciudad de Punta Arenas, registrados en el aeropuerto Carlo Ibañez del Campo.

(Fuente: *Presentación: Climatología: Antártica y subantártica, Diplomado en asuntos antárticos GAIA – UMAG, Nicolas Butorovic, climatólogo*)