

.....
I.E.S. Clavero Fernández de Córdoba
Almagro. Ciudad Real.

Las estelas de los aviones como método de predicción meteorológica

.....
*Primer concurso regional de proyectos
de ciencias*

Informe del proyecto de investigación

Las estelas de los aviones como método de predicción meteorológica

Abstract

El propósito de nuestra investigación es relacionar la presencia de las estelas de los aviones con las condiciones meteorológicas.

Seleccionamos los días con un mayor número de estelas registradas y, después de un sencillo tratamiento estadístico, comprobamos que a las 24 y 48 h posteriores se produce una clara tendencia a disminuir la presión atmosférica, lo cual está relacionado con el aumento de la cobertura de nubes y de las precipitaciones. Por otra parte, cuando hacemos el análisis seleccionando días sin estelas se muestra que las presiones se mantienen básicamente constantes y se produce una situación de estabilidad meteorológica.

Por tanto, una sencilla observación nos puede servir de base para hacer una predicción del tiempo.

The purpose of our investigation is to relate the presence of the contrails with the weather conditions.

We select the days with a greater number of contrails registered and, after a simple statistical processing; we verify that after 24 h and 48 h subsequent a clear tendency is produced to diminish atmospheric pressure, which is related to the

increase of the cover of clouds and of the rain. On the other hand, when we do the analysis selecting days without contrails is shown that the pressures are maintained basically constant and a situation of weather stability is produced. Therefore, a simple observation can serve us of base to do weather forecast.

⋮

Reconocimientos

Queremos mostrar nuestro agradecimiento a los componentes del claustro del I.E.S. Clavero Fernández de Córdoba, y en especial a los departamentos de Matemáticas, por su colaboración en el análisis estadístico, al departamento de Inglés por su paciencia con las traducciones y al departamento de Educación Plástica por su asesoramiento estético en la confección del póster de la exposición.

Por último, queremos dar las gracias al observatorio meteorológico de Ciudad Real por facilitarnos los datos de los fines de semana sin los cuales no podríamos haber completado nuestro estudio.

Introducción

En nuestro instituto llevamos dos cursos asociados al *Programa GLOBE* (*Global Learning and Observations to Benefit the Environment*) y dentro de las medidas que hacemos diariamente está la observación del tipo y cobertura de estelas. Esto nos llevó a preguntarnos acerca de su origen y, sobre todo: ¿Por qué unos días se observaban estelas más que otros? ¿Qué nos indica la presencia de las mismas?

¿Cómo se forman las estelas?

Las estelas son nubes de tipo *cirro* que se forman en la alta troposfera cuando el vapor de agua se condensa y se hiela alrededor de pequeñas partículas producidas por los gases de escape de los aviones.

Son por tanto, nubes producidas por el hombre que empezaron a estudiarse en los años cuarenta del siglo pasado cuando se generalizó el vuelo de los aviones.

Actualmente son muy estudiadas por diversos organismos internacionales debido a que pueden influir en el clima, si bien hasta el momento no hay una hipótesis concluyente sobre si provocan un efecto de enfriamiento o de calentamiento.

¿Son todas iguales?

Existen tres tipos de estelas: las estelas de corta duración (A), estelas persistentes no expandidas (B); y estelas persistentes expandidas (C). Estas últimas por su número y significado son las más interesantes para nuestro proyecto, ya que corresponden a nubes estables que ocupan una parte importante del cielo y que llegan a desplazarse como los cirros de origen natural.

Las de corta duración nos indican que los cristales de hielo formados no son estables y desaparecen en muy poco tiempo.



Los tres tipos de estelas descritos en el texto

¿Cuál es la pregunta a resolver?

El problema que nos planteamos fue el siguiente: ¿Puede la cantidad y tipo de estelas estar relacionado con las condiciones meteorológicas en las horas siguientes? Si descartamos que la observación de un gran número de estelas se deba a una diferente frecuencia de vuelo de los aviones, y teniendo en cuenta que la persistencia de las estelas es un indicador de las

condiciones en la alta troposfera, ¿podríamos utilizar las estelas como un indicador del cambio en el tiempo de los días siguientes al de la observación?

Nuestra **hipótesis** de partida es que la estabilidad de estas nubes artificiales en la atmósfera parece tener que ver con una mayor inestabilidad en las horas siguientes.

Para verificar, o refutar, nuestra hipótesis, buscamos información, diseñamos una toma de datos sistemática, hemos recopilado datos de relevancia meteorológica (cobertura de nubes, temperatura, precipitación y presión atmosférica) y finalmente hemos hecho un análisis estadístico sencillo.

Metodología

Fase previa

Empezamos nuestro trabajo buscando información en internet, en la página web de la NASA (<http://asd-www.larc.nasa.gov/GLOBE/>) y en ella no encontramos ninguna referencia a estudios que relacionasen la observación de estelas con el tiempo. Hicimos más búsquedas en la red y a través de algunos artículos que nos proporcionó nuestro profesor, pero tampoco conseguimos información. Incluso mandamos un correo electrónico a los científicos responsables del programa de estelas de la NASA mediante el programa GLOBE. Estos documentos se incluyen en los apéndices como anexo I.

A continuación establecimos un plan sistemático de observaciones: tres días a la semana: martes, jueves y viernes.

Toma de datos

Cada día se realizaban seis observaciones del cielo en periodos de 2 minutos cada una. La primera a las nueve de la mañana, –correspondientes a las ocho hora solar– y finalizando a las siete de la tarde.

Las observaciones se hicieron en un lugar cercano a nuestro instituto en el cual teníamos una buena visión del horizonte. Anotábamos los datos

relativos al número y tipo de estelas, la presión atmosférica y la temperatura.

Los datos meteorológicos se tomaban una caseta meteorológica estándar, la temperatura se midió con un termómetro calibrado (Enviro-Safe de H-B Instrument Company) y la presión con un barómetro aneroide.



La caseta meteorológica

Algunos datos correspondientes a días no lectivos se solicitaron al Instituto Nacional de Meteorología.

Para recoger los datos, y elaborar nuestro diario científico, hicimos una hoja de recogida de datos. En total se tomaron datos de 19 días comenzando el 19 de enero y finalizando el 31 de marzo de 2006.

Las hojas de recogida de datos se incluyen en la sección de apéndices como anexo II

Análisis de los datos

Después de la fase de campo se realizó un análisis de los datos. Se tabularon (anexo III) se eligieron los días con más estelas y se investigó el comportamiento del tiempo a las 24 y 48 horas siguientes a dichos días.

El resultado se sometió a un análisis estadístico sencillo con **Microsoft Office Excel 2003**, y para el cálculo de regresión utilizamos un programa estadístico: **NCSS 2004**

Resultados

El análisis de la totalidad de los datos nos planteó el problema de distinguir los días con mayor número de estelas dado que se contaban números pequeños. Este problema se resolvió haciendo una ponderación de las observaciones: las estelas de breve duración valían 1, las persistentes 2 y las de propagación persistentes 3.

De esta forma se seleccionaron los 9 días que tenían un número alto de observaciones de estelas, calculamos la media y la desviación estándar de la presión atmosférica corregida a nivel del mar para el día de la observación y a las 24 y 48 horas posteriores.

Hicimos el mismo análisis para ver que ocurría después de los 8 días sin estelas de tipo persistente. En este caso solo disponemos de datos a las 24 horas posteriores. Los resultados se muestran en las tablas 1 y 2.

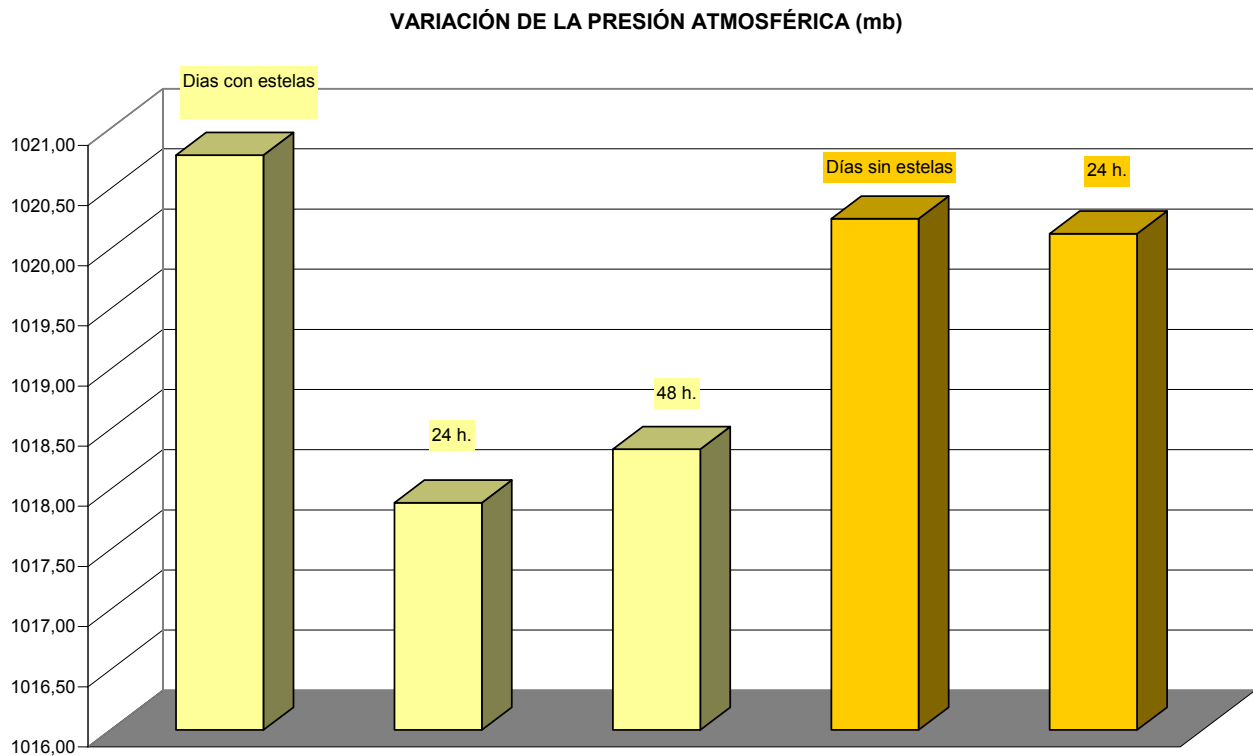
	Día con estelas	24 h	48 h
Media de la presión atmosférica	1020.78	1017.89	1018.33
Desviación estándar	±4.18	±5.74	±6.27

Tabla 1.- Presiones medias de los días con observación de estelas, y presiones medias a las 24 y 48 h posteriores.

	Día sin estelas	24 h
Media de la presión atmosférica	1020.25	1020.13
Desviación estándar	± 4.59	± 3.94

Tabla 2.- Presiones medias de los días sin observación de estelas, y presiones medias a las 24h.

El resultado de los dos estudios aparece en el gráfico 1.



Gráfica 1.- Comportamiento de la presión atmosférica en los días posteriores a la observación de estelas (●) y con cielo despejado (●)

Si estudiamos los datos individualmente podemos comprobar el comportamiento del día de la observación, ya sea con estelas o sin estelas, y lo que ocurre en las horas siguientes, es decir si sube la presión o baja.

Estos datos aparecen en las tablas 3 y 4:

FECHA	P atm	P atm +24h	P atm +48h
26/01/2006	1012	1012 (=)	1014 (↑)
02/02/2006	1020	1013 (↓)	1018 (↑)
14/02/2006	1025	1023 (↓)	1018 (↓)
03/03/2006	1018	1012 (↓)	1019 (↑)
09/03/2006	1022	1025 (↑)	1024 (↑)
10/03/2006	1027	1025 (↓)	1024 (↓)
16/03/2006	1018	1010 (↓)	1003 (↓)
30/03/2006	1023	1021 (↓)	1022 (↓)
31/03/2006	1022	1020 (↓)	1023 (↑)

Tabla 3.- Variación de la presión a las 24 y las 48h de días con observación de un número alto de estelas. (↓) baja, (↑) sube y (=) se mantiene igual.

FECHA	P atm	P atm +24h
19/01/2006	1020	1026(↑)
20/01/2006	1026	1018(↓)
31/01/2006	1022	1024(↑)
7/02/2006	1026	1020(↓)
9/02/2006	1018	1018(=)
16/02/2006	1018	1018(=)
21/02/2006	1012	1014(↑)
28/03/2006	1020	1023(↑)

Tabla 4.- Variación de la presión a las 24 h de días sin observación de estelas de propagación persistente. (↓) baja, (↑) sube y (=) se mantiene igual.

Para comprobar nuestra hipótesis utilizamos como parámetro básico la presión atmosférica, pero queríamos ver si podíamos medir de forma más ajustada la relación entre las estelas y el cambio en el tiempo meteorológico, para lo cual intentamos hacer, con la ayuda del departamento de matemáticas, un análisis de regresión.

Para poder relacionar las dos variables –número de estelas frente a la presión atmosférica– construimos un valor de *Presión corregida* de forma que quedase más clara la tendencia al empeoramiento atmosférico.

Se obtenía restando de la P un valor dependiente del porcentaje de cobertura y la precipitación registrada en:

$$P_{\text{corregida}} = P - (C) \cdot \text{precipitación L/m}^2$$

El valor de cobertura (C) que tomamos es el siguiente:

Despejado o claro: C= 0
Nubes aisladas (10 a 24%): C= 1
Dispersas (25- 49%): C=2
Rotas (50 a 89%):C=4
Cubierto (más de 90%):C=8

De acuerdo a este valor recalculamos los datos de Presión atmosférica como $P_{\text{corregida}}$ (tablas 5 y 6)

FECHA	P atm	P atm +24h	Cobertura	precipitación	P atm corregida
26/01/2006	1012	1012	8	1,1	1002,9
02/02/2006	1020	1013	8	3,5	1001,5
14/02/2006	1025	1023	1	0	1022
03/03/2006	1018	1012	8	15	989
09/03/2006	1022	1025	0	0	1025
10/03/2006	1027	1025	1	0	1024
16/03/2006	1018	1010	8	0	1002
30/03/2006	1023	1021	4	0	1017
31/03/2006	1022	1020	4	0	1016
				Media	1011,04
				Desvia std	12,59

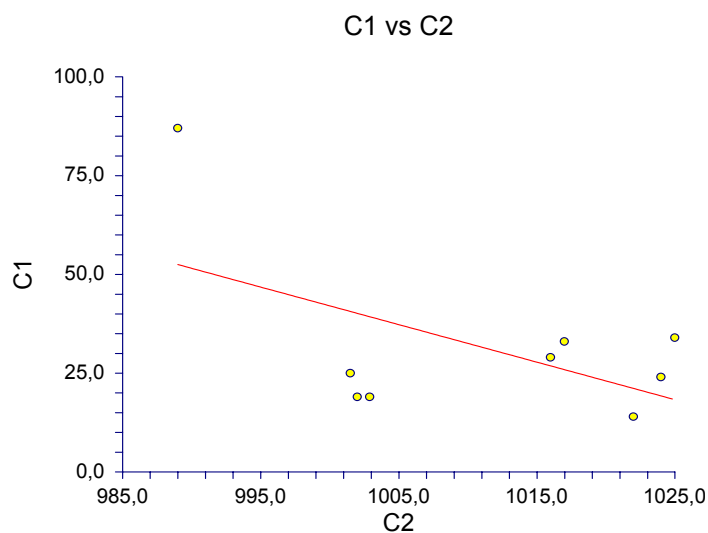
Tabla 5.- Valores de $P_{\text{corregida}}$ del día de la observación y 24 h después.

P atm +48h	Cobertura	precipitación	P atm corregida
1014	0	0	1014
1018	0	4	1014
1018	8	0	1010
1019	2	3,6	1013,4
1024	1	0	1023
1024	4	0	1020
1003	8	3,8	991,2
1022	4	0	1018
1023	4	0	1019
		Media	1013,62
		Desv std	9,31

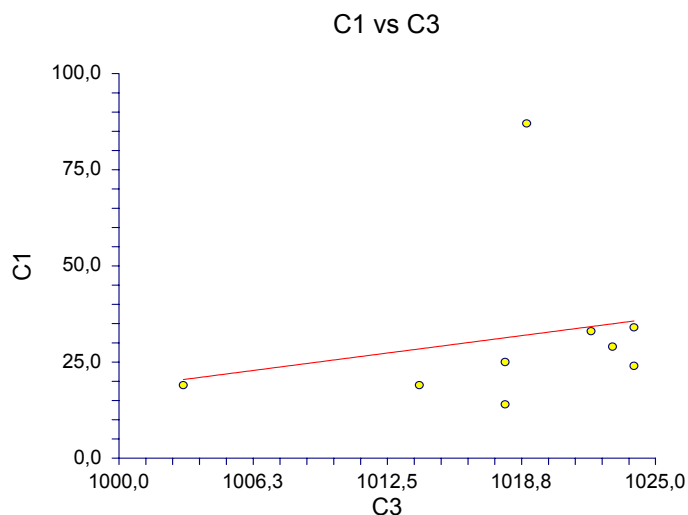
Tabla 6.- Valores de $P_{\text{corregida}}$ 48 h después.

Esto nos permite combinar la baja presión (condiciones de inestabilidad) con las situaciones de inestabilidad real: cielo cubierto y precipitaciones.

El resultado de los análisis de regresión se muestra en las gráficas y la tabla siguientes.



Gráfica 2.- Recta de regresión entre las variables número de estelas (C1) observadas y $P_{\text{corregida}}$ (C 2) a las 24h.



Gráfica 3.- Recta de regresión entre las variables número de estelas (C1) observadas y $P_{\text{corregida}}$ (C 3) a las 48h.

Correlación entre N° de estelas y $P_{\text{corregida}}$ Valor R	24 h 0.547	48 h. 0.607
--	---------------	----------------

Tabla 7.- Valores de R para la correlación entre el número de estelas y la P corregida a las 24 y las 48 h.

Además de los datos aquí mostrados se analizaron algunos otros, como la temperatura que no resultaron apropiados a nuestro estudio. Las razones serán comentadas en el siguiente apartado.

Discusión

En primer lugar tenemos que tener en cuenta que los días que observamos estelas de propagación persistente, corresponden a días de estabilidad atmosférica, esto es altas presiones o condiciones de tipo anticiclónico. Por tanto un cambio meteorológico se entenderá como aumento de la nubosidad y/o presencia de precipitaciones.

Los datos mostrados en las *tablas 1, y 3* así como en la *gráfica 1*; marcan una clara tendencia a disminuir el valor de la presión atmosférica en las 24 y 48 horas posteriores a un día con alta presencia de estelas del tipo *propagación persistente*. Esto se muestra tanto en los valores de la presión atmosférica media, como en los análisis de días individuales. Además se produce un aumento de la cobertura de nubes y días con precipitaciones. Todo esto supone una inestabilización de la atmósfera y lo interpretamos como un “empeoramiento” del tiempo.

En cambio, cuando tomamos como referencia un día sin estelas de propagación persistente (*tablas 2 y 4 y gráfica 1*), la presión atmosférica se mantiene esencialmente constante, es decir, las condiciones de tiempo anticiclónico se mantienen y el tiempo lo podemos considerar como “bueno” y estable.

Es importante destacar que las presiones medias para los dos grupos de días, con y sin estelas, son esencialmente iguales: 1020.25 frente a 1020.78 mb.

Todo lo anterior es coherente con la idea general de que las presiones altas generan situaciones de estabilidad y la bajada de presiones inestabilidad atmosférica.

Paradójicamente algunos días, después de la observación de estelas de propagación persistente, la presión sube o no aumenta la cobertura de nubes. No tenemos una explicación a este fenómeno, pero dado que sólo ocurre uno de los 9 días elegidos, podemos pensar que no es muy significativo dentro de la tendencia general y que responde a la complejidad de los fenómenos atmosféricos, como puede ser el tipo de frente que se aproxima, o a un simple cambio en las condiciones en un breve periodo.

Hay que tener en cuenta que los valores de desviación típica son altos dado que la variación de presiones es relativamente pequeña frente al valor absoluto de presiones, (recordemos que la presión atmosférica de referencia a nivel del mar es 1013 mb.) y que el número de datos es pequeño. Si repitiésemos el estudio, estas tendencias creemos que serían más claras al disponer de un mayor número de puntos.

El estudio de correlación no es concluyente: los valores de R no nos muestran una relación entre el número de estelas y la variación de presión. Es decir, no podemos asegurar que a mayor número de estelas haya menor presión atmosférica. Esto se debe seguramente a que no estamos utilizando la herramienta estadística adecuada para comparar estas variables. Esto es, estamos comparando una variable puramente numérica –Presión

atmosférica– frente a un valor más de tipo cualitativo –las estelas de propagación persistente–, ya que rara vez se observan más allá de 4 o 5 de estas pero con una gran cobertura del cielo. En cualquier caso para estudios posteriores sería necesario buscar una aplicación estadística apropiada a este análisis.

Uno de los parámetros utilizados en el estudio, la temperatura a la hora de la observación ha mostrado una gran variación estacional y horaria, lógicamente dado que empezamos en el mes de enero y terminamos en marzo, por tanto no nos ha dado información útil. En otros estudios prescindiremos de este dato o utilizaremos un valor medio. En cualquier caso se puede comprobar (anexo III) que no parece existir ninguna relación entre la temperatura en la superficie con un mayor o menor facilidad en la formación de las estelas en la alta troposfera.

Un dato que no hemos analizado convenientemente es que se observan más estelas por las tardes y algo menos durante las horas centrales del día. Quizás fuese interesante relacionar esto con valores de humedad relativa y conocer el punto de rocío para esas horas, pero de momento es un estudio que no nos hemos planteado.

Uno de los problemas más importantes que hemos tenido ha venido dado por un fallo en la planificación de las observaciones, ya que como no hacemos medidas ni los sábados ni los domingos, la medida del viernes no podía ser comparada a las 24 y 48 horas que correspondían al fin de

semana. Afortunadamente el observatorio meteorológico de Ciudad Real nos suministró los datos que nos faltaban.

Por último, tenemos que tener en cuenta que nuestro estudio está muy limitado, pero pensamos honestamente que los resultados obtenidos pueden ser de interés para estudios de mayor rigor y con más medios que los que disponíamos nosotros. Nunca pretendimos competir con meteorólogos profesionales sino intentar resolver una pequeña cuestión surgida de la observación de la naturaleza.



Conclusiones

- ▶ La formación de estelas del tipo propagación persistente, o su ausencia, parecen responder a unas condiciones atmosféricas diferentes de la alta troposfera.
- ▶ Estas condiciones pueden ser utilizadas como indicador del cambio meteorológico en las horas siguientes.
- ▶ Un día con muchas estelas persistentes, puede ser el preludio de un cambio medido como aumento de la nubosidad y/o de precipitaciones, y por el contrario un día despejado en el que no se observan dichas estelas nos redice estabilidad, es decir, ausencia de nubes y falta de precipitaciones.
- ▶ Estas predicciones no se cumplen siempre y esto puede ser debido al tipo de frente que se aproxima.
- ▶ Los predicciones meteorológicas dependen de multitud de factores que nosotros no podemos medir y aunque conocemos las limitaciones de nuestro estudio, pensamos honestamente que los resultados podrían ser más ajustados si se repite de una forma más amplia.

Bibliografía

ASENSI MARQUES, Juan. J y CARRATALA BEGUER, Sensio. Ciencias de la Tierra y Medioambiente. Madrid, Ecir, 1998.55-71p

CALVO, Diodora y MOLINA, M^a Teresa. Ciencias de la Tierra y Medioambiente. Madrid McGraw Hill, 2004, 187-226

RUBIO SÁEZ, Nicolás y RUÍZ GARCIA, Juan Manuel. Ciencias de la Tierra y Medioambiente, Barcelona, Anaya, 2003,34-51

ALFONSO CERVEL, Fernando *et al* Ciencias de la tierra y medioambientales. San Fernando de Henares (Madrid) Oxford University Press, 2006, 40-60.

WILLIAMS, Thomas. Contrail Análisis. **Goddard's Journal** 1999

DAY, John. Contrails seen as weather stations in the sky._**Goddard's Journal** June 12, 2004.

<http://asd-www.larc.nasa.gov/GLOBE/>

Apéndices

ANEXO I: Correspondencia con científicos especialistas en estelas

Dear Dr Lin H Chambers:

This is the third e-mail that I try to send to Robert Sepulveda, but I have some troubles with the globe mail delivery.

I am teaching in a globe school at a little town, Almagro, in the centre of Spain

We are interesting in developing a research about the relationship between contrails and the weather forecast. Can you send us information about this topic?

Thank you in advance for your collaboration.

Your sincerely.

Javier Vacas Ocaña.

Unfortunately, Robert has returned to full-time school teaching.

And our funding to do contrails with GLOBE ends this month. However, the contrail protocol will continue. You may find some useful information here:

<http://asd-www.larc.nasa.gov/GLOBE/>

I would suggest that you specifically consider the Appleman Chart activity. See:

<http://asd-www.larc.nasa.gov/GLOBE/resources/activities/>

I will also mention this website:

<http://asd-www.larc.nasa.gov/SCOOOL/>

which has more general cloud-related information. It includes Spanish translation of at least some of the materials.

I hope this is helpful. If you have other specific questions, I will be glad to try to help.

Lin H Chambers

Dr. Lin Hartung Chambers

Lin.H.CHAMBERS@NASA.GOV

Mail Stop 420
21 Langley Boulevard
NASA Langley Research Center
Hampton, VA 23681-2199

Climate Science Branch
Science Directorate
Building 1250, Room 172

Phone +1 757 864-4371
Fax +1 757 864-7996

Anexo II: Hojas de recogida del diario científico

Anexo III: Hoja de cálculo con los datos

·
·
·
·
·

Índice

Abstract.....pag 2

Reconocimientos.....4

Introducción.....5

Metodología.....8

Resultados.....11

Discusión.....17

Conclusiones.....21

Bibliografía.....22

Apéndices.....23

Anexo I.....23

Anexo II (diario científico).....24

Anexo III.....25