

## MODELO DE LA EMISION DE INCENDIOS EN TERRENOS ABRUPTOS

F. Rosa González, J.C. Pérez Darías, A. González Fernández y F. Herrera Cabello.

*Laboratorio de Comunicaciones y Teledetección.*

*Departamento de Física Fundamental y Experimental.*

*Universidad de La Laguna*

*Av. Francisco Sanchez s/n. Tfno: (922) 635480; Fax: (922) 256973*

**RESUMEN.**- En este trabajo, tras una introducción a los parámetros que influyen en la emisión de radiación en un incendio, como son la composición química, la distribución física del combustible y la disposición geométrica de la emisión respecto del detector, se realiza un modelo de dos componentes (de temperaturas diferentes) para tratar de explicar las temperaturas de brillo observadas en los canales 3, 4 y 5 del AVHRR a bordo de los satélites NOAA. Se obtienen las curvas de saturación del canal 3 para los casos de emisión Lambertiana y emisión Isótropa y se lleva a cabo una discusión de los resultados con datos reales en función de los parámetros del modelo de dos componentes. Por último se introduce la necesidad de nuevas componentes al modelo, con la consiguiente complicación que esto implica.

**ABSTRACT.**- In this paper, we made an introduction of the parameters that affect the emission of radiation in a forest fire, like the chemical composition, the physical distribution of the fuel and the geometrical arrangement of the emission respect to the detector, and we build up a model based on two components of different temperatures in order to explain the brightness temperatures observed at the channels 3, 4 and 5 of the AVHRR on board of the NOAA satellites. We obtain the saturation curves for the third channel in the two cases of Lambertian and Isotropic emission and discuss the results with real data based on the parameters of the two components model. At the last, we see the convenience of introduce new components to the model, even though this implies an added complication.

### 1.- INTRODUCCION

Desde que el Laboratorio de Comunicaciones y Teledetección (LCT) comenzó sus operaciones regulares en Noviembre de 1993, se está en disposición de analizar los datos de alta resolución que envían los satélites NOAA de órbita polar. La sensibilidad del canal 3 del sensor AVHRR a bordo de estos satélites a las altas temperaturas de los incendios, hace plantear el estudio de la detección de la emisión que proviene de los incendios desde dos puntos de vista, uno operativo que realiza el estudio de algoritmos eficaces para la detección de focos de incendio a partir de estos datos (A. González Fernández en esta reunión), y otro en el que se realiza el estudio de la emisión (DeWitt 1988) para tratar de obtener los efectos de los distintos parámetros en la radiancia recibida en los canales térmicos del sensor. En este último sentido es necesario tener en cuenta la emisividad y la direccionalidad de la emisión, la inclinación del terreno respecto de la línea que lo une con el satélite, y los parámetros de transmisión y emisión atmosférica en la banda que se esté considerando. (Ver figura 1.)

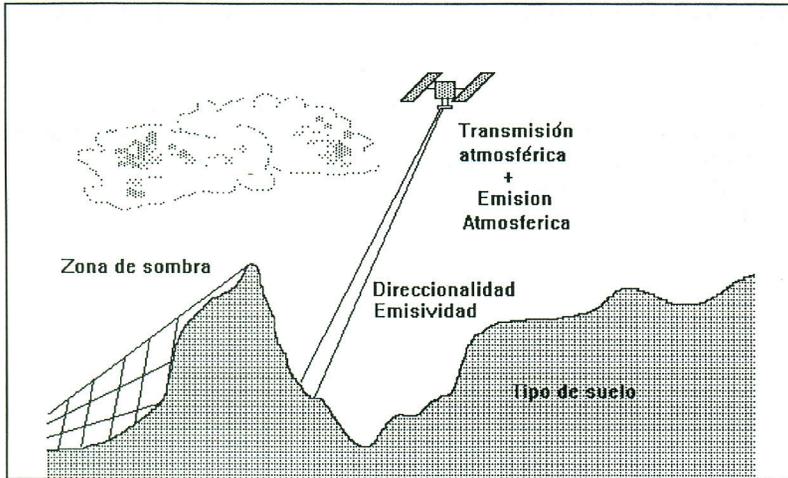


Figura 1.- Gráfico esquemático de la observación de la radiancia desde un satélite y los parámetros que la influyen en un terreno abrupto.

Se estudiarán dos aspectos de la emisión, la “emisión espectral” en la que se estudiará la composición espectral de la luz recibida y la “emisión direccional” en la que se estudiará la forma en que la emisión depende de la dirección de observación.

### 1.1.- Espectro de la emisión

Hay que distinguir entre las distintas partes de un incendio, como son el combustible ardiendo, la llama y el humo. Estas tres partes tienen, a grandes rasgos, la misma composición química,  $H_2O$ ,  $CO_2$ ,... mientras que su temperatura es bastante diferente. Podemos en una primera aproximación suponer que la emisión espectral de un punto del incendio viene condicionada exclusivamente por su temperatura y responde a la distribución espectral para un cuerpo negro. De este modo la radiancia en unidades de frecuencia viene expresada por:

$$B_\nu = \frac{2h\nu^3}{c^2 \left( e^{\frac{h\nu}{kT}} - 1 \right)} \quad (1)$$

En el caso en que queramos tomar en consideración que el emisor tiene una emisión espectral diferente de la de un cuerpo negro debemos introducir la emisividad espectral, un factor que resulta del cociente de la radiancia espectral del emisor y la del cuerpo negro a la misma frecuencia. La emisividad tiene para distintos emisores distintos comportamientos que cualitativamente podemos denominar como, continuo, líneas y bandas. Las líneas espectrales se originan en gases con estructuras simples como el hidrógeno o algún otro gas monoatómico, El continuo en emisores con estructuras moleculares complejas y la emisión en bandas en aquellos que no son ni tan simples como los primeros ni tan complicados como los segundos, como es el caso de los cuerpos gaseosos con estructuras complejas (Agua, Anhídrido carbónico, etc.), sólidos regulares etc.

Además de la composición espectral de la radiación emitida por un emisor, debe tenerse en cuenta la composición direccional de esta emisión.

## 1.2.- Direccionalidad de la emisión

La emisión se puede producir con distintas configuraciones direccionales. En el caso de que la cantidad de radiación que se emite por unidad de ángulo sólido es igual en todas las direcciones diremos que tenemos una emisión isótropa. En caso contrario que es anisótropa. Como caso particular de esta última se tiene la distribución direccional de Lambert en la que la radiación emitida varía como el coseno. En la figura 2 se muestra las distintas componentes de un modelo de emisión.

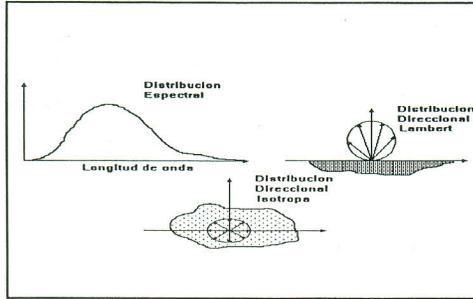


Figura 2.- Componentes de un modelo de emisión.  
Distribuciones direccionales principales.

## 1.3.- Evaluación de la radiancia de un pixel

En este subapartado se muestra como se puede calcular la radiancia promedio que emite el área subtendida por un pixel del detector. Para ello se debe sumar las contribuciones de cada elemento diferencial de área a la radiancia. El diferencial de radiancia que proviene de un elemento de área está afectado por el producto de la radiación espectral, que supondremos un cuerpo negro, y la función de emisión direccional que la denominaremos  $f(q)$ . El argumento de esta función será el ángulo que forme el elemento diferencial de área y la línea que une el sensor con el elemento. La función tomará, en este modelo, dos expresiones dependiendo de que tengamos emisión isótropa ( $f(q)=1$ ) o Lambertiana ( $f(q)=\cos(q)$ ). La radiancia de un pixel, si suponemos que no es modificada desde que se emite hasta que se detecta, será:

$$R = \frac{\iint_{Area} B(\eta, \xi) f(v(\eta, \xi)) d\eta d\xi}{\iint_{Area} dx dy} ; d\eta d\xi = \frac{dx dy}{\cos(v(\eta, \xi))} \quad (2)$$

donde en la integración tenemos que distinguir entre las variables de área real ( $\eta, \xi$ ) y las de área proyectada ( $x, y$ ). Como se puede ver de la expresión (2), que relaciona los diferenciales de área con los diferenciales de área proyectada, la presencia de un coseno implica que la mayor simplificación del modelo, en lo que a direccionalidad se refiere, se produce cuando se tiene emisión Lambert. Sin embargo, cuando se mantiene que la emisión es isótropa debe arrastrarse el coseno en la integral y por lo tanto aumenta la radiancia con la inclinación del terreno.

## 2.- MODELO DE DOS COMPONENTES

El modelo de dos componentes trata de ser el modelo más simple para la radiancia que

proviene de un incendio. Para ello se supone que la emisión que contribuye a cada pixel tiene dos componentes de temperatura, una parte del área emite como un cuerpo negro a una temperatura  $T_s$  a la que denominaremos suelo, y el resto lo hace como un cuerpo negro a otra temperatura más alta  $T_i$  a la que se denomina incendio. Partiendo de esta hipótesis de trabajo en la que la emisión la estamos suponiendo Lambertiana, llegamos, tras sustituir en la expresión (2), a la ecuación para la radiancia (3), donde se expresa por medio del parámetro  $\hat{O}$ , el tanto por uno de área incendiada.

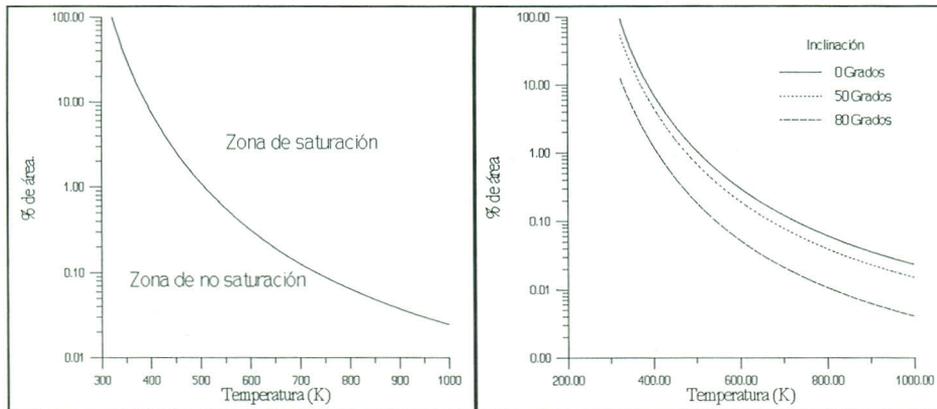
$$R = \alpha B(T_i) + (1 - \alpha)B(T_s) \quad (3)$$

Si partimos de la misma hipótesis pero suponemos que la emisión es isótropa para el área incendiada, obtendremos la expresión (4), donde aparece una dependencia con el ángulo de inclinación de la fuente emisora respecto a la superficie eficaz de detección. Además haremos la simplificación añadida de que la inclinación del terreno incendiado la tomamos constante.

$$R = \frac{\alpha B(T_i)}{\cos(v)} + (1 - \alpha)B(T_s) \quad (4)$$

### 2.1.- Curvas de saturación del canal 3

Como primer resultado del modelo podemos calcular las curvas de saturación del canal 3 del AVHRR en la que se busca la relación entre el porcentaje de área incendiada y la temperatura del incendio, de modo que la radiancia observada sea la radiancia de saturación de dicho canal.



**Figura 3.-** Curvas de saturación para el canal 3 del AVHRR a partir del modelo de dos componentes. a) Emisión Lambertiana, b) Emisión Isótropa.

En la Figura 3a se muestra la curva de saturación calculada si suponemos el modelo de emisión Lambertiana donde se ha tomado la temperatura de saturación del canal 3 como 321K, y la del suelo de 288K. En la Figura 3 b se muestra como el modelo en el que se introduce la componente isótropa presenta una dependencia con el ángulo de inclinación, observándose que al aumentar este la curva de saturación se desplaza hacia valores menores del porcentaje de área quemada, lo que implica que incendios de menor extensión darían lugar a la saturación del canal 3.

## 2.2.- Canales térmicos no saturados

El sensor tiene dos canales térmicos, el 4 y el 5, que no se saturan con la radiación que proviene de un incendio ya que están situados en el infrarrojo térmico y no en el medio como el canal 3. Sin embargo, aplicando el modelo de dos componentes a estas dos bandas la radiación recibida tendrá una contribución de cada una de las componentes en temperatura. Si tenemos en cuenta las tres temperaturas observadas para los tres canales, 3, 4 y 5 del AVHRR, podemos establecer un sistema de tres ecuaciones con tres incógnitas, con el inconveniente de que es un sistema no lineal, como se muestra en la ecuación (5). A diferencia de la ecuación (3), ahora se ha incluido la  $T_c^o$ , que es la temperatura de brillo observada en el canal c, y mediante la función de Planck obtenemos la radiancia en ese canal. Nuestro objetivo a partir de este sistema es obtener valores para la temperatura de incendio, la temperatura de suelo y para el porcentaje de área incendiada consistentes con los valores observados de temperatura de brillo.

$$\begin{aligned} B_3(T_0^3) &= \alpha B_3(T_i) + (1-\alpha)B_3(T_s) \\ B_4(T_0^4) &= \alpha B_4(T_i) + (1-\alpha)B_4(T_s) \\ B_5(T_0^5) &= \alpha B_5(T_i) + (1-\alpha)B_5(T_s) \end{aligned} \quad (5)$$

Debido a la imposición de la saturación del canal 3 la temperatura de brillo observada es la temperatura de saturación y no la temperatura real. Por lo tanto, la primera de las tres ecuaciones es una inecuación donde se expresa que la temperatura de brillo observada para el canal 3 es mayor que la de saturación. Si fijamos un valor para la temperatura de suelo, podemos calcular la temperatura de incendio y el porcentaje de área incendiada. Una vez obtenidos estos valores los introducimos en la primera ecuación que nos darán la temperatura en el canal 3. Si el valor obtenido es mayor que la temperatura de saturación, los valores,  $T_s$ ,  $T_i$  y  $\alpha$ , constituyen una posible solución.

## 2.3.- Problemas del modelo de dos componentes

El problema que principalmente afecta al cálculo del porcentaje de área no proviene de la evidente imperfección del modelo, sino de la esencia del problema, la saturación del canal 3. La incertidumbre en el valor de la temperatura de brillo para este canal, constituye una incertidumbre en cualquier intento de cálculo de los porcentajes de área o temperaturas de emisión. Este efecto queda claro en la Tabla I, donde se ha resuelto el sistema de ecuaciones (5) siguiendo el método descrito en el apartado anterior para distintas temperaturas de suelo. En ella se resaltan en negrita los registros que a nuestro entender podrían "encajar mejor" en la solución, basando esta decisión en la elección de valores acordes con estimaciones previas de los valores de la solución.

Una vez que se ha decidido que valores son más acertados para un problema concreto, se ve que el modelo de dos componentes tiene una fuerte inconsistencia al enfrentarse a incendios de un sólo frente que aparecerían a la vista de este modelo como pequeños fragmentos de incendio dispersos por los pixeles adyacentes al incendio. Este es un problema intrínseco a la definición del modelo de dos componentes y sólo puede ser salvado haciendo conjeturas sobre la forma de la emisión, y por lo tanto haciendo un modelo en el que se introduzcan más componentes de temperatura, la forma de la emisión debida al terreno y los demás factores que pueden ser importantes, transmisión, absorción, reemisión o dispersión atmosférica, etc.

T. Suelo	T. Incendio	alfa	T3	T4	T5
276.0000	395.0000	0.1089	324.3340	295.0000	293.9959
277.0000	402.0000	0.0963	325.6482	295.0000	293.9971
278.0000	410.0000	0.0844	327.1320	295.0000	293.9989
279.0000	420.0000	0.0724	329.0513	295.0000	293.9966
280.0000	431.0000	0.0617	331.0528	295.0000	293.9992
281.0000	445.0000	0.0514	333.6537	295.0000	293.9981
282.0000	462.0000	0.0419	336.7397	295.0000	293.9980
283.0000	483.0000	0.0334	340.4320	295.0000	293.9997
<b>284.0000</b>	<b>511.0000</b>	<b>0.0256</b>	<b>345.2484</b>	<b>295.0000</b>	<b>293.9996</b>
<b>285.0000</b>	<b>550.0000</b>	<b>0.0187</b>	<b>351.6686</b>	<b>295.0000</b>	<b>293.9980</b>
<b>286.0000</b>	<b>605.0000</b>	<b>0.0130</b>	<b>359.9241</b>	<b>295.0000</b>	<b>293.9997</b>
287.0000	695.0000	0.0082	371.8031	295.0000	293.9992
288.0000	865.0000	0.0045	389.2442	295.0000	293.9995

Tabla I.- Tabla con la solución del modelo para las temperaturas de brillo observadas en un incendio real típico.

### 3.- CONCLUSIONES

Una de las aplicaciones útiles del AVHRR es, sin duda, el uso del canal 3 como indicador de zonas incendiadas. Sin embargo, cuando uno enfrenta el problema de estudiar la distribución de temperaturas del incendio, aun utilizando el modelo más sencillo de emisión, se encuentra con la saturación del canal 3 que al mismo tiempo que nos indica que tenemos un incendio, no proporciona la radiancia recibida en esta banda.

Las curvas de saturación que se han obtenido son una buena muestra de la dependencia que la radiancia observada tiene en el modelo de emisión que se utilice, y que por lo tanto debe prestarse atención a la influencia de parámetros básicos como es la inclinación del terreno. Esto indica que deben desarrollarse modelos digitales del terreno que nos permitan mejorar los modelos de emisión.

El modelo de dos componentes nos permite tener una visión global del comportamiento del sensor cuando observa un incendio, sin embargo aun siendo el modelo más sencillo, no nos permite alcanzar una solución numérica única debida a la saturación del canal 3. Esto unido a que no se han considerado influencias tan importantes como la de la atmósfera, o la del humo del propio incendio, hacen pensar que una mejora en el planteamiento del modelo podría resultar en una mejor comprensión de la emisión que tiene lugar en los incendios, aun más cuando el terreno es abrupto y pueden presentarse emisiones no lambertianas.

### 4.- REFERENCIAS

- González Fernández, A., Pérez Darías, J.C., Rosa González, F. y Herrera Cabello, F. 1995. Detección, seguimiento y evaluación de incendios en Canarias. En esta reunión.
- DeWitt, D.P. y Nutter, G.D., 1988. Theory and practice of radiation thermometry. John Wiley & Sons, inc. USA.