

Indicador PER para fuego forestal y red de sensores para detección temprana de incendios forestales en Costa Rica

PSR indicator for forest fire and network sensors for early detection of forest fires in Costa Rica

Néstor Hernández Hostaller¹

Fecha de recepción: 4 de mayo de 2016

Fecha de aprobación: 18 de setiembre de 2016

Hernández-Hostaller, N. Indicador per para fuego forestal y red de sensores para detección temprana de incendios forestales en Costa Rica. *Tecnología en Marcha*. Vol. 30-2. Abril-Junio 2017. Pág 48-57.

DOI: 10.18845/tm.v30i2.3196

¹ Doctorado en Ciencias Naturales para el Desarrollo (DOCINADE) con énfasis en Tecnologías Electrónicas Aplicadas. Escuela de Ingeniería Electrónica. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Correo electrónico: nhernandez@itcr.ac.cr



Palabras clave

Indicador ambiental; PER; incendio forestal; red; sensores.

Resumen

Si la OCDE otorga a Costa Rica la oportunidad de ingresar, la utilización de tecnologías modernas para apagar y controlar los incendios forestales, contribuirán a fortalecer la percepción que se tiene del país y facilitarán sin duda el ingreso.

Se considera incendio forestal el fuego sin control en una zona boscosa. En Costa Rica, entre los años 1998 y 2006, los incendios forestales han afectado 35428ha y en el año 2007 al menos 2468ha, según información del CONIFOR (MINAET) [1]. Como efecto inmediato, esta situación contribuye a la desaparición del bosque. Esta realidad, además de otras actividades, como la tala y la caza, demandan contribuir al control de estas agresiones al bosque. Las tecnologías electrónicas actuales, aplicadas a la protección ambiental, ofrecen una solución posible, particularmente la utilización de redes inalámbricas de sensores (*RdSI*) para la *Detección Temprana de Incendios Forestales (DTIF)*, y aunque no se han explotado al máximo en Costa Rica, actualmente se investiga el diseño de redes de este tipo para utilizarlas en la protección del bosque.

La preparación anticipada, o la reacción que un país o región tenga para enfrentar los diferentes problemas o desastres ambientales que afectan el desarrollo sostenible, se pueden manifestar por medio de indicadores *PER* (presión estado respuesta) de la OCDE, (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico), y en el caso de los incendios forestales se emplea el indicador *IPIF* (Índice de presión de incendio forestal) que relaciona el área forestal quemada con el área forestal no afectada, o sea, el efecto de estos incendios se refleja en los indicadores ambientales respectivos.

Keywords

Environmental indicator; PSR; wildfire; network sensors.

Abstract

If the OECD gives Costa Rica a chance to enter, the use of modern technology to turn off and control forest fires contributes to strengthening the perception people have of the country and undoubtedly facilitates the income

A forest fire is a fire that expands without any control in a forest region. In Costa Rica, between 1998 and 2006 the forest fires have affected 35428 ha, and in 2007 at least 2468 ha, according to information from CONIFOR (MINAET) [1]. As an immediate effect, this situation contributes to the disappearance of the forest. This reality, in addition to other activities, such as logging and hunting, demand collaboration for the control of these attacks to the forest. Current electronic technologies, applied to environmental protection, offer possible solutions, particularly the use of wireless sensor networks (WSN) for *Early Detection of Forest Fires (EDFF)*. Even though these have not been fully exploited in Costa Rica, there are currently research and development activities aiming at the use of such networks in forest protection.

The advance preparation, or the reaction that a country or region has for facing various problems or environmental disasters affecting sustainable development, can be manifested through indicators PSR (Pressure-State-Response) OECD (Organization for Economic Co-operation and

Development), and in the case of wildfire the FFPI indicator (Forest Fire Pressure Index) that relates the forest area burned with the forest area that has not been affected. That means the effect of these fires is reflected in the respective environmental indicators.

Introducción

En este artículo se exponen y explican algunas justificaciones de la utilidad de valerse de las redes de sensores inalámbricas (*RdSI*) para el combate a los incendios forestales, y del mejoramiento de los indicadores ambientales *PER* que se lograría.

Hay diversos marcos o estructuras de análisis para la organización de un sistema de indicadores, siendo los basados en el marco causal los de mayor difusión internacional, ya que estudian las relaciones causa – efecto [2]. Los modelos utilizados basados en el principio de causalidad son dos: el modelo PER (Presión – Estado – Respuesta) desarrollado por la OCDE, (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico), y el FPEIR (Fuerzas Motrices – Presión – Estado – Impacto – Respuesta), siendo éste último una versión extendida del primero, desarrollada por la AEMA, (Agencia Europea de Medio Ambiente) [3].

El modelo PER supone que las actividades humanas ejercen a) una presión sobre el medio, b) que éste registra cambios de estado en función de ellas, y que c) la sociedad responde mediante la adopción de medidas que tratarían de mantener los equilibrios ecológicos que le parecen adecuados. Para cada una de las acciones contempladas se desarrollan indicadores de presión, de estado y de respuesta. EL indicador para incendio se designa *IPIF* (*índice de presión de incendio forestal*) [4], [5]. La utilización de una red de sensores inalámbricos para la *Detección Temprana de Incendios Forestales* (*DTIF*) permite una variante en el cálculo del indicador, y esto incide favorablemente en la realidad ambiental del país.

Se pretende lograr la detección temprana del fuego para facilitar la reacción inmediata de los guardaparques y que la extinción sea en corto tiempo. Para esto se propone diseñar y desarrollar una red de sensores inteligentes empotrados (capaces de detectar el fuego, generar la alarma correspondiente y transmitirla) con elementos e infraestructura de menor costo posible y topología multipunto-multipunto, de menor consumo energético, diseminados por el bosque y ubicados estratégicamente.

Para la ubicación de los sensores se propone como una fuerte opción utilizar los árboles como torres naturales. Sin embargo se debe investigar el efecto que pueda tener en los esquemas de detección y transmisión para cualquier tipo de sensor (fuego, sonido, humedad, temperatura) el hecho de que la red esté en los árboles, y cuáles variables se deben tomar en cuenta. Una red de este tipo realiza una función análoga a la de algunas especies animales que vigilan su entorno desde los árboles y dan la alerta cuando el peligro acecha.

Antecedentes

Una red inalámbrica de sensores es un conjunto de nodos interconectados entre sí mediante un canal de radiofrecuencia, que tienen una capacidad de procesamiento de datos acorde a la variable física y la función que desempeñan, figura 1.

Los indicadores de *Presión* describen procesos [6] como la liberación o emisión de sustancias, agentes físicos y biológicos, el uso de los recursos o el uso del suelo por las actividades humanas [7]. Las presiones ejercidas por la sociedad se manifiestan como cambios en las condiciones ambientales.

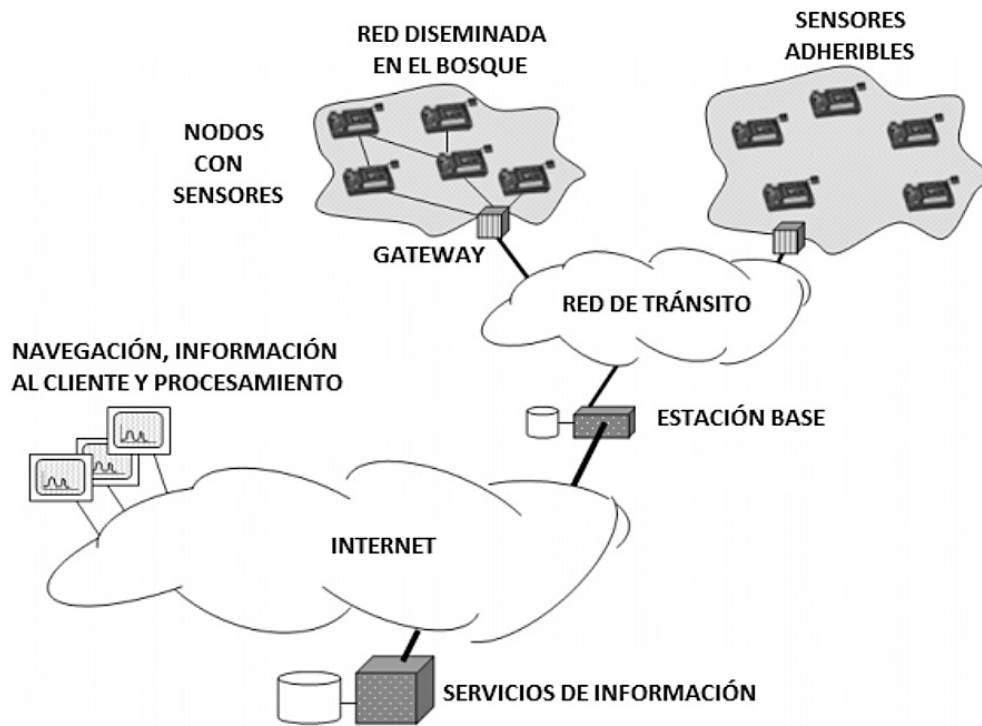


Figura 1. Red inalámbrica de sensores

Los indicadores de *Estado* describen, cuantitativa y cualitativamente, un fenómeno físico (como la temperatura), biológico (como la reserva marina) y químico (como la concentración de CO₂ en la atmósfera) en una cierta área del medio.

Debido a la presión sobre el medio, el estado del mismo cambia. Estos cambios provocan impactos sobre las funciones del medio, como la salud humana y de los ecosistemas, la disponibilidad de los recursos y la biodiversidad. Los indicadores de *Impacto* son usados para describir cambios en estas condiciones del medio.

Finalmente, los indicadores de *Respuesta* describen los esfuerzos sociales y políticos para prevenir, compensar, aminorar o adaptarse a los cambios en el estado del medio.

Las labores para el control del fuego forestal comprenden su detección como un primer paso. Se han investigado sistemas para detección temprana del fuego en Canadá, que pretenden la integración de variables atmosféricas (humedad relativa, temperatura del ambiente, clase de follaje, velocidad del viento, topología) y se obtiene un índice de susceptibilidad al fuego del medio [8], como se muestra en la figura 2.

En España se integran señales infrarrojas para la decisión y alarma ante la presencia de fuego, utilizando el procesamiento de la imagen infrarroja mediante segmentación, filtrado y la detección de oscilaciones [9]. Se ha explorado en China la posible detección en tiempo real de fuego mediante la diseminación de sensores organizados en grupos, que envían los datos recogidos a los respectivos nodos de grupo formando una red neuronal que procesa los datos y produce un índice de ambiente como indicador de posible desarrollo de fuego. El nodo de grupo envía su índice a un coordinador de nodos y de acuerdo a los índices decide el peligro presente de incendio [10]. En Corea del Sur se investiga la vigilancia del bosque con una red de sensores con acceso a Internet vía middleware que almacena los paquetes recibidos en un servidor de base de datos [11].



Figura 2. Incendio forestal.

En España se han desarrollado investigaciones para detectar la nube de humo del incendio mediante la utilización de cámaras de color, pero la iluminación de fondo produce falsas alarmas y el sistema es costoso. También se ha pretendido utilizar cámaras blanco y negro en la detección del humo, pero fallan con la distancia al fuego [12].

Existen diversos sistemas para la detección de incendios basados en la emisión infrarroja. En Europa, por ejemplo, se utilizan sistemas satelitales para detección, pero necesitan una extensión amplia de fuego para detectarlo y dependen de las condiciones atmosféricas [13], también se investiga la participación de varios satélites de órbita baja que parece prometedora [12]. Se han realizado investigaciones para la detección terrestre del fuego y pretenden realizarla automáticamente con sensores móviles y estáticos, que transmiten eventos a una unidad central de procesamiento, como el proyecto DEDICS de la Comisión Europea para el Programa de Aplicaciones Telemáticas [14]. En España se investiga el uso de sensores infrarrojos (cámaras) ubicados estratégicamente en el bosque, y se procesan las imágenes infrarrojas que estos capturen, con la intención de mejorar sustancialmente la relación señal a ruido y aumentar la probabilidad de detección correcta (PD), y disminuir la probabilidad de una falsa alarma (PFA) [15], [16]. Los sensores generan una alarma que transmiten a una estación central.

Criterio e indicador para incendio forestal

En la toma de decisiones la disponibilidad de información es un elemento que indiscutiblemente es básico, sin embargo el problema radica en la organización de la misma, y para tal efecto nos basamos en criterios, o sea aquellos temas o nombres de temas útiles para organizar la información y que a su vez son descritos por indicadores. Por ejemplo: el Agua, Salud, Seguridad Pública, Desarrollo Urbano, Obras pública, etc. Para medir cualquiera de estos criterios necesitamos de indicadores mismos que describen cualitativa o cuantitativamente a un criterio; por ejemplo: para el tema de salud un indicador sería el número hospitales por cada 100.000 habitantes; para el caso de seguridad pública sería el número y tipo de detenciones realizadas en un sector. Tomemos el ejemplo de España, figura 3, cuadros 4 y 5. En este país, el cálculo del indicador para incendio forestal comprende algunas variables [3]:

Metodología de cálculo: Los datos utilizados para el cálculo del indicador son proporcionados por el sistema estadístico del Ministerio de Medio Ambiente [3]:

- número de incendios, superficie forestal incendiada arbolada y no arbolada, porcentaje (%) de las principales causas, número de incendios por cada 10.000 ha de superficie forestal, superficie media de los incendios y datos relativos a 5 países mediterráneos, cuadro 3. (Elaboración propia por la Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental. Indicador ya calculado por la fuente).

Unidad de medida: Número de incendios y hectáreas de superficie.

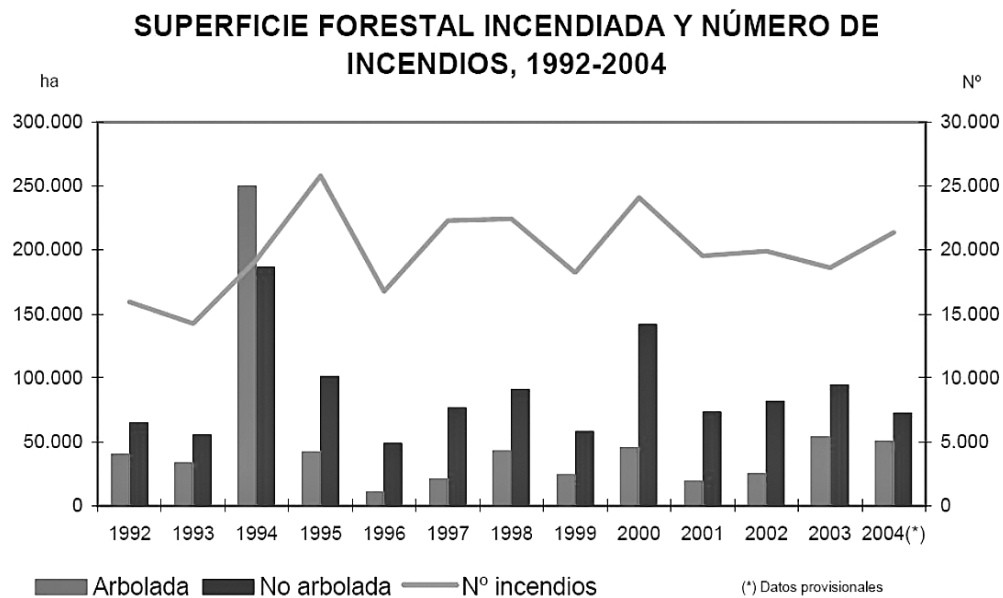


Figura 3. Superficie forestal incendiada y número de incendios en España.

Cuadro 1. Datos de España de superficie total incendiada.

SUPERFICIE TOTAL INCENDIADA (ha) Y NUMERO DE INCENDIOS, 1992-2004							
Año	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
Nº Incendios	15.995	14.253	19.263	25.828	16.771	22.319	22.445
Sup. Arbolada	40.439	33.421	250.433	42.380	10.531	21.326	42.959
Sup. No Arbolada	64.840	55.910	187.202	101.088	49.283	77.177	90.684
Año	1999	2000	2001	2002	2003	2004 (P)	
Nº Incendios	18.237	24.117	19.547	19.929	18.617	21.376	
Sup. Arbolada	24.034	45.358	19.353	25.197	53.674	50.961	
Sup. No Arbolada	58.183	141.67	73.935	82.275	94.499	72.856	

Cuadro 2. Datos de España de superficie media por incendio.

SUPERFICIE MEDIA POR INCENDIO (ha), 1961-2003							
Año	S. media por incendio	Año	S. media por incendio	Año	S. media por incendio	Año	S. media por incendio
1961	27.53	1972	26.32	1983	22.56	1994	22.72
1962	27.44	1973	24.67	1984	22.92	1995	5.55
1963	17.42	1974	34.76	1985	39.59	1996	3.57
1964	19.09	1975	43.46	1986	34.99	1997	4.41
1965	22.55	1976	27.00	1987	16.90	1998	5.95
1966	34.20	1977	31.85	1988	14.89	1999	4.51
1967	33.31	1978	51.89	1989	20.71	2000	7.75
1968	26.71	1979	37.88	1990	16.26	2001	4.77
1969	34.49	1980	36.58	1991	19.24	2002	5.39
1970	26.25	1981	27.42	1992	6.60	2003	7.96
1971	20.40	1982	23.36	1993	6.27	2004 (P)	5.79

Cuadro 3. Datos de varios países europeos.

Incendios/10.000 HA de superficie forestal. Media de los años 1961-2003					
	Grecia	España	Francia	Italia	Portugal
Media	6.69	7.13	9.08	27.87	85.67

Lo importante de utilizar la detección temprana de incendios forestales es que se provee una herramienta eficaz para la extinción de los incendios en sus inicios, y el rubro superficie forestal incendiada (cuadros 1 y 2) tendrá un valor mínimo, o nulo, en la medida en que se tenga una reacción rápida ante una alarma de incendio. Ante esta situación se plantea un nuevo indicador: la cantidad de incendios sofocados en forma temprana con respecto a las hectáreas quemadas por la propagación del fuego. Este nuevo indicador muestra un aumento real en la preocupación de la sociedad ante estos sucesos, y es una acción anticipada al gran incendio. En consecuencia, otros indicadores de estado y de respuesta tendrán una variación muy importante en su valoración.

En Costa Rica, para vigilancia del bosque, se utilizan sistemas de tierra con sensores en torres, y se practica el patrullaje u observadores vigilantes en torres o que se desplazan periódicamente [1]. Sin embargo, actualmente, se investiga la utilización de una red de sensores, intercomunicados entre sí, para la protección del bosque [17] contra tala, caza y fuego. Esta investigación está orientada a profundizar con la problemática de la detección temprana de incendios forestales

en Costa Rica, donde la mayor cantidad de incendios forestales son intencionales, provocados por cazadores, y a diferencia de la tala y la caza que son selectivas en su ejecución, el fuego produce un daño indiscriminado a la naturaleza pues todo se quema, todo se muere y todo se pierde.

Esta realidad exige que los sensores no solo estén ubicados estratégicamente (para mayor área cubierta) sino ocultos o muy bien disimulados (camuflados) y en el mayor número posible (para que haya redundancia de detección y control) lo que también agrega la exigencia del menor costo posible. Se espera mejorar el indicador IPIF cuando se aborde su cálculo al utilizar las redes de sensores mencionadas.

Metodología

Se seleccionan los sensores apropiados (principalmente temperatura, humo e infrarrojos) según el costo y desempeño. En el caso de sensores infrarrojos se investiga como alternativa la utilización de cámaras fotográficas de bajo costo adaptadas (o mas bien la utilización de los sensores de imagen que éstas tienen). Se ha avanzado en la adaptación de cámaras WEB (QuickCam Messenger de Logitech) para la detección de infrarrojos. La visualización del fuego lograda hasta el momento [17], [18] (remotamente a 130m de distancia, llama de 75cm de altura, con línea de vista, en el parque Prusia) promete ser una buena clave para la detección temprana, sin embargo, requiere de más pruebas para su validación estadística. La propuesta para el sistema de comunicación se presenta en [17], que consiste en que dada una alarma, el sensor activado la pasa a un nodo cercano, apto para continuar con la comunicación a otro nodo, hasta que el mensaje llegue al personal encargado.

El procesamiento es diseñado de acuerdo a la variable controlada según el sensor que se utilice. Se plantea la comparación de datos de referencia almacenados con nuevos datos adquiridos, de acuerdo a los criterios de procesamiento, para que el sensor decida si existe fuego y emita la alarma. Se utiliza una torre de altura variable para producir y simular fuego de varias alturas dentro del bosque en forma controlada, y así poder entrenar los sensores. Para disminuir el consumo de potencia el modelo de detección y procesamiento debe de ser lo más eficiente posible. Asimismo, solo se debe de transmitir la alarma (tipo on-off) para disminuir el flujo de datos en la transmisión, la cual demanda el mayor consumo. Los datos solo deberán incluir la identificación del nodo, y su ubicación espacial.

Como alternativa de investigación actual para la *DTIF* se tiene la detección de humo y CO en el bosque, cuya presencia significa la aparición del fuego forestal. Esta investigación se orienta a la adaptación de sensores de humo y CO comerciales (diseñados para trabajar en espacios cerrados como edificios y habitaciones) para que trabajen en espacio abierto como el bosque.

La distribución de los sensores depende de las características del terreno por cubrir, y principalmente del alcance de detección de los sensores. Para este propósito se propone una red ad hoc que puede ubicarse en los árboles pues hay ventajas: menor costo (al aprovechar esta infraestructura natural), más cobertura, menor atenuación del follaje a la detección pues hay mejor y más fácil línea vista entre los sensores y las fuentes de señal por detectar, y mejor intercomunicación entre los sensores y, si se ubican en las copas, eventualmente se facilita la toma de energía del sol. La desventaja es el movimiento aleatorio de los árboles y la presencia de sus ramas y hojas en la detección del fuego, lo que complica el modelado del sistema, lo cual requiere la colaboración de especialistas en varias disciplinas por ejemplo, los investigadores de la Escuela de Ingeniería Forestal, donde hay especialistas en escalar altos árboles (por ejemplo para recolectar semillas) y actualmente colaboran con el proyecto mencionado en [17].

Resultados esperados

Se espera aumentar el alcance logrado (133m, llama de 75cm altura) en la visualización de un fuego, ubicando el sensor para la mejor línea vista desde el árbol. Lograr una metodología de entrenamiento de algoritmos con capacidad de aprendizaje para la detección del fuego en lugares específicos. Esto produce una detección temprana mejorada de incendios forestales en Costa Rica, mejor control y disminución de los mismos pues el sistema es aplicable a otros parques y zonas protegidas.

Se espera mejoría de las pruebas de transmisión para la topología multipunto- multipunto de la red al ubicarla en los árboles.

Con el tiempo podría darse un cambio cultural y de actitud de la población de diversas comunidades hacia el cuidado del bosque por ser éste un sistema de bajo costo y fácil de implementar. Esto conlleva a mejores condiciones ambientales para la salud y la industria del turismo en Costa Rica.

Conclusiones

Para mejorar la lucha contra los incendios forestales, las redes de sensores inalámbricas (*RdSI*) ofrecen una alternativa tecnológica de gran utilidad, cuya aplicación vale la pena se investigue continuamente.

Los resultados de la investigación de esta naturaleza en *DTIF* permitirán establecer la metodología de utilización de estas redes en todo el territorio boscoso nacional para detectar fuegos con llamas de pequeñas dimensiones (como las comentadas: 75cm de altura) o en detectar la presencia de humo y CO en el bosque.

En el caso de que Costa Rica decida intentar el ingreso a una organización como la *OCDE*, la utilización de los resultados de esta investigación para implementar redes de sensores inalámbricos para la detección temprana de incendios forestales (*DTIF*), mejorará los índices *PER* respectivos al fuego forestal pues habrá una menor cantidad de bosque quemado, y esto mejoraría la percepción que se tendría del país ante un eventual ingreso a la *OCDE* si se diera tal oportunidad.

La principal ventaja que se obtiene al utilizar los resultados de esta investigación es que se mejora la protección del bosque, ante la degradación producida por uno de las principales causantes como lo son los incendios forestales

Referencias

- [1] CONIFOR. Estrategia Nacional de manejo del fuego 2006-2010. Ministerio de Ambiente, Energía y Telecomunicaciones (MINAET), Costa Rica.
- [2] Questionnaire: selection criteria of protected forest areas (PFA) in Europe. http://www.efi.int/files/attachments/selection_criteria_finland.doc <http://www.google.co.cr/search?q=PFA+forest+fire+indicators&btnG=Buscar&hl=es&sa=2>
- [3] Banco Público de Indicadores Ambientales del Ministerio de Medio Ambiente. http://www.mma.es/secciones/calidad_contaminacion/indicadores_ambientales/procesp_seleccion/pdf/RIEIncendiosForestales.pdf
- [4] Informe CEPAL Cap. III. Iniciativas de países latinoamericanos, p 40-43. <http://secgen.comunidadandina.org/sima/files/Cap%203%20Inicitivas%20de%20países%20latinoamericanos.pdf>
- [5] Revista Ecosistemas. AEET: Asociación de Española Ecología Terrestre. La sustentabilidad forestal de Asturias (1975-2000). Propuesta metodológica, análisis e indicadores ambientales.

- http://www.revistaecosistemas.net/index_frame.asp?pagina=http%3A/www.revistaecosistemas.net/articulo.asp%3FId%3D105
- [6] Punto Focal de Residuos de Cantabria: Sistemas de Indicadores http://www.puntofocalderesiduos.unican.es/Productos/Informes/Comunicacion_Conama.pdf
- [7] Indicadores de presión. http://app1.semarnat.gob.mx/dgeia/cd_indicadores08/indicadores_2008/07_forestales/07_forestales_presion.html
- [8] Hefeda Mohamed. Forest Fire Modeling and Early Detection using Wireless Sensor Networks. ACM Journal Name, Vol.V, No, Month 20YY. Simon Fraser University, Canada
- [9] A. Ollero, J.R. MartínezdeDios, B.C Arrúe. Integrated Systems for Early Forest Fire Detection. III International Conference on Forest Fire Research. 14th Conference on Fire and Forest Meteorology. Vol. II , pp 1997-1998, Luso, 16/20 November 1998.
- [10] Llyang YU, Neng Wang, Xiaoquiao Meng. Real Time Forest Fire Detection with Wireless Sensor Networks. 2005 IEEE
- [11] Byungrask Son, Yong-sork Her, Jung –Gyu Kim. A Design and Implementation of Forest Fires Surveillance System based on Wireless Networks for South Korea Mountains. IJCSNS International Journal of Computer Science and Network Securi, VOL.6 N° 9B, September 2006
- [12] Begoña C. Arrue, Aníbal Olero, Ramiro Martínez de Dios. University of Sevilla, Spain. An intelligent system for false alarm reduction in infrared forest fire detection. IEEE INTELLIGENT SYSTEMS, June 2000.
- [13] J.L. Casanova, A.Calle, J.A. Sanz. Forest Fire detection and monitoring By means of an integrated MODIS-MSG SYSTEM.
Remote Sensing Laboratory of University of Valladolid (Spain)
IEEE 2005.
- [14] Martínez de Dios J.R., B. C. Arrue and A. Ollero. Distributed Intelligent automatic forest fire detection system. Dpto de Ingeniería de Sistemas y Automática, Escuela Superior de Ingenieros. INNOCAP'99 of April..
- [15] Ignacio Bosch, Soledad Gómez, Luis Vergara. Automatic Forest Surveillance based on infrared sensors. 2007 International Conference on Sensor Technologies and Applications. 2007 IEEE.
- [16] Ignacio Bosch, Soledad Gómez, Luis Vergara, Jorge Moragues. Infrared image processing and its application to Forest fire surveillance. "2007 IEEE
- [17] Hernández Hostaller Néstor. Diseño de una red inalámbrica de telecomunicaciones para la protección ambiental en el bosque. Informe Final. Vicerrectoría de Investigación y Extensión. Instituto tecnológico de Costa Rica. Julio 2007.
- [18] Villalobos Fernández Leonardo. Diseño de un controlador embebido para cámara USB para la detección de incendios forestales del proyecto "Diseño de una red inalámbrica de telecomunicaciones para la protección ambiental en el bosque". Vicerrectoría de Investigación y Extensión. Instituto tecnológico de Costa Rica. Noviembre de 2006.