

# Fusión de Datos de Temperatura, Humedad e Iluminación para la Detección de Incendios

Luis Aram Tafoya, Jorge A. Atempa, Arnoldo Díaz-Ramírez, *Miembro IEEE* y Juan F. Ibáñez

**Resumen**—Una de las áreas de aplicación de las redes de sensores inalámbricas que mas atención ha recibido recientemente es la detección de eventos. Uno de los eventos que causa enormes pérdidas económicas y materiales son los incendios. En este artículo, se propone y evalúa un algoritmo para la detección de incendios en bosques. El algoritmo utiliza un método de fusión de información y está diseñado para implementarse en una red que contenga sensores de temperatura, humedad e iluminación. Para evaluar el algoritmo se registraron mediciones por varios días y se generaron artificialmente algunos incendios. Los resultados obtenidos en los experimentos demuestran que el algoritmo es capaz de detectar eficientemente los incendios existentes.

**Temas Claves** — Redes de Sensores Inalámbricas, Fusión de Información, Redes Ad Hoc, Detección de Eventos

## I. INTRODUCCIÓN

Las redes de computadoras MANET (Mobile Ad Hoc Networks) o redes *ad hoc* representan sistemas distribuidos complejos, formados por nodos móviles con capacidades de comunicación inalámbrica. Estas redes pueden auto-organizarse libremente en topologías arbitrarias y temporales, permitiendo que personas y dispositivos puedan comunicarse fácilmente sin necesidad de infraestructura preexistente (por ejemplo, sin necesidad de un punto de acceso) [5]. Las redes de sensores inalámbricas o WSN (Wireless Sensor Networks) son un caso especial de las redes *ad hoc*. En este tipo de redes, los nodos o *nodes* contienen sensores capaces de medir las condiciones del ambiente, tales como temperatura, humedad, presión barométrica, movimiento, presencia de plagas o de componentes químicos, entre otras. Las redes de sensores tienen un gran potencial para utilizarse en diversas aplicaciones, tales como rastreo de objetivos militares, vigilancia, detección de eventos, recuperación después desastres naturales, control de la salud, exploración en zonas de alto riesgo o detección de sismos, por mencionar algunas [23].

Debido a las limitaciones en memoria y capacidad de procesamiento, los nodos cuentan con un radio para transmitir de manera inalámbrica únicamente la información requerida y parcialmente procesada. Esta información es enviada hacia una estación base, como por ejemplo, una computadora portátil o

una tableta electrónica. La estación base recibe la información de los nodos, la procesa y lleva a cabo las acciones necesarias, como por ejemplo, informar a los usuarios si algún evento de interés ha ocurrido. Generalmente la fuente primaria de energía de los nodos son baterías, y en algunos casos del medio ambiente se obtiene una segunda fuente de energía (por ejemplo, utilizando paneles solares). Por otra parte, los actuadores pueden ser incorporados a los nodos dependiendo del tipo de sensores y de la aplicación.

Una de las aplicaciones para redes de sensores que mayores beneficios puede proporcionar es la detección de incendios en bosques. Tan solo en el 2010, en el estado de California (Estados Unidos) se registraron aproximadamente 5,000 incendios forestales. En ese mismo estado, el promedio de incendios de los últimos cinco años es de 4,972 incendios por año, con pérdidas económicas anuales estimadas en \$ 292,962,667 dólares americanos, y una importante cantidad de personas afectadas [19].

Existen diversos métodos para monitorizar incendios forestales. Un método tradicional y que aún se utiliza consiste en revisiones visuales por parte de personas colocadas en torres de observación [11]. Desafortunadamente, este método tiene limitaciones y esta expuesto a errores humanos. Por esta razón es que se han propuesto técnicas basadas en el uso de la tecnología, como el Sistema Automático Avanzado de Vídeo Vigilancia [3] o en el uso de imágenes obtenidas por satélites [18]. Sin embargo, la baja resolución espacial y temporal de las imágenes obtenidas por los satélites puede retardar la detección de los incendios, de tal manera que cuando éstos sean detectados ya se hayan propagado demasiado.

Recientemente se han publicado algunas propuestas que utilizan redes de sensores inalámbricas para monitorizar y detectar incendios forestales [1]. La posibilidad de utilizar múltiples sensores, así como el despliegue de los nodos en sitios que no son visibles por los satélites, han incrementado la posibilidad de detectar incendios con mayor precisión.

Las aplicaciones de detección de eventos para redes de sensores son esencialmente procesos de fusión de información [17]. La fusión de información puede definirse como la utilización de teoría, técnicas y herramientas creadas y aplicadas para explotar la sinergia en la información adquirida de múltiples fuentes (sensores, bases de datos, etc), de tal manera que la decisión o acción resultante es en algún sentido mejor (cualitativa o cuantitativamente) de lo que sería posible si cualquiera de esas fuentes hubiese sido utilizada individualmente [7].

En este artículo se propone y evalúa un algoritmo para la detección de incendios en bosques. El algoritmo utiliza

Luis Aram Tafoya Díaz es estudiante de Maestría del Instituto Tecnológico de Mexicali, Av. Tecnológico s/n, Col. Elías Calles, Mexicali, B.C., 21376 (e-mail: [aramtd@itmexicali.edu.mx](mailto:aramtd@itmexicali.edu.mx))

Jorge Antonio Atempa Camacho es estudiante de Ingeniería del Instituto Tecnológico de Mexicali (e-mail: [jatempa@itmexicali.edu.mx](mailto:jatempa@itmexicali.edu.mx))

Arnoldo Díaz-Ramírez es profesor-investigador del Instituto Tecnológico de Mexicali, adscrito al Departamento de Sistemas y Computación (e-mail: [adiaz@itmexicali.edu.mx](mailto:adiaz@itmexicali.edu.mx))

Juan Francisco Ibáñez Salas es profesor-investigador del Instituto Tecnológico de Mexicali, adscrito al Departamento de Sistemas y Computación (e-mail: [pacois@itmexicali.edu.mx](mailto:pacois@itmexicali.edu.mx))

un método de fusión de información basado en umbrales y está diseñado para implementarse en una red que contenga sensores de temperatura, humedad e iluminación. Para evaluar el algoritmo se registraron mediciones por varios días y se generaron artificialmente algunos incendios. Los resultados obtenidos en los experimentos demuestran que el algoritmo es capaz de detectar eficientemente los incendios existentes.

El resto del documento está organizado de la siguiente manera. La Sección II presenta el trabajo relacionado. En la Sección III se discuten las observaciones derivadas de las mediciones que se hicieron, y se presenta el algoritmo propuesto. En la Sección IV se muestran los resultados obtenidos en la evaluación del algoritmo. Finalmente, en la Sección V se presentan las conclusiones y el trabajo futuro.

## II. TRABAJO RELACIONADO

Una de las primeras propuestas del uso de comunicación inalámbrica para la detección de fuegos fue el sistema SIG-MASPACE [9], que utilizaba detectores de humo. En [4], Chen *et al.* propusieron un método que utiliza fusión de datos para la detección de incendios. El algoritmo considera la temperatura, la densidad del humo y la densidad de CO, y utiliza redes neuronales e inferencia difusa para determinar si un incendio se ha producido. Sin embargo, ninguna de estas dos propuestas considera el uso de redes de sensores inalámbricas.

Doolin y Sitar describieron en [10] un sistema basado en redes de sensores para monitorizar incendios en bosques. Los nodos del sistema estaban compuestos por sensores de temperatura, humedad y presión barométrica, y con unidades GPS. Sin embargo, los autores no describen algún método para detectar incendios.

Yu *et al.* propusieron en [24] un paradigma para la detección de incendios forestales que utiliza redes de sensores inalámbricas. En su propuesta, los nodos están equipados con sensores de temperatura, humedad relativa, humo y velocidad del viento, y se organizan en *grupos*<sup>1</sup> que designan un nodo líder. Con la información recolectada por los nodos, el nodo líder calcula un *índice climático*<sup>2</sup> utilizando una red neuronal. Este índice es enviado por los nodos líderes al nodo administrador. Con base en los índices climáticos de los grupos que forman la red, el nodo administrador determina entonces si existe algún riesgo de incendio.

*FireWxNet* fue propuesta por Hartung *et al.* en [13], y consiste en un sistema multinivel para monitorizar las condiciones ambientales de bosques con gran incidencia de incendios. Este sistema utiliza WSNs capaces de medir temperatura, humedad relativa, así como la velocidad y dirección del viento. *FireWxNet* fue diseñada para tener una mejor comprensión de las condiciones ambientales relacionadas con los incendios, por lo que no considera su detección.

Sha *et al.* propusieron en [20] la arquitectura *FireNet* para apoyar las operaciones de rescate en incendios. La propuesta consideró que los bomberos incluyeran en su indumentaria un nodo equipado con diversos sensores, de tal manera que se midieran las condiciones ambientales durante las labores de

rescate y de control del incendio. Con base en la información recolectada, se pudieran tomar decisiones en tiempo real en caso de que las condiciones del incendio representaran un riesgo a la integridad física de los bomberos.

Son *et al.* propusieron en [21] el sistema *Forest-Fires Surveillance System* (FFSS) basado en el uso de WSNs. El sistema estaba conformado por varias redes de sensores, una capa de software intermedio (*middleware*) y una aplicación Web. Los nodos incluían sensores de temperatura, humedad y humo. El método utilizado para determinar la existencia de un incendio se basó en un índice definido por el gobierno de Corea del Sur. La propuesta se enfocó principalmente en aspectos de diseño e implementación del sistema.

En [2], Bernardo *et al.* propusieron una aplicación para detectar incendios utilizando redes de sensores inalámbricas dispersas. Los principales objetivos de la aplicación fueron: la eficiencia en el uso de la energía, bajo retardo en la comunicación y resistencia a la pérdida de nodos. Las mediciones utilizadas fueron temperatura, humedad relativa e iluminación. Sin embargo, la propuesta no explica la manera en que éstas mediciones son utilizadas para determinar la posible existencia de algún incendio.

Una WSN fue utilizada por Vescoukis *et al.* en [22]. Los nodos estaban equipados con sensores de temperatura. La técnica propuesta para detectar un incendio era muy sencilla: si la temperatura registrada por un nodo era superior a los 55°C, se emitía una alarma indicando la posible existencia de fuego.

Zervas *et al.* propusieron en [24] el proyecto *SCIER*<sup>3</sup>, con la finalidad de detectar incendios en sus etapas iniciales. El proyecto utiliza sensores de temperatura en los nodos que conforman la red y el criterio denominado *Maximum Likelihood* para determinar la posible existencia de un incendio.

En [15], Hu *et al.* presentaron un sistema formado por una red de sensores y un protocolo de encaminamiento. En el documento, los autores mostraron los resultados de los experimentos que probaron la factibilidad del protocolo. Zhang y Wang propusieron un sistema de alarma para incendios con base en una WSN en [25]. La propuesta describe tan sólo la arquitectura de la red y el protocolo de comunicación.

Hefeeda y Bagheri presentaron en [14] el diseño y evaluación de una WSN para la detección temprana de incendios forestales. En el documento, los autores describieron el sistema *Fire Weather Index* [8] y mostraron cómo utilizarlo en la detección de incendios. Registraron datos reales y analizaron el comportamiento de los incendios, principalmente en relación a la temperatura y humedad. Además, modelaron el problema de la detección de incendios como un problema de cobertura- $k$  ( $k \geq 1$ ) y propusieron algunos algoritmos de aproximación para solucionarlo.

Finalmente, en [6] da Penha *et al.* propusieron y evaluaron dos algoritmos para la detección de incendios, basados en técnicas de fusión de información. Los datos recolectados por la WSN fueron temperatura e iluminación. Los algoritmos propuestos utilizaron los métodos basado en umbrales y Dempster-Shafer [17].

<sup>1</sup>cluster

<sup>2</sup>weather index

<sup>3</sup>Sensor and Computing Infrastructure for Environmental Risks



Figura 1. Generación artificial de incendio

### III. ALGORITMO PARA LA DETECCIÓN DE INCENDIOS FORESTALES

Para poder definir el algoritmo para la detección de incendios, era importante en primer lugar conocer el comportamiento de las condiciones ambientales. Para esto, se midieron los valores de la temperatura, humedad relativa e intensidad de la luz por varios días durante los meses de Julio y Agosto, ya que son los meses con mayor incidencia de incendios en la región norte del estado de Baja California, México, y del sur del estado de California, Estados Unidos. Estas mediciones se hicieron sin la existencia de incendios. Además, se generaron artificialmente algunos incendios y se registraron los valores medidos por los sensores, con la finalidad de comparar estos valores con los obtenidos en condiciones normales. Los incendios fueron simulados utilizando una antorcha, como se muestra en la Fig. 1. Las características de la antorcha se eligieron buscando crear condiciones similares a las que existen al iniciar un incendio, ya que el algoritmo tiene como finalidad detectar los incendios en sus etapas iniciales. El algoritmo propuesto se definió tomando en consideración el análisis de la información recopilada.

Para la elaboración de la aplicación que registró las mediciones de los sensores y los envió a la estación base se utilizó el lenguaje de programación nesC [12] (versión 1.2.4) y el sistema operativo TinyOS [16] (versión 2.1). Cada nodo está compuesto por una plataforma de hardware *IRIS* con una placa sensora modelo *MTS420/400CC*. La estación base está compuesta por una plataforma de hardware *IRIS* con un procesador *ATmega1281*, en una base programadora para la adquisición de datos modelo *mib520*.

#### III-A. Observaciones

Los nodos estuvieron midiendo los valores de temperatura, humedad relativa e intensidad de la luz durante varios días, en condiciones normales y en presencia de incendios artificialmente generados. Estos sensores fueron elegidos ya que están presentes en muchas plataformas WSN, y una de las motivaciones del proyecto ha sido mostrar que es posible detectar eficientemente la mayoría de los incendios forestales utilizando sensores económicos y de alta disponibilidad. Sin

embargo, la utilización de sensores adicionales, como detectores de humo, cámaras de vídeo y de velocidad del viento mejorarían la eficiencia del sistema, a expensas de mayor costo y consumo de energía.

Los sensores fueron instalados en árboles de una de las áreas de jardines del campus universitario, que presenta condiciones similares a los bosques de la región, y registraron los datos medidos durante los meses de Julio y Agosto de 2011. La información recopilada fue analizada empíricamente con la finalidad de identificar las características que permitan diferenciar las condiciones normales de las condiciones que prevalecen en un incendio. Las conclusiones obtenidas del análisis de los datos son las siguientes:

1. Las mediciones de las condiciones ambientales (temperatura, humedad relativa e intensidad de la luz) muestran un comportamiento cíclico durante el día, como puede observarse en la Fig. 2. Esta observación es importante ya que permite utilizar la correlación temporal entre las mediciones actuales y las mediciones de los días u horas previas.
2. Durante la noche, las mediciones de la intensidad de la luz se mantienen en un nivel constante muy bajo, mientras que durante el día se mantiene en un nivel constante muy alto. La transición de noche a día y viceversa genera un cambio drástico del nivel de intensidad. Este cambio súbito se da en un lapso menor a los 30 minutos.
3. La temperatura y la humedad mantienen una relación de sus valores inversamente proporcional. Esto es, cuando hay un incremento en la temperatura existe un decremento en la humedad, tanto en condiciones normales como en presencia de incendios.
4. El evento que provoca un incremento rápido en la temperatura y por lo tanto un decremento rápido en la humedad, es la exposición del *mote* a los rayos directos del sol.
5. Cuando ocurre un incendio, el valor de la temperatura se incrementa drásticamente, mientras que el de la humedad se decrementa de manera muy rápida. La intensidad de la luz no muestra grandes cambios, a diferencia de lo reportado por da Penha *et al.* en [6]. Cuando se utilizaron antorchas más grandes si se detectó un cambio en los niveles de intensidad de la luz. Sin embargo, como se busca que la aplicación detecte el incendio en su etapa inicial, se utilizaron antorchas de menor tamaño.
6. Cuando el incendio ocurre en la noche las variaciones de la temperatura y humedad son similares a los incendios de día. Sin embargo, el incremento en la intensidad de la luz es significativo.
7. Para identificar un incendio de noche, puede utilizarse además de la temperatura, el valor de la intensidad de la luz. Si el cambio en éste último es muy grande, es muy probable que se trate de un incendio de noche. Es importante señalar que al amanecer también se tiene un rápido incremento en la intensidad de la luz. Sin embargo, en este caso la temperatura no muestra un incremento tan grande.



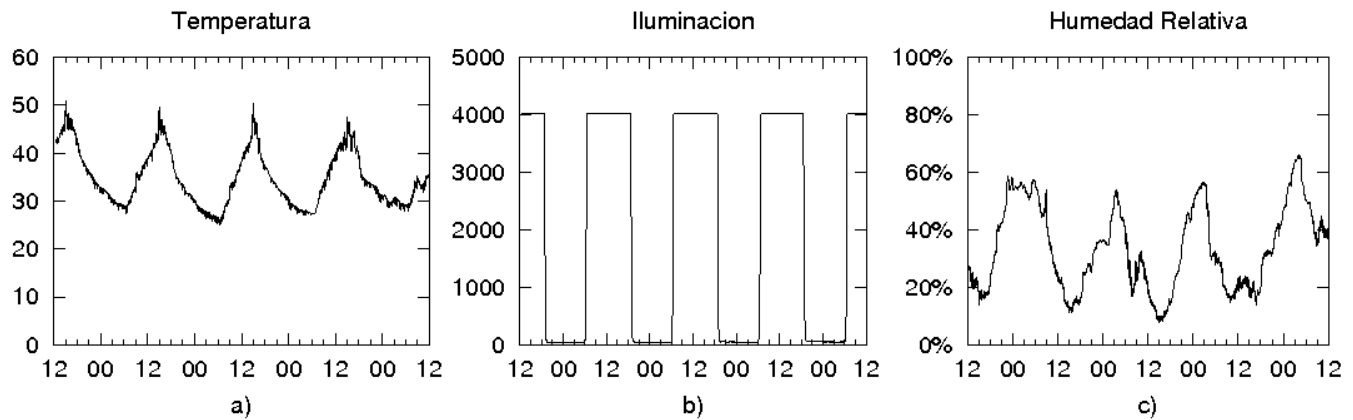


Figura 2. Mediciones en condiciones normales: a) Temperaturas, b) Iluminación, y c) Humedad Relativa

8. El incendio y la exposición directa a los rayos del sol provocan un drástico incremento en la temperatura. Sin embargo, el decremento en el valor de la humedad es mucho mayor en el caso de un incendio. Por lo tanto, para identificar un incendio de día y diferenciarlo de la exposición directa al sol, después de detectar un incremento rápido en la temperatura se revisará la razón de cambio en la humedad, así como el decremento registrado de la humedad relativa.

Con base en estas observaciones se definió un algoritmo para la detección de incendios en bosques.

### III-B. Algoritmo con Base en Umbrales

El algoritmo propuesto utiliza un método de fusión de información denominado *método del umbral* [17]. El algoritmo está basado en la máquina de estados que se muestra en la Fig. 3, que considera cinco estados. Los cambios de un estado a otro se generan de acuerdo a las variaciones en los valores de temperatura, humedad relativa e intensidad de la luz.

Cada estado de la máquina de estados de la Fig. 3 representa una condición específica del entorno, y que tiene que ver con la probable existencia de un incendio. El Estado 0 es el estado inicial y representa al entorno en condiciones normales. Los estados Estado 1 y Estado 2 son de transición, ya que representan la ocurrencia del inicio de un evento, que puede ser un incendio de noche o un incendio de día, respectivamente. El Estado 3 puede representar la salida del sol (amanecer), mientras que el Estado 4 indica que el sensor fue expuesto directamente a los rayos del sol. El Estado 5 indica la presencia de un incendio.

En condiciones ambientales normales, el estado de la máquina es Estado 0. Esto significa que no hay algún incendio ni que el sensor está expuesto de manera directa a los rayos del sol. A pesar de que se registran los tres valores (temperatura, humedad relativa e iluminación), el único valor que se evalúa en este estado es el de la temperatura. En cada nueva medición, se calcula la razón (*ratio*) del promedio de los valores de la ventana deslizante de tamaño  $W_T$ , y el mas reciente valor de la temperatura. La ventana deslizante contiene los últimos  $W_T$  valores registrados de la temperatura. Si la razón es mayor que

el umbral  $tr\_threshold$ , significa que la razón de cambio de la temperatura ha sido muy grande y por lo tanto algún evento ha ocurrido. Para identificar si el evento ha ocurrido de noche o de día, se revisa entonces la razón de cambio de la intensidad de la luz de manera similar a la de la temperatura. Por lo tanto, si la razón del promedio de los valores de la ventana deslizante de tamaño  $W_L$  es mayor que el umbral  $tl\_threshold$ , la máquina cambia al Estado 1. De otra manera, cambia al estado Estado 2. Es importante señalar que si la máquina deja el Estado 0, se almacena en la variable  $temp\_s0$  el último valor estable de la temperatura. Esto es, se registra el valor de la temperatura previo al que generó el cambio de estado.

Si la máquina se encuentra en el Estado 1, se calcula la razón del promedio de los valores de la ventana deslizante de tamaño  $W_H$ , y el mas reciente valor de la humedad relativa. Si la razón es menor que el umbral  $th\_threshold$ , la máquina cambia al Estado 3; de otra manera, la máquina cambia al estado inicial Estado 0. En el Estado 3 evalúa de nuevo las razones de los tres valores y se comparan con sus respectivos umbrales. En caso de que las relaciones de evento persistan, la máquina cambia al Estado 5 y se emite la alarma de que un probable incendio de noche ha ocurrido.

Si la máquina cambió del Estado 0 al Estado 2, existe la posibilidad de: 1) que se haya generado un incendio, 2) que el sensor haya sido expuesto directamente a los rayos del sol, o 3) que la temperatura se haya incrementado rápidamente en condiciones normales. Para identificar lo ocurrido, se calcula la razón del promedio de los valores de la ventana deslizante de tamaño  $W_H$ , y el mas reciente valor de la humedad relativa. Si la razón es menor que el umbral  $th\_threshold$ , la máquina cambia al Estado 4; de otra manera, la máquina cambia al estado inicial Estado 0. El Estado 4 puede representar la exposición del sensor a los rayos del sol de manera directa. Si en ese estado, la razón de la temperatura actual y el promedio de la ventana deslizante de tamaño  $W_T$  sigue siendo mayor que el umbral  $tr\_threshold$ , y la razón del promedio de los valores de la ventana deslizante de tamaño  $W_H$  y el mas reciente valor de la humedad relativa sigue siendo menor que el umbral  $th\_threshold$ , se calcula la diferencia del valor de la temperatura actual  $temp$  y el valor de  $temp\_s0$ . Si la

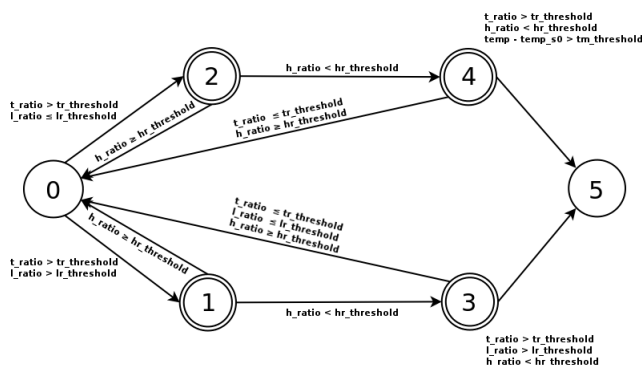


Figura 3. Máquina de estados utilizada por el algoritmo

diferencia es mayor que el umbral  $tm\_threshold$ , significa que el incremento en la magnitud de la temperatura ha sido muy grande, por lo que la máquina cambia al Estado 5 y emite una alarma de que un probable incendio se ha generado.

#### IV. EVALUACIÓN

Como se mencionó previamente, se midieron los valores de la temperatura, humedad relativa e intensidad de la luz por varios días durante los meses de Julio y Agosto de 2011, tanto en condiciones normales como ante la presencia de incendios generados artificialmente. Las mediciones se hicieron cada siete segundos. Por consideraciones de ahorro de energía, los datos se enviaron a la estación base cada 28 segundos. En cada experimento, la antorcha se colocó a 10 cm del sensor durante un periodo de 10 minutos. Los experimentos se llevaron a cabo en diferentes días y horarios.

La definición de los parámetros utilizados en el algoritmo se hizo de manera empírica, y fueron resultado del análisis de los datos registrados. Los valores de las ventanas deslizantes  $W_T$ ,  $W_L$  y  $W_H$  variaron en el rango de 5 a 30, con incrementos de cinco en cinco, y se evaluó el desempeño de la aplicación con cada uno de estos valores.

Con los datos registrados, tanto de condiciones normales como con los incendios, se ejecutó el algoritmo propuesto utilizando diferentes valores de los tamaños de las ventanas deslizantes y de los umbrales. El tamaño de las ventanas deslizantes que generaron el mejor desempeño del algoritmo fue de 20, mientras que los mejores valores de los umbrales fueron:  $tr\_threshold = 1.01$ ,  $tl\_threshold = 1.1$ ,  $th\_threshold = 1$  y  $tm\_threshold = 3^\circ C$ .

Las métricas para evaluar el desempeño del algoritmo fueron dos:

- Falsos positivos: cuando el algoritmo indica erróneamente que un incendio ha ocurrido.
- Falsos negativos: cuando el algoritmo no detecta que un incendio ha ocurrido.

Como resultado de la evaluación del algoritmo, se obtuvo lo siguiente:

1. El algoritmo fue capaz de detectar la totalidad de los incendios generados. Por lo tanto, no se generaron falsos negativos.
2. El algoritmo generó algunos falsos positivos, que coincidieron con eventos en los que el sensor fue expuesto

directamente a los rayos solares. Al analizar detalladamente estos casos, se encontró que los valores de la temperatura, humedad relativa e intensidad de la luz son muy similares a los que se registran en un incendio. Una alternativa para reducir la incidencia de falsos positivos consiste en cubrir a los nodos para evitar la exposición directa a la luz solar.

Es importante señalar que los valores de los umbrales deberán ajustarse tomando en consideración las características del entorno en el cuál se utilizará el algoritmo, y de la época del año. Para este fin sería de mucha utilidad contar con registros históricos de los valores de temperatura y humedad relativa del área en los que se desplegarán los sensores.

#### V. CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

Las redes de sensores inalámbricas representan una alternativa muy interesante para implementar aplicaciones de detección de eventos. Los incendios forestales causan anualmente una considerable cantidad de pérdidas humanas y materiales cuantiosas, por lo que el desarrollo de sistemas basados en redes de sensores para la detección de incendios tiene una gran importancia.

En este artículo se propuso un algoritmo que utiliza un método de fusión de información, para la detección de incendios en bosques, en su etapa inicial. El algoritmo propuesto está basado en el método de umbrales, y utiliza los valores de la temperatura, humedad relativa e intensidad de la luz. Para el diseño y la evaluación del algoritmo se registraron las mediciones de estos valores durante varios días, y se generaron algunos incendios de manera artificial. Los resultados obtenidos demuestran que el algoritmo es capaz de identificar correctamente todos los incendios generados. Sin embargo, el algoritmo no fue capaz de diferenciar los casos en los que el sensor fue expuesto de manera directa a la luz solar, generando en esos casos falsos positivos. Una solución a este problema consiste en la utilización de cubiertas para proteger a los sensores de la luz directa del sol.

Como trabajo futuro, se planea evaluar el algoritmo utilizando otros sensores, así como la definición de un nuevo algoritmo utilizando el método Dempster-Shafer. Además, se planea proponer una metodología para la definición de los umbrales utilizados en el algoritmo.

#### VI. AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue parcialmente financiado por la *Dirección General de Educación Superior Tecnológica (DGEST)*, de acuerdo al proyecto número 4322.11-P.

#### REFERENCIAS

- [1] M. Bahrepour, N. Meratnia, and P.J.M. Havinga. Automatic fire detection: A survey from wireless sensor network perspective. Technical Report TR-CTIT-08-73, Centre for Telematics and Information Technology University of Twente, Enschede, 2008.
- [2] Luis Bernardo, Rodolfo Oliveira, Ricardo Tiago, and Paulo Pinto. A fire monitoring application for scattered wireless sensor networks: A peer-to-peer cross-layering approach. In *Proceedings of the International Conference on Wireless Networks and Systems*, pages 28 – 31, Barcelona, Spain, July 2007.

- [3] Eric Den Breejen, Marcel Breuers, Frank Cremer, Rob Kemp, Marco Roos, Klammer Schutte, and Jan S. De Vries. Autonomous forest fire detection. In *Proceedings of the 3rd International Conference on Forest Fire Research*, volume 2, pages 2003 – 2012, Nov, 1998.
- [4] Shaohua Chen, Hong Bao, Xianyun Zeng, and Yimin Yang. A fire detecting method based on multi-sensor data fusion. In *Proceedings of the IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics*, pages 3775 – 3780, Oct 2003.
- [5] I. Chlamtac, M. Conti, and J. Liu. Mobile ad hoc networking: imperatives and challenges. *Ad Hoc Networks*, 1(1):13 – 64, July 2003.
- [6] Osman S. da Penha and Eduardo F. Nakamura. Fusing light and temperature data for fire detection. In *Proceedings of the IEEE Symposium on Computers and Communications (ISCC)*, pages 107 – 112, Riccione, Italy, June 2010.
- [7] Belur V. Dasarthy. Information fusion - what, where, why, when, and how? Editorial. *Information Fusion*, 2(2):75 – 76, Jun 2001.
- [8] W. J. de Groot. Interpreting the canadian forest fire weather index (fwi) system. In *Proceedings of 4th Central Region Fire Weather Committee Scientific and Technical Seminar*, pages 3 – 14, Edmonton, Canada, April 1987.
- [9] F. Derbel. Reliable wireless communication for fire detection systems in commercial and residential areas. In *Proceedings of the Wireless Communications and Networking*, volume 1, pages 654 – 659, May 2003.
- [10] David M. Doolin and Nicholas Sitar. Wireless sensors for wildfire monitoring. In *Proceedings of the SPIE 5765*, 477, San Diego, CA, March 2005.
- [11] Joe Fleming and Rich G. Robertson. Fire management tech tips: The osborne firefinder. Technical Report 1311-SDTDC, United States Department of Agriculture Forest Service, 2003.
- [12] David Gay, Philip Levis, David Culler, and Eric Brewer. Introduction nesc 1.1 language reference manual. 2003.
- [13] Carl Hartung, Richard Han, Carl Seielstad, and Saxon Holbrook. Firewxnet: a multi-tiered portable wireless system for monitoring weather conditions in wildland fire environments. In *Proceedings of the 4th international conference on Mobile systems, applications and services*, pages 28 – 41, Uppsala, Sweden, 2006. ACM.
- [14] M. Hefeeda and M. Bagheri. Forest fire modeling and early detection using wireless sensor networks. *Ad Hoc and Sensor Wireless Network*, 7:169 – 224, 2009.
- [15] Ji Hu, Hui-Bin Qin, and Liang Zheng. The research of low power wireless sensor network architecture based on fire monitoring. In *Proceedings of the 1th IEEE International Conference on Communication Technology*, pages 126 – 128, Nov 2008.
- [16] Philip Levis and David Gay. *TinyOS Programming*. Cambridge University Press, 1st edition, April 2009.
- [17] Eduardo F. Nakamura, Antonio A. F. Loureiro, and Alejandro C. Frery. Information fusion for wireless sensor networks: Methods, models, and classifications. *ACM Computer Surveys*, 39(9):1 – 55, 2005.
- [18] NASA. National environment satellite. <http://modis.gsfc.nasa.gov/>.
- [19] California Department of Forestry and Fire Protection. Fire causes 5-year average 2000-2005. Disponible en linea en [http://cdfdata.fire.ca.gov/pub/cdf/images/incidentstatsevents\\_106.pdf](http://cdfdata.fire.ca.gov/pub/cdf/images/incidentstatsevents_106.pdf). Visitado en Septiembre de 2011.
- [20] Kewei Sha, Weisong Shi, and O Watkins. Using wireless sensor networks for fire rescue applications: Requirements and challenges. In *Proceedings of the IEEE International Conference on Electro/Information Technology*, pages 239 – 244, East Lansing, MI, May 2006.
- [21] Byungrak Son, Yong sork Her, and Jung-Gyu Kim. A design and implementation of forest-fires surveillance system based on wireless sensor networks for south korea mountains. *International Journal of Computer Science and Network Security*, 6(9):124 – 130, Sep 2006.
- [22] V. Vescoukis, T. Olma, and N. Markatos. Experience from a pilot implementation of an in-situ forest temperature measurement network. In *Proceedings of the 18th International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications*, pages 1 – 5, Athens, Greece, Sep 2007.
- [23] Jennifer Yick, Biswanath Mukherjee, and Dipak Ghosal. Wireless sensor network survey. *Computer Networks*, 52(12):2292 – 2330, August 2008.
- [24] E. Zervas, O. Sekkas, and S. Hadjiefthymiades. Fire detection in the urban rural interface through fusion techniques. In *Proceedings of the IEEE International Conference on Mobile Adhoc and Sensor Systems*, pages 1 – 6, Pisa, Italy, Oct 2008.
- [25] Lei Zhang and Gaofeng Wang. Design and implementation of automatic fire alarm system based on wireless sensor networks. In *Proceedings of the International Symposium on Information Processing*, pages 414 – 417, Huangshan, China, Aug 2009.

## VII. BIOGRAFÍAS



**Luis Aram Tafoya Diaz** nació en San Luis Río Colorado, Sonora, el 18 de marzo de 1985. Actualmente es estudiante de la Maestría en Ingeniería Electrónica del Instituto Tecnológico de Mexicali. Estudió Ingeniería en Sistemas Computacionales en la misma institución. Su experiencia profesional incluye labores como Técnico en Informática y Soporte en el Instituto Nacional de Estadística y Geografía, y como profesor universitario. Sus áreas de interés son las Redes de Sensores Inalámbricas y la Computación Ubicua.



**Jorge Antonio Atempa Camacho** nació el 9 de enero de 1988 en Puebla, Heroica Puebla de Zaragoza. Actualmente es estudiante de la carrera de Ingeniería en Sistemas Computacionales en el Instituto Tecnológico de Mexicali. Su experiencia profesional incluye labores como programador de sistemas independiente. Sus áreas de interés son las Redes de Sensores Inalámbricas, los Sistemas de Tiempo Real y la Programación Web.



putación Ubicua.

**Arnoldo Diaz-Ramirez** nació el 1ro de marzo de 1964 en Mexicali, Baja California. Obtuvo el grado de Doctor en Ciencias por la Universidad Politécnica de Valencia, España, y el grado de Maestro en Tecnología de Redes e Informática por el Cety Universidad, Campus Mexicali. Estudió la carrera de Ingeniería en Ciencias Computacionales en esa misma universidad. Actualmente es Profesor-Investigador del Instituto Tecnológico de Mexicali. Sus áreas de interés son los Sistemas de Tiempo Real, las Redes de Sensores Inalámbricas y la Com-



del Instituto Tecnológico de Huatabampo, Sonora, y Subdirector Académico del Instituto Tecnológico de Ensenada, Baja California. Sus áreas de interés incluyen, entre otras, multimedia y aplicaciones empresariales.

**Juan Francisco Ibañez Salas** nació en Durango, México, el 20 de agosto de 1965. Se graduó del Instituto tecnológico de Durango, y obtuvo el grado de Maestría en Ciencias en Enseñanza de las Ciencias en el Centro de investigación Educativa en Querétaro, Mex. Labora en el instituto tecnológico de Mexicali y ha ocupado puestos en el mismo como Jefe del Departamento de Sistemas y Computación, como Jefe del Centro de Cómputo y actualmente como Jefe de la División de Estudios de Posgrado e Investigación. Además fue Subdirector de Planeación