

## Red de Sensores Inalámbrica para la Detección, Alerta, Monitoreo y Provisión de Datos a Sistema de Predicción de Incendios Forestales

Elgueta Rodrigo<sup>1</sup>, Méndez-Garabetti Miguel<sup>1,2</sup>, Bianchini Germán<sup>2</sup>, Caymes-Scutari Paola<sup>2,3</sup>, Caylá Ivana Belén<sup>1</sup>, Córdoba Diego<sup>1</sup>, Peñasco Andrés<sup>1</sup>, Morelli, José<sup>1</sup>, Carrizo Marcelo<sup>1</sup>, Giorlando Agustín<sup>1</sup>, Lujan Arnaldo<sup>1</sup> y Carballo Nicolás<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidad de Mendoza, Facultad de Ingeniería (UM)

<sup>2</sup>Laboratorio de Investigación en Cómputo Paralelo/Distribuido  
Departamento de Ingeniería en Sistemas de Información  
Facultad Regional Mendoza/UTN

<sup>3</sup>Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET)

rodrigo.elgueta@um.edu.ar, miguel.mendez@um.edu.ar, gbianchini@frm.utn.edu.ar, pcaymesscutari@frm.utn.edu.ar, iva.cayla@gmail.com, diego.cordoba@um.edu.ar, penasco.andres@gmail.com, jose.morelli@um.edu.ar, carrizomarcelo@gmail.com, agus.giorlando@gmail.com, aarrnaall@gmail.com, nicolas.carballop@gmail.com

### Resumen

Las catástrofes naturales producen gran preocupación en el mundo por las pérdidas y perjuicios ambientales que provocan. Entre ellas, se encuentran los incendios forestales. En la actualidad se utilizan diversas tecnologías con el fin de cuantificar ciertas variables para disminuir su daño, entre ellas, se encuentra la aplicación de redes de sensores inalámbricas (Wireless Sensor Networks, o bien WSN), quienes forman una herramienta tecnológica valiosa para recolectar información del entorno. En este contexto, el presente trabajo tiene como objetivo desarrollar y planificar el despliegue de una red de sensores inalámbrica para la cuantificación de ciertas variables ambientales que permitan detectar incendios. Esto permitiría la obtención de información que, por un lado, serviría para comprender el origen de los incendios y por otro, entregarían datos de utilidad para la extinción de los mismos, ya que, conociendo el comportamiento posible de un incendio forestal en progreso, se podrían tomar decisiones acertadas en el plan de mitigación. Para ello, se utilizan modelos de predicción de incendios forestales, utilizando los datos recolectados por la WSN, como entradas en un sistema de predicción del comportamiento de incendios forestales que aplicará el método conocido como ESS-IM (Sistema Estadístico Evolutivo con Modelo de Islas). Para ello, la red propuesta, pretende además de hacer un seguimiento de incendios y nutrir de variables de entrada a modelos predictivos de comportamiento del fuego, convertirse en

una herramienta de utilidad para minimizar los daños causados por este tipo de fenómenos.

### 1. Introducción

Los incendios forestales generan grandes pérdidas y daños alrededor del mundo. Argentina posee un Plan Nacional de Manejo del Fuego (Decreto 746/2017, del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable) que especifica métodos de prevención y guías específicas respecto a cómo actuar ante la ocurrencia de incendios [1][2].

Generalmente, para la detección de incendios forestales, se utilizan tecnologías de detección por imágenes capturadas desde puntos de observación elevados ubicados en el terreno a monitorear (Figura 1). Estos puntos de observación y detección responden competentemente a la localización de columnas de humo típicas de incendios forestales de copas, siendo menos adecuada en la detección de incendios subterráneos que son más difíciles de reconocer mediante estos sistemas debido a su dificultosa visibilidad. En Argentina, este tipo de tecnología se utiliza de forma eficiente en las provincias que poseen bosques oleosos, ya que suelen tener múltiples focos de incendio y con esta técnica se logra reducir la superficie afectada mediante acciones inmediatas, lo que permite, además de su sofocación, conocer el origen del mismo.



**Figura 1. Punto de observación elevado para detección de incendios forestales.**

Sin embargo, debido a la gran extensión y diversos ecosistemas que posee el país, existen zonas afectadas por otros tipos de incendios forestales, como el subterráneo o el superficial. Estos fenómenos afectan en general a la zona pampeana [3] y, por sus características, requieren otros métodos de detección, ya que la estimación de su comportamiento y desplazamiento mediante imágenes obtenidas desde puntos de observación terrestre puede ser errónea.

Dicha región posee la mayor cantidad de superficie afectada por incendios forestales respecto a la cantidad de focos que los originan [4], motivo por el cual, el presente trabajo aborda el desarrollo de una herramienta para la detección, alerta, monitoreo y predicción de incendios forestales en zonas donde los tipos de incendios forestales que se producen, poseen diferentes comportamientos y características a los incendios de copa.

En este contexto, es importante mencionar que la provincia de Mendoza, es la segunda a nivel nacional con mayor cantidad de superficie afectada por incendios forestales. Durante el año 2016 se registraron 93.529 hectáreas afectadas por el fuego [4] y, si bien aún no están disponibles las estadísticas oficiales del año 2017, durante el último incendio forestal que afectó a La Pampa y el sur de la provincia de Mendoza, se estima que sólo en Mendoza 100.000 hectáreas se vieron afectadas producto de ese incendio [5][6].

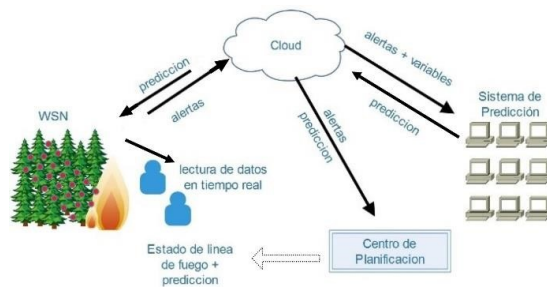
En base a esta problemática, se puede decir que diversos métodos o herramientas podrían ayudar a prevenir estos siniestros y hacer más segura y eficaz su extinción una vez ocurridos. Por ejemplo, una red inalámbrica de sensores sería capaz de medir variables ambientales y proporcionar datos en tiempo real de la ocurrencia de eventos, ofreciendo información de gran

utilidad para los organismos encargados de combatir los incendios [7].

El presente trabajo plantea una propuesta de despliegue de una red inalámbrica de sensores de bajo costo (Wireless Sensor Networks, o bien WSN) para la detección, alerta y monitoreo de incendios forestales, y el análisis de algunos componentes para su desarrollo.

Las WSN están formadas por dispositivos distribuidos en un área geográfica determinada, organizados mediante una red autónoma utilizando sensores para monitorear condiciones físicas o ambientales [8][9]. Algunos de los estándares de comunicación disponibles son: Zigbee [10][11], IEEE 802.15.4 [12], IEEE 802.11 [13] o radios propietarios, los cuales son regularmente de 900 MHz.

Uno de los objetivos es que la WSN se constituya por elementos de muy bajo coste, en virtud de que se prevé que parte de la red o su totalidad puede llegar a verse afectada por las llamas. A su vez, se espera que trabaje con frecuencias y protocolos de red convencionales y compatibles con dispositivos finales como Tablets o Smartphones, ya que se pretende que la información recabada por la WSN pueda ser utilizada para brindar información a los bomberos in situ y también a centros de planificación, generalmente ubicados a grandes distancias de los focos de incendios (Figura 2).



**Figura 2. Incorporación de datos recolectados a diferentes sistemas y servicios.**

Como complemento, la red será diseñada de modo que los datos recolectados por la WSN puedan ser incorporados como entradas en un sistema de predicción del comportamiento de incendios forestales, compuesto, en este caso, por el método conocido como ESS-IM [14][15].

De esta manera, el despliegue de la WSN planteada, facilitaría la obtención de mediciones de variables ambientales que permitirían alertar en forma temprana la ocurrencia de incendios forestales, y así enviar la información correspondiente a la plataforma de predicción en donde se realizará el pronóstico del comportamiento del incendio.

En la siguiente sección se describe las características de la WSN planteada, luego se comenta el experimento

realizado, los recursos computacionales involucrados y los resultados obtenidos. Finalmente, se discuten las conclusiones y las líneas futuras de trabajo.

## 2. Redes Inalámbricas de Sensores

Como anteriormente se mencionó, las WSN están formadas por plataformas de hardware con recursos de memoria, cómputo y energía limitados, por lo que trabajan con protocolos especialmente diseñados para cubrir esas limitaciones (IEEE 802.15.4, ZigBee, etc). Estos protocolos, generalmente no son directamente compatibles con la pila TCP/IP y requieren que deba implementarse distintas técnicas de hardware y software para poder presentar los datos recolectados por las WSN al usuario mediante dichas tecnologías de red [16].

Esto implica que para presentar los datos recolectados por una WSN a usuarios que utilizan dispositivos con conexiones de redes de área local inalámbricas o bien WLAN (IEEE 802.11), deba a realizarse algún tipo de adaptación a protocolos de capas inferiores del modelo OSI (Modelo de Interconexión de Sistemas Abiertos) [17] a fin de lograr comunicación entre los diferentes estándares.

Los protocolos para WSN más utilizados e implementados son: 802.15.4 y ZigBee debido a que poseen menor costo energético. Asimismo, su precio es mayor y se requiere un punto de acceso específico para recolectar la información y no podría utilizarse la misma red para capturar a los datos en forma directa desde cualquier dispositivo con acceso a Wi-Fi [18][19]. Por ello, este trabajo integra una WSN basada en protocolos de WLAN, específicamente IEEE 802.11, generalmente certificados y reconocidos como Wi-Fi. Esto persigue el fin de que cualquier dispositivo que se encuentre en zona de cobertura y posea dicho estándar, acceda a la red sin necesidad de utilizar adaptadores o equipos adicionales.

De esta forma, como anteriormente se mencionó, se facilitaría el acceso a la información a bomberos in situ y centros de planificación respecto al estado real del incendio en tiempo real.

### 2.1. Arquitectura, dispositivos y despliegue de la red

El presente trabajo, plantea un diseño con patrones en disposición de cuadrícula regulares de igual distribución con consumo energético [20]. Esto se ha establecido de esta manera ya que, además de facilitar la comunicación, permitirá la localización de los elementos, basada en la distribución cuadrangular conocida, evitando el uso de sensores GPS en cada nodo [21].

Debido a las variables que pueden ser monitoreadas para la detección de incendios, se ha analizado el sistema

de adquisición de datos mediante la utilización de sensores específicos, entre ellos se destacan:

- DHT11, para obtener valores en tiempo real de temperatura y humedad [22].
- MQ-7, utilizado para detectar la presencia de monóxido de carbono. Éste es de gran importancia e interés ya que la presencia de monóxido de carbono indica la existencia de fuego [23]. Asimismo, teniendo en cuenta la definición de esquema y despliegue descripta, mediante el nivel de monóxido de carbono detectado por uno de estos sensores y el tiempo en el que el mismo nivel sea detectado por el próximo sensor, se podría calcular la velocidad y dirección del viento.

Dichos sensores estarán conectados a un nodo o "mote" que tendrá interfaces de Entrada/Salida para sensores, memoria y un procesador. Existe una gran diversidad de componentes candidatos a mote, entre ellos se encuentra un grupo que integra el control de entradas y salidas para sensores mediante la utilización del mismo chip que se utiliza en las placas WiFi. Dentro de este grupo, el presente trabajo utiliza el chip esp8266 - D1 [24].

Además de la posibilidad de utilizar el esp8266 como un microcontrolador, el mismo puede programarse desde el IDE-Arduino, mediante la utilización de la librería desarrollada por Ivan Grokhotkov [24].

Respecto a la energía, en virtud de que el consumo energético de una red WiFi es sustancialmente mayor respecto a otras soluciones, se optó por la utilización de baterías alimentadas mediante un panel solar de 5V. Al respecto, se realizaron pruebas de laboratorio con los equipos descriptos conectados y transfiriendo datos de forma permanente en una red tipo mesh y el agotamiento de la batería sin utilización de carga por panel solar, fue cercano a las 72hs, lo que, en principio, validaría la solución de carga a través de un panel solar. Asimismo, a futuro se prevé evaluar diversos escenarios. Por ejemplo: duración de carga con transmisión de datos a diferentes frecuencias, distancias, condiciones de tiempo, etc.

Es importante mencionar que, debido a que los equipos estarían dispuestos en zonas despobladas, y que los componentes evaluados reúnen características físicas de tamaños pequeños, sería posible el camuflaje de los nodos a su entorno a fin de evitar contaminación visual.

## 3. Protocolos y Primitivas de Conexión

Si bien ya se han desarrollado pruebas experimentales de la WSN utilizando WiFi [25], aún se continúa estudiando puesto que se desea avanzar en la integración de diferentes tecnologías, entre ellas: IEEE 802.15.4, ZigBee. ZigBee está basada en IEEE 802.15.4 y por lo tanto posee un bajo consumo, acepta topologías tipo mesh y es de fácil integración, aún es una tecnología de alto costo para aplicaciones como la del presente trabajo, pero

no se descarta su utilización para brindar escalabilidad. Tampoco se descarta a los fines de escalabilidad otro tipo de tecnologías, como GSM, debido a las distancias de cobertura que ofrece.

A pesar de la disposición de cuadrícula mencionada anteriormente, la topología lógica a utilizar será jerárquica ya que se designarán algunos nodos como cluster-head [26][26] con mayor responsabilidad para controlar a otros nodos. Se espera que esta característica posea ventajas para la detección de incendios debido a que, ante cambios en la red, existiría un control que reaccionaría a fin de cambiar parámetros en los nodos de modo que, ante la desconexión de cualquier punto, la información pueda seguir transmitiéndose por rutas alternativas.

Por ello, se utilizará el modelo de ruteo de protocolos basados en clúster (Figura 3), éstos proponen el uso de clústeres de nodos permitiendo distribuir el consumo de energía de manera más uniforme entre los sensores de la red. Dentro de un clúster, la cabecera (head) coordina localmente la transmisión directamente a la estación base [27][27][27]. El despliegue del mismo en el escenario que se estudia, permitiría el balance de consumo energético y el envío de mensajes críticos lo más rápidamente posible mediante la comunicación de entornos consistentes intra-clusters e inter-clusters.

En términos de la red de sensores, se habla de un balance de consumo energético en virtud de que la energía utilizada está determinada principalmente por el consumo necesario para enviar mensajes a la base (dependiente de la distancia). Sin embargo, también entra en juego la energía utilizada para recibir mensajes de los miembros del grupo. Así, la distancia de los nodos líderes a la base es prioridad para ahorrar energía.

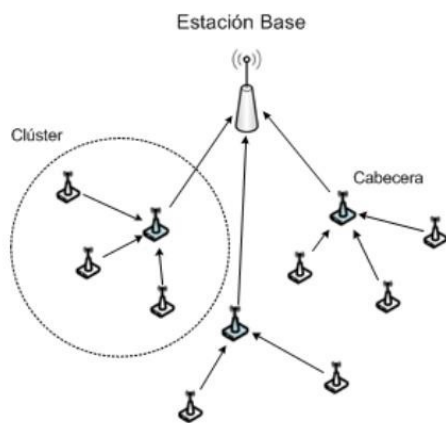


Figura 3. Topología de red utilizando modelo basado en clúster

## 4. Experimentación

En la etapa de desarrollo actual del proyecto se intenta evaluar la regeneración y configuración automática de los nodos, su agrupación y proclamación como líderes, a fin de que los datos sensados, sean enviados a una estación base a pesar de fallas o cambios en la red. Ésta es una característica fundamental que esta WSN debe poseer para poder garantizar su efectividad en la detección de ocurrencias de incendios forestales.

Para este experimento se ha montado una WSN en laboratorio formada por cuatro nodos conectados mediante el protocolo 802.11, conformando un clúster.

Los nodos siguen el esquema presentado en la Fig. 3. Debido a que se representa un solo clúster, uno de los nodos hace de receptor de la estación base, la estación base es una PC, y de los tres nodos restantes uno tiene el rol de cluster-head con dos nodos equipados con sensores. Cada nodo posee un identificador de nodo representado por un número entero de 6 cifras. Particularmente, en este ejemplo, se emplearon cuatro nodos esp8266-D1, ver Tabla 1.

Tabla 1. Descripción de nodos de la WSN

Nodo	ID	Rol
0	Sin ID, receptor estación base.	Se encuentra conectado al puerto USB de una PC y recibe la información del nodo más próximo
1	534789 (gris claro)	Sin sensores
2	529993 (gris oscuro)	Con un sensor de Humedad y Temperatura conectado
3	535864 (gris)	Con un sensor de Humedad y Temperatura conectado

En la Figura 4, se observa la captura de datos de dicha WSN donde se puede observar el comportamiento de la red ante los cambios de topologías y pérdidas de nodos realizados en la experimentación (ver Fig. 5). Las líneas "adopt" representan los cambios de topologías, donde un valor igual a 1 indica que el actual nodo cluster-head ha dejado de estar operativo y otro nodo ha tomado su rol, y 0 cuando se ha incorporado otro nodo como cluster-head. En el resto de las líneas sólo se reciben mediciones de los sensores conectados en los nodos 2 y 3 siguiendo el formato: se recibe información de un nodo "X" a través de un nodo "Y" (la última columna indica los valores medidos).

```

/dev/ttyUSB0
BLOQUE "A"
startHere: Received from 534789 msg=Nodo: 529993 25.00MH: 32.00
startHere: Received from 534789 msg=Nodo: 534789 nanMH: nan
startHere: Received from 534789 msg=Nodo: 535864 25.00MH: 30.00
startHere: Received from 534789 msg=Nodo: 529993 25.00MH: 18.00
startHere: Received from 534789 msg=Nodo: 534789 nanMH: nan
startHere: Received from 534789 msg=Nodo: 534789 nanMH: nan
startHere: New Connection, adopt=1
BLOQUE "B"
startHere: Received from 529993 msg=Nodo: 529993 25.00MH: 42.00
startHere: Received from 529993 msg=Nodo: 529993 25.00MH: 43.00
startHere: Received from 529993 msg=Nodo: 529993 25.00MH: 18.00
startHere: Received from 529993 msg=Nodo: 529993 25.00MH: 27.00
startHere: New Connection, adopt=0
BLOQUE "C"
startHere: Received from 529993 msg=Nodo: 529993 25.00MH: 28.00
startHere: Received from 534789 msg=Nodo: 534789 nanMH: nan
startHere: Received from 529993 msg=Nodo: 529993 25.00MH: 28.00
startHere: Received from 529993 msg=Nodo: 529993 32.00MH: 27.00
startHere: Received from 529993 msg=Nodo: 529993 33.00MH: 26.00
startHere: Received from 534789 msg=Nodo: 534789 nanMH: nan
startHere: Received from 534789 msg=Nodo: 534789 nanMH: nan
startHere: Received from 534789 msg=Nodo: 534789 nanMH: nan
startHere: Received from 534789 msg=Nodo: 535864 25.00MH: 45.00
startHere: Received from 534789 msg=Nodo: 534789 nanMH: nan
startHere: Received from 534789 msg=Nodo: 535864 25.00MH: 42.00
startHere: Received from 534789 msg=Nodo: 535864 25.00MH: 18.00
startHere: New Connection, adopt=1
BLOQUE "D"
startHere: Received from 535864 msg=Nodo: 535864 24.00MH: 43.00
startHere: Received from 535864 msg=Nodo: 529993 33.00MH: 41.00
startHere: Received from 535864 msg=Nodo: 529993 24.00MH: 31.00
startHere: Received from 535864 msg=Nodo: 529993 25.00MH: 18.00
startHere: Received from 535864 msg=Nodo: 535864 24.00MH: 44.00
startHere: Received from 535864 msg=Nodo: 535864 24.00MH: 44.00
startHere: Received from 535864 msg=Nodo: 529993 23.00MH: 30.00
startHere: Received from 535864 msg=Nodo: 535864 24.00MH: 21.00
startHere: Received from 535864 msg=Nodo: 535864 29.00MH: 17.00
startHere: Received from 535864 msg=Nodo: 529993 25.00MH: 30.00
    
```

Figura 4. WSN: Datos recibidos en estación base.

La experimentación se puede ver gráficamente en la Fig. 5, donde se puede apreciar en bloques los cambios de topología graficados.

Los datos que muestra la Figura 4 fueron capturados desde el Nodo 0, conectado a la PC mediante el Puerto USB. Por lo tanto, los mensajes: "Received from", provienen del nodo más próximo conectado a éste mientras que "Msg=Nodo:" indica el nodo original de donde provienen los datos.

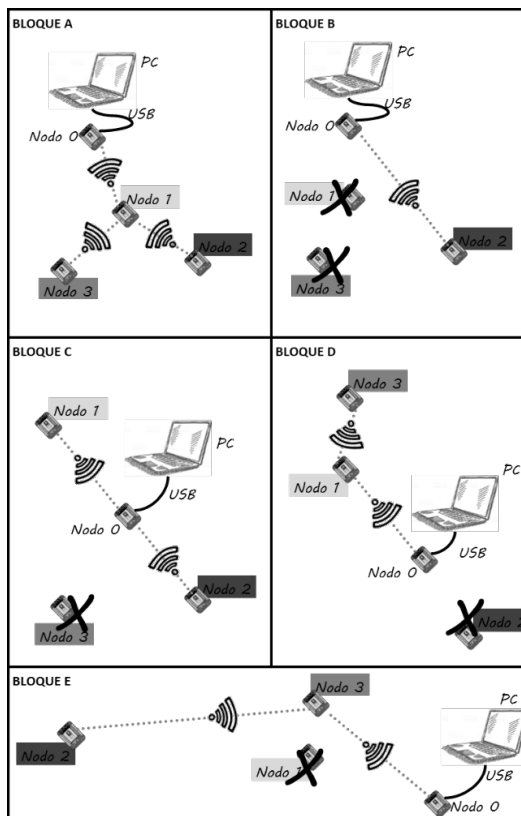


Figura 5. Descripción de los cambios de topología realizados en la experimentación.

Los bloques representan distintos escenarios, descritos a continuación:

- BLOQUE "A":** El Nodo1 es el más próximo al Nodo0. Mediante el Nodo1, se reciben los datos capturados por los Nodos 2 y 3.
- BLOQUE "B":** Cambio de Topología. Se apaga el Nodo 1. Automáticamente el Nodo2 advierte que es el más cercano al Nodo0, se configura como "Head" y envía la información de sus sensores.
- BLOQUE "C":** Cambio de Topología. Se coloca y se enciende el Nodo 1 en un espacio físico de modo tal que sea más cercano al Nodo0 que al Nodo2 y se enciende. Por lo que el Nodo0 recibe la información del mismo en forma directa.
- BLOQUE "D":** Cambio de topología. Se coloca y se enciende el Nodo 3 cercano al Nodo1. Se apaga el Nodo2. No se visualiza una nueva adopción debido a que el Nodo1 ya estaba conectado al Nodo0. Mediante el Nodo1 se reciben los datos enviados por el Nodo 3.

- E. BLOQUE "E": Cambio de Topología. Se coloca y se enciende el Nodo 2 en un espacio físico cercano al Nodo 3. Se apaga el Nodo1. Se visualiza la adopción del Nodo3 como el más cercano al Nodo0 y desde el Nodo3 se reciben los datos enviados por el Nodo2.

## 5. Integración con método de predicción

Respecto a la representación de datos y alarmas, si bien no es parte de este trabajo el desarrollo de los paneles de control, los parámetros sensados podrían ser capturados por cualquier sistema de tiempo real o bien introducidos como entradas de parámetros reales a modelos de predicción de incendio, ya que las estaciones base serían capaces de reconocer y almacenar dicha información.

Asimismo, se prevé el almacenamiento de dichos valores en una base de datos y la conversión necesaria a fin de ser utilizados como entradas para sistemas de predicción de comportamiento de incendios forestales.

La predicción tiene dos acepciones: "predicción de incendios forestales" y "predicción del comportamiento de incendios forestales". La primera de ellas intenta predecir la ocurrencia de incendios antes de que sucedan, mientras que la segunda busca determinar el posible comportamiento de un incendio forestal una vez que éste se ha iniciado.

Ello implica trabajar con modelos que representen la complejidad inherente del fenómeno físico. Particularmente, el presente trabajo pretende integrarse a un Sistema Estadístico Evolutivo con Modelo de Islas (ESS-IM). Entre las variables que calcula el ESS-IM como entradas para la predicción del comportamiento de un incendio forestal, se encuentra: velocidad y dirección del viento, altitud y pendientes de la superficie, humedad de componentes combustibles muertos, humedad del combustible herbáceo vivo.

Como se explicó anteriormente, mediante los parámetros medidos con el sensor MQ-7, podría determinarse la velocidad y dirección del viento.

En cuanto a altitud y pendientes de superficie, al utilizar un método de despliegue con disposición de cuadrícula, el valor requerido, se obtendría al momento de desplegar la WSN y sería fijo.

Respecto a la humedad de los componentes combustibles, existiría una limitación de la WSN para brindar ese dato, ya que el sensor de humedad y temperatura DHT11 mide valores ambientales.

En este sentido, se está investigando sobre la relación que existe entre la humedad ambiental y la humedad de los componentes combustibles a fin de que a través de una parametrización se entreguen los valores de cada componente combustible al ESS-IM.

## 6. Conclusiones

El trabajo en desarrollo se enfoca en la integración de diferentes dispositivos que formarán parte de un nodo, desde la selección de los sensores a utilizar, la alimentación energética de los componentes, el control de la red y disposición de los mismos con el objeto de recolectar datos de los sensores, transmitirlos hacia una estación base y realizar las conversiones necesarias para utilizarlos como entradas en un método de reducción de incertidumbre aplicado a la predicción del comportamiento de incendios forestales ESS-IM.

De esta manera, la WSN, sería un elemento de gran valor dado que permite la captura en tiempo real de valores de parámetros imprescindibles al momento de detectar la ocurrencia de incendios forestales, aportar información útil para el manejo del fuego y proveer variables de entrada para el sistema ESS-IM a fin de optimizar la predicción de comportamiento de incendios forestales.

## 7. Referencias

- [1] Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable, J. (2006). Manual del combatiente de Incendios Forestales. Argentina: Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable - Presidencia de la Nación.
- [2] Moscvich, F., Ivandic, F., y Belsold, L. (2009). Manual de Combate de Incendios Forestales y Manejo de Fuego. Argentina: Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria - INTA.
- [3] Subsec. de Planificación y Política Ambiental, Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable Jefatura de Gabinete de Ministros. (16 de marzo de 2009). Plan Nacional de Manejo del Fuego. Obtenido de: [http://www.infoleg.gob.ar/basehome/actos\\_gobierno/actosdego\\_bierno16-3-2009-1.htm](http://www.infoleg.gob.ar/basehome/actos_gobierno/actosdego_bierno16-3-2009-1.htm)
- [4] Presidencia de la Nación Argentina, Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable. (2015). Estadísticas de Incendios Forestales 2015. (ISSN 1850-7239). República Argentina: Jefatura de Gabinete de Ministros Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de Argentina. Obtenido de <http://binpar.caicyt.gov.ar/>
- [5] Manino, P. (7 de enero de 2018). <https://www.lanacion.com.ar/2098482-mendoza-mas-de-100000-ha-afectadas-por-el-fuego>. Buenos Aires, Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina.
- [6] Los Andes, Redacción. (6 de enero de 2018). <https://losandes.com.ar/article/view?slug=el-fuego-y-consumio-230-mil-hectareas-de-mendoza-y-la-pampa-y-se-queman-lineas-electricas>. Mendoza, Mendoza, Argentina.
- [7] Molina-Pico, A., Cuesta-Frau, D., Araujo, A., Alejandre, J., y Rozas, A. (2016). Forest Monitoring and Wildland Early Fire Detection by a Hierarchical Wireless Sensor Network. Journal of Sensors, Article ID 8325845. Obtenido de <https://www.hindawi.com/journals/js/2016/8325845/>

- [8] Sohraby, K., Minoli, D., y Taieb, Z. (2007). *Wireless Sensor Networks Technology, Protocols, and Applications*. New Jersey - USA: John Wiley&Sons, Inc.
- [9] Ali, W., Abdul, I., y Ishfaq-ur, R. (2016). A Surveyon WSN-based Forest Fire Detection Techniques. *International Journal of Scientific Research in Computer Science, Engineering and Information Technology*, 60-65.
- [10] Solobera Javier. (2010). *Libelium: Detecting Forest Fires using Wireless Sensor Networks*. Zaragoza, España. Recuperado de: [http://www.libelium.com/wireless\\_sensor\\_networks\\_to\\_detect\\_forest\\_fires/](http://www.libelium.com/wireless_sensor_networks_to_detect_forest_fires/)
- [11] Erazo Jennifer. Hervás Carlos (2014). Sistema de detección de incendios forestales mediante redes sensoriales inalámbricas (Zigbee). MASKANA, I+D+ingeniería 2014 Ecuador.
- [12] Martín Moreno, J., y Ruiz Fernández, D. (2007). Protocolo ZigBee (IEEE 802.15.4). Valencia, España: Generalitat Valenciana AE/2007/078.
- [13] López Ortiz, F. (01 de 03 de 2002). Departamento de Ingeniería de Sistemas Telemáticos - ETSIT - Universidad Politécnica de Madrid. Obtenido de <https://www.dit.upm.es/>: <http://www.dit.upm.es/~david/tar/trabajos2002/08-802.11-Francisco-Lopez-Ortiz-res.pdf>
- [14] Méndez-Garabetti, M., Tardivo, M., Bianchini, G., y Caymes-Scutari, P. (2014). Predicción del Comportamiento de Incendios Forestales mediante un Método de Reducción de Incertidumbre basado en HPC y Evolución Diferencial. WICC 2014 XVI Workshop de Investigadores en Ciencias de la Computación, 690-694
- [15] Méndez-Garabetti, M., Bianchini, G., Tardivo, M. L., y Caymes-Scutari, P. (2016). Increase in the quality of the prediction of a computational wildfire behavior method through the improvement of the internal metaheuristic. *Fire Safety Journal*, 82, 49-62.
- [16] Iacono, L., Godoy, P., Marianetti, O., García Garino, C., y Párraga, C. (2012). Estudio de la Integración entre WSN y redes TCP/IP. Memoria de Trabajos de Difusión Científica y Técnica, núm. 10, 57-68.
- [17] Organización de las Naciones Unidas - Unión Internacional de Telecomunicaciones. (1994). Recomendación UIT-T X.200. Ginebra, Suiza: Unión Internacional de Telecomunicaciones.
- [18] Cobo, R. (1 de julio de 2017). Un premier sobre ZigBee. Obtenido de <http://www.emb.cl/electroindustria/articulo.mvc?xid=745&edi=42&xit=un-premier-sobre-zigbee>
- [19] Wi-Fi, Alliance. (01 de abril de 2000). WiFi Alliance. Obtenido de <https://www.wi-fi.org/>
- [20] Yunus Emre Aslan, Ibrahim Korpeoglu, y ÖzgürUlusoy (2012). A framework for use of wireless sensor networks in forest fire detection and monitoring. *Computers, Environment and Urban Systems*, 36 (2012) 614-625
- [21] Serna M Ángeles, Bermúdez Aurelio, y Casado Rafael (septiembre de 2012). Modelado de incendios forestales con WSNs mediante múltiples envoltentes. En. Manzoni (moderador). *Jornadas de la Sociedad de Arquitectura y Tecnología de Computadores (SARTECO)*. Sesión 3C de las Jornadas SarteCo Elx, llevada a cabo en Elche, Valencia, España.
- [22] Mouser Electronics, OSEEP Electronics. (2011). DHT11 Humidity & temperature Sensor. Texas, Estados Unidos: OSEEP Electronics.
- [23] Zhengzhou Winsen Electronics Technology Co., Ltd. (2014). Toxic Gas Sensor (Model: MQ-7). Zhengzhou, China: Zhengzhou Winsen Electronics Technology Co., Ltd.
- [24] Grokhotkov, I. (01 de 01 de 2017). esp8266 Arduino Core's documentation. Obtenido de <https://arduino-esp8266.readthedocs.io/en/latest/>
- [25] Elgueta, R. A., y Méndez-Garabetti, M. (2017). Red de sensores inalámbrica aplicada a alertas y predicción del comportamiento de incendios forestales. E-ICES 12 - 12º Encuentro Internacional Ciencias de la Tierra - Libro de Resúmenes, 43.
- [26] Garbarino Jimena (2011). Tesis: Protocolos para redes de sensores inalámbricas. Facultad de Ingeniería. Universidad de Buenos Aires.
- [27] Miranda, K., López Jaimés, a., y García Nájera, A. (2017). Análisis multi-objetivo de la selección de líderes en redes inalámbricas de sensores. *Research in Computing Science - ISSN 1870-4069 N° 134*, 111-125.