

Información Importante

La Universidad Santo Tomás, informa que la autora ha autorizado a usuarios internos y externos de la institución a consultar el contenido de este documento a través del Catálogo en línea de la Biblioteca y el Repositorio Institucional en la página Web de la Biblioteca, así como en las redes de información del país y del exterior con las cuales tenga convenio la Universidad.

Se permite la consulta a los usuarios interesados en el contenido de este documento, para todos los usos que tengan **finalidad académica**, nunca para usos comerciales, siempre y cuando mediante la correspondiente cita bibliográfica se le dé crédito al trabajo de grado y a su autor.

De conformidad con lo establecido en el Artículo 30 de la Ley 23 de 1982 y el artículo 11 de la Decisión Andina 351 de 1993, la Universidad Santo Tomás informa que “los derechos morales sobre documento son propiedad de los autores, los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables.”

Bibliotecas Bucaramanga
Universidad Santo Tomás

Análisis de las perspectivas, a través de revisión de estado del arte y vigilancia tecnológica, de las redes de sensores inalámbricas para el sector hidrocarburos en Colombia.

Ivonnet Edith Martínez Ramírez

Trabajo de grado para optar al título de Ingeniera de telecomunicaciones

Director

Facultad de Ingeniería de Telecomunicaciones, Bucaramanga

División de Ingenierías y Arquitectura

Facultad de ingeniería de Telecomunicaciones

agosto de 2016

Dedicatoria

A mi amorosa, valiente e incansable madre porque ha sido mi más fuerte cimient, mi único apoyo y mi más grande critica.

A ella por ser una madre que solo ha sabido darme lo mejor de su vida y jamás ha perdido su fé en verme realizada como una profesional.

A mis hermanos fernando, yessenia y yessica porque siempre me han visto con amor y admiración.

Agradecimientos

Agradezco a DIOS por guiarme siempre durante toda mi vida, por siempre llevarme de su mano hacia este camino y rodearme de personas a quienes hoy menciono como ángeles que me enriquecieron con su conocimiento su amistad y sabiduría por la vida.

Me siento profundamente agradecida con los docentes que formaron parte de mi formación; especialmente a mi director de proyecto de grado Sergio Zabala quien ha sido un ejemplo de perseverancia, sapiencia, organización y amor por su profesión.

CONTENIDO

	Pág.
1 Formulación del problema.....	13
2 Justificación.....	15
3 Objetivos.....	17
3.1 Objetivo general.....	17
3.2 Objetivos específicos.....	17
4 Marco teorico	18
4.1 Redes de sensores inalámbricas.....	18
4.1.1 Redes Inalámbricas de Sensores (WSN).....	19
4.1.2 Aplicaciones Principales de las WSN.....	19
4.1.3 Arquitectura de las WSN	21
4.1.4 Topologías de Red WSN	26
4.1.5 Síntesis de parámetros más importantes de una WSN	28
4.1.6 Caso de interés en topología de Red- Esquema AD-HOC	29
4.1.7 Protocolos de enrutamiento.....	30
4.1.8 Linear Sensor Network (LSN).....	33
4.2 Vigilancia Tecnológica y ESTADO DEL ARTE	36
4.2.1 La vigilancia tecnológica en la gestión de proyectos de Investigación- Desarrollo-Innovación- Conceptos e importancia.....	37
4.2.2 Descripción de las fases principales del proceso	40

4.2.3	Estado del arte- Concepto e importancia.....	43
4.3	Patentes, diseños industriales y registros de software	49
4.3.1	Patentes y modelo de utilidad.....	49
4.3.2	Diseño Industrial	51
4.3.3	Registro de software.....	51
5	Ejecución y resultados del proyecto de grado	53
5.1	Estado de arte de la temática wsn en oil & gas (revisión últimos 7 años)	
	54	
5.2	Ejemplos de aplicaciones industriales de las redes de sensores inalámbricos en el sector hidrocarburos.....	70
5.3	Vigilancia tecnológica- información complementaria	72
5.3.1	Primer análisis de Vigilancia tecnológica- WSN en hidrocarburos	72
5.3.2	Segundo análisis de Vigilancia tecnológica- WSN eficiencia de energía	77
5.4	Relación de principales patentes en la temática.....	82
5.5	Tendencias tecnológicas	83
5.6	Breve panorama sectorial- actores y sectores en la innovación	85
6	Recomendaciones y lineamientos para el grupo UNITEL	88
6.1	Recomendaciones producto de la investigación.....	88
6.2	Lineamientos (procedimiento) para el desarrollo de estado del arte y vigilancia tecnológica.	90
7	Conclusiones y recomendaciones	93

7.1	Conclusiones	93
7.2	Recomendaciones	94
7.3	Trabajo futuro	95
8	Bibliografía	96

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 1. Características de los protocolos de redes Ad-hoc.....	37
Tabla 2. Ejemplo de preguntas vs tipo de cruce de datos recomendados (caso patentes)...	
.....	48
Tabla 3. Metodologías para la construcción del estado del arte	53
Tabla 4. Criterios de revisión.	60
Tabla 5. Revisión general del estado del arte de la iniciativa.	62
Tabla 6. Ejemplos de aplicaciones industriales de la tecnología WSN oil and gas	80
Tabla 7. Datos generales de la vigilancia tecnológica.....	82
Tabla 8. Síntesis de las 5 principales patentes en la temática de interés.....	92

Lista de figuras

	Pág.
Figura 1. Distribución de Mercado de las aplicaciones	24
Figura 2. Arquitectura de las WSN	25
Figura 3. Arquitectura de un nodo inalambrico	26
Figura 4. Ejemplo de Microcontrolador ATMEGA128.....	23
Figura 5. Batería 3.7 V (1000 mAh y 2800 mAh) para aplicaciones de redes de sensores	27
Figura 6. Ejemplos de sensores electrónicos (humedad, gases, proximidad, temperatura, etc).....	29
Figura 7. Topologías de red (WSN).....	32
Figura 8. Representación general de una red LSN de tres niveles.....	41
Figura 9. Esquema de relación padre/hijo para los diferentes tipos de nodos	42
Figura 10. Diferentes aspectos de la Vigilancia en organizaciones	43
Figura 11. Esquema general de la VT en organizaciones asociadas a procesos de I+D+i	45
Figura 12. Requisitos para iniciar un estado del arte	50
Figura 13. Principios que orientan la construcción del estado del arte.....	52
Figura 14. Propuesta metodológica para la construcción de estado del arte.....	54
Figura 15. Entregables en el proceso de investigación	59
Figura 16. Número de documentos publicados en el tema por año	84
Figura 17. Principales autores.	84

Figura 18. Principales países que han publicado en este corpus de conocimiento.	85
Figura 19. Tipología de las publicaciones.....	86
Figura 20. Número de documentos publicados por año.....	88
Figura 21. Publicaciones en la temática por país.	89
Figura 22. Universidad con mayor relevancia en publicaciones en la temática.	90
Figura 23. Número de publicaciones en países Latinoamericanos.	91

Glosario

EE- Energy Efficient: Concepto asociado a la eficiencia energética de los sistemas desarrollados.

Scopus: Base de datos para revisión bibliométrica de publicaciones científicas.

VT: Vigilancia Tecnológica.

WSN: Redes de sensores inalámbricas.

Resumen

El presente proyecto de grado se centra en el desarrollo de un ejercicio de revisión bibliográfica, estado del arte y vigilancia tecnológica de la temática de las redes de sensores inalámbricos (WSN); aplicado al sector hidrocarburos. La propuesta se desarrolla por interés del grupo de investigación UNITEL de la Facultad de Ingeniería de Telecomunicaciones de la Universidad Santo Tomas, el cual ha apoyado en el desarrollo del mismo.

La propuesta ha permitido generar un panorama de experiencias significativas, publicaciones científicas, tendencias de investigación, patentes, entre otros aspectos; que ilustran las líneas de investigación en el área en los últimos años. Se encuentra que la exploración en la reducción de consumo de energía en los dispositivos de medición, el mejoramiento en la encriptación y protección de datos, y el mejoramiento en la eficiencia de la comunicación; son los principales aspectos en los cuales el grupo UNITEL puede aportar con sus investigaciones.

Palabras claves: WSN, seguridad informática, vigilancia tecnológica, estado del arte.

1 Formulación del problema

En la formulación y planificación de un proyecto es necesario conocer a fondo la necesidad que lo motiva; es decir delimitar con claridad el problema que se pretende atender. Como lo destaca Briones [1] el acotar un problema de forma clara depende del nivel de conocimiento del tema; permitiendo generar objetivos claros que deben ser cumplidos en el desarrollo del proyecto.

En este marco de referencia, se encuentra que la Universidad Santo Tomás- Seccional Bucaramanga, y más específicamente la Unidad de Investigación en Telecomunicaciones – UNITEL (grupo de investigación adscrito a la Facultad de Ingeniería de Telecomunicaciones) cuenta con tres grandes líneas de investigación: Procesamiento de Señales, Telemática y Comunicaciones aplicadas [2]. Cada una de estas líneas cuenta con proyectos y productos que han permitido una dinámica activa en los procesos de investigación, desarrollo e innovación.

Ahora bien, a pesar de la categorización y reconocimiento del grupo por parte de la Universidad y de entidades externas, se ha detectado la importancia de realizar procesos de permanente actualización de las temáticas de investigación; orientados a los requerimientos del sector regional y nacional, así como las tendencias del estado del arte de las mismas. Sobre estas temáticas específicas se encuentra la que, específicamente, se viene trabajando sobre la tecnología de redes de sensores inalámbricos en el sector hidrocarburos, la cual cuenta con un proceso de consolidación inicial a través de la construcción de tecnología (hardware y software) y la difusión de la misma en publicaciones científicas reconocidas como artículos de investigación [3] y capítulo en libro de investigación [4].

A pesar de los resultados previos, cuando se propone que los avances de dicha tecnología impacten al sector productivo se detecta una brecha entre la producción realizada al interior del grupo y la necesidad específica del entorno; lo cual obliga en muchos casos a realizar considerables cambios a los productos iniciales o, en el peor de los casos, no generar innovaciones (considerada como la investigación que se logra comercializar exitosamente) visibles.

Complementando esta descripción, otro de los aspectos que sustentan la necesidad del desarrollo del proyecto es la vinculación que el grupo UNITEL tiene con la apuesta regional de la Oficina de Transferencia de Resultados de Investigación (OTRI-Estratégica Oriente); programa de Colciencias donde la tecnología de Redes de Sensores en el sector hidrocarburos es la *bandera* de la Universidad Santo Tomás[5].

En este orden de ideas, se propone para el presente proyecto de grado para optar por el título de Ingeniería de Telecomunicaciones que se lleve a cabo la aplicación de una metodología de vigilancia tecnológica; que permita *“detectar oportunidades y anticiparse a los cambios a partir de una gestión eficiente de la información científica y tecnológica”*[6]. Para este fin se establecerá claramente la evolución de desarrollo científico en el área de redes de sensores en hidrocarburos, se determinarán las áreas de conocimiento donde mayor impacto tiene la tecnología y los principales actores nacionales para el tema.

Finalmente, se desea resaltar al lector que la propuesta no tiene una orientación a empresas del sector productivo que puedan utilizar la tecnología sino a la necesidad específica del grupo de investigación UNITEL en la orientación de sus acciones investigativas.

2 Justificación

En un primer acercamiento al estado del arte de la redes de sensores inalámbricas en el sector de hidrocarburos (denominado también Oil&Gas) se han detectado experiencias significativas que muestran, desde lo funcional y lo conceptual, que la temática ha tomado nuevamente importancia para los investigadores en el área de telecomunicaciones y afines. Jawhar, Mohamed & Agrawal en [7] Y [8] muestran los esquemas generales de las redes de sensores en el sector, sus ventajas frente a otras tecnologías y las líneas de exploración temática recomendable. [9] presenta cómo el desarrollo de algoritmos para la adquisición de datos, procesamiento de señales y la optimización de consumo de energía son un área de exploración importante para contar con soluciones acordes con las necesidades del entorno.

Por otra parte, en el quehacer investigativo del grupo UNITEL se requiere responder a las necesidades de investigación de la región, mediadas a través de las orientaciones y mediciones que realiza el Departamento de Ciencia, Tecnología e Innovación-Colciencias; que a través de su *tipología de productos* [10] determina la importancia del desarrollo de artículos científicos, productos de innovación tecnológica, entre otros. Estas tipologías de productos se potenciarán a través de este proyecto, ya que realizará recomendaciones para ubicar las actividades de investigación del grupo en temáticas de interés nacional e internacional.

Luego de este marco se determina entonces que el presente proyecto, realizando la debida profundización y aplicación de metodologías de vigilancia tecnológica permitirá al grupo UNITEL, y en términos más específicos a los interesados en la línea de comunicaciones aplicadas, orientar (o reorientar) las investigaciones hacia las necesidades reales del

entorno y a la tendencia tecnológica nacional e internacional. Este ejercicio también aportará un panorama general de las redes temáticas nacionales e internacionales interesadas en el tema para la consolidación de proyectos de mayor impacto a los ya realizados por el grupo.

3 Objetivos

3.1 Objetivo general

Desarrollar un marco de referencia científico-tecnológico (áreas de investigación, actores relacionados, panorama para desarrollo e implementación, entre otros), de las redes de sensores inalámbricas para el sector de hidrocarburos basados en metodología de vigilancia tecnológica; aportando lineamientos para los procesos y estrategias de investigación en la línea específica de Comunicaciones Aplicadas del grupo UNITEL de la Universidad Santo Tomás de Bucaramanga.

3.2 Objetivos específicos

- Presentar una recopilación bibliográfica de las metodologías más apropiadas para el desarrollo de estados del arte y vigilancia tecnológica para la temática de redes de sensores inalámbricas aplicada al sector hidrocarburos.
- Identificar la evolución de los procesos de investigación, desarrollo e innovación (I+D+i), intereses particulares, actores más relevantes, entre otros aspectos de la Vigilancia Tecnológica (VT), sobre el área específica del proyecto.
- Establecer lineamientos y recomendaciones para el grupo UNITEL sobre los resultados de la vigilancia tecnológica; permitiendo contar, como mínimo, las áreas de conocimiento desarrolladas, los principales actores involucrados y el panorama de implementación en Colombia de dicha tecnología.

4 Marco teorico

En el presente marco teórico se centrará la discusión en tres grandes elementos:

- Referentes conceptuales de la temática de las redes de sensores inalámbricas (WSN), como eje técnico central de la propuesta.
- El concepto de estado de arte y de vigilancia tecnológica; así como su importancia en la solución de la situación problemática.
- Patentes, diseños industriales y registros de software como herramientas más destacadas de la propiedad intelectual; en el área propia del desarrollo de la tecnología.

Cabe resaltar que la revisión del estado del arte propio de la temática, el ejercicio de vigilancia tecnológica y la revisión de las patentes asociadas al concepto de redes de sensores inalámbricas aplicados al sector hidrocarburos, será presentado en el capítulo 5; entendiendo que estos elementos responden directamente a los objetivos de la iniciativa, y por ende al desarrollo del presente proyecto.

4.1 Redes de sensores inalámbricas

En esta sección se presenta al lector un conjunto de conceptos asociados a la temática del proyecto, realizando una revisión de conceptos sobre redes de sensores, fundamentos técnicos y conceptuales de los mismos, tecnologías de comunicación inalámbrica, entre otros aspectos.

4.1.1 Redes Inalámbricas de Sensores (WSN)

Las WSN son redes inalámbricas de pequeños dispositivos equipados con sensores que realizan en grupo una tarea en común. Estos dispositivos (sensores) tienen ciertas capacidades sensitivas y de comunicación inalámbrica que permiten conformar red de tipo Ad-Hoc que no tienen un nodo central, sino que todos los dispositivos están en igualdad de condiciones.

Actualmente las redes de sensores inalámbricos son un concepto nuevo que se utiliza para la adquisición y tratamiento de datos con mucho énfasis en una gran variedad campos de acción como lo son medios industriales, militares, ambientales, domótica, entre otros. Las WSN se basan en distribuir estratégicamente los dispositivos para el sensado y así poder monitorear condiciones físicas o ambientales, este sistema incorpora un Gateway que provee conectividad inalámbrica. [11]

Este tipo de redes se caracteriza por que son auto configurables y por su facilidad de despliegue, además porque ofrecen servicios de encaminamiento entre nodos sin línea de vista, capacidad de registrar datos pertinentes a los sensores locales de cada nodo y su gestión eficiente de energía haciendo que el sistema sea mucho más operativo.

4.1.2 Aplicaciones Principales de las WSN

El monitoreo remoto satisface un amplio rango de aplicaciones donde la integración de sistemas inalámbricos pueden complementar sistemas cableados reduciendo a un valor mínimo los costos y permitiendo nuevos tipos de aplicaciones de medición.

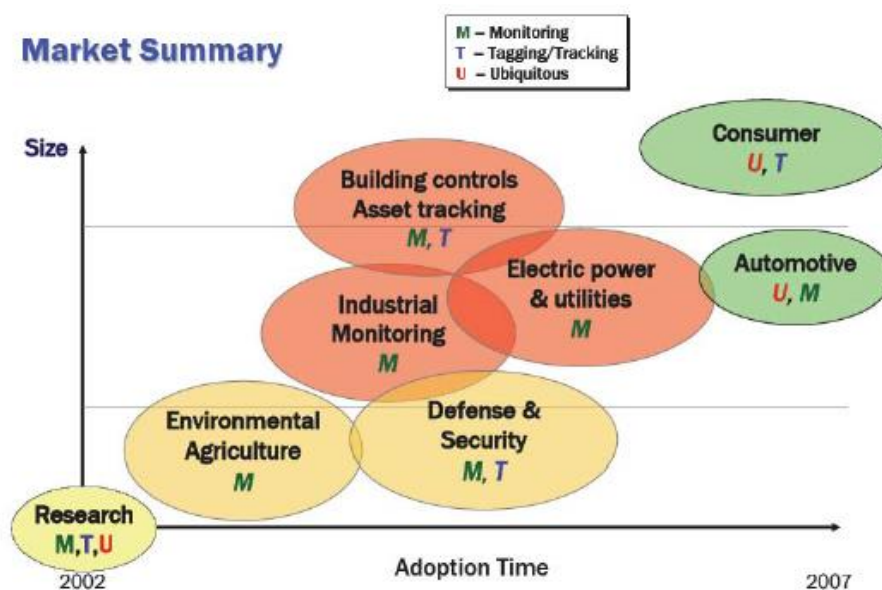
Entre las aplicaciones principales se encuentran:

- Monitoreo ambiental y agrónomo (aire, agua y suelo).
- Monitoreo estructural (edificios y puentes).

- Monitoreo industrial (maquinas).
- Monitoreo de procesos.
- Seguimiento de activos.
- Eficiencia energética.
- Entornos de alta seguridad.
- Monitoreo de procesos asociados al sector hidrocarburos.

Se puede revisar en la Figura 1 donde se plantea una distribución general del mercado.

Figura 1. Distribución de Mercado de las aplicaciones



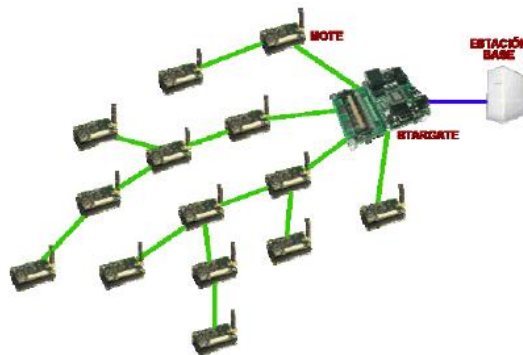
Fuente: [11]

4.1.3 Arquitectura de las WSN

La arquitectura de este sistema se basa prácticamente en el funcionamiento de este tipo de redes, típicamente el modelo a seguir es el siguiente: se realizan una serie de mediciones, luego se transforma dicha información en digital en el mismo nodo para que esta sea transmitida de forma inalámbrica fuera de la red de sensores por medio de la Gateway a una Estación Base, donde los datos pueden ser almacenados y tratados temporalmente. [11]

La Figura 2 muestra un ejemplo típico de una arquitectura de red asociada al concepto de WSN.

Figura 2. Arquitectura de las WSN



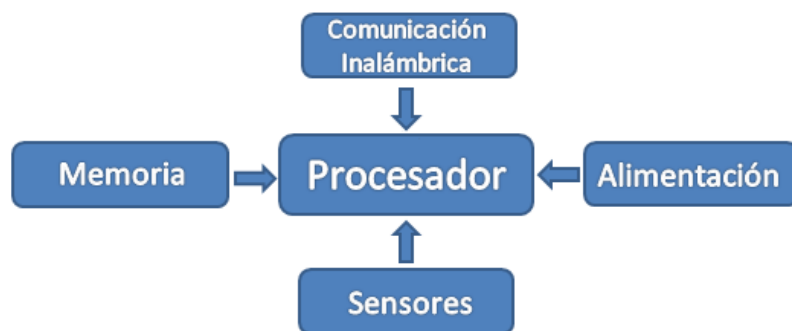
Fuente: [11]

En la arquitectura de las redes inalámbricas de sensores se encuentra en los elementos relacionados a continuación:

4.1.3.1 Nodos inalámbricos

También son denominados motas, del inglés “mote” debido a su reducido tamaño y rapidez. Estos dispositivos tienen la capacidad de captar, procesar y transmitir de forma inalámbrica a otros dispositivos información proveniente del entorno en el cual se encuentran, además estos deben garantizar un bajo consumo de energía, bajo costo, una transmisión eficaz de los datos y una amplia zona de cobertura salvaguardando que no debe estar muy aislado de los otros nodos puesto que están diseñados y programados para formar parte de una red y con un objetivo en común, lo cual quiere decir que si se encuentra aislado su utilidad seria completamente nula. El hardware de los nodos o motas consta de varias partes como se podrá observar en la Figura 3.

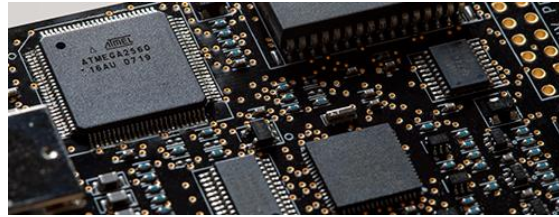
Figura 3. Arquitectura de un nodo inalámbrico



Fuente: Autor del proyecto

- **Procesador:** Este es el elemento que se encarga interpretar y procesar como lo indica su nombre, los datos para luego transmitirlos o enviarlos a otro nodo, también cumple la función de gestionar el almacenamiento de dichos datos en memoria. Existen diferentes dispositivos que se integran al nodo para que realicen la tarea computacional entre ellos están FPGAs, Microprocesadores y Microcontroladores.

Figura 4. Ejemplo de Microcontrolador ATMEGA128.



Fuente: [12]

- Alimentación: Usualmente la alimentación se realiza con baterías que se sustituyen cuando termina su vida útil o también se utilizan transformadores que deben tener la salida de voltaje adecuada para el nodo. Actualmente en zonas donde no existe red eléctrica y para evitar el tedioso trabajo de cambio de baterías se implementan placas solares para que realicen la tarea de proveer alimentación.

Figura 5. Batería 3.7 V (1000 mAh y 2800 mAh) para aplicaciones de redes de sensores



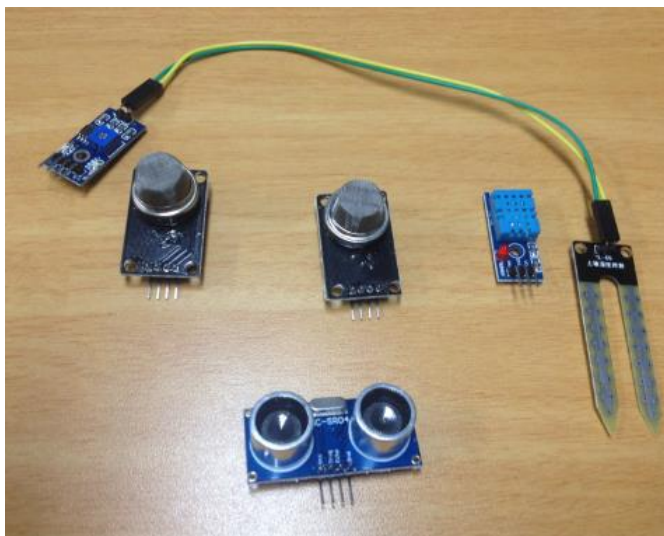
Fuente: [3]

- Comunicación inalámbrica: Este es un dispositivo que permite la transmisión y recepción de datos entre los nodos que se encuentran dentro de un rango de comunicación. Existen tipos de comunicación inalámbricas como lo son radio

frecuencia y comunicación óptica, esta última se hace mediante láseres infrarrojos y su consumo de energía es mínimo pero con este tipo de comunicación se requiere línea de vista entre el emisor y receptor. Por otra parte la comunicación por radio frecuencia utiliza la banda libre ISM y que para aplicaciones de redes inalámbricas de sensores hace uso del rango de frecuencias comprendido entre 433 MHz y 2.4 GHz. En la Figura 1 podemos observar el dispositivo con el cual se puede realizar la comunicación inalámbrica.

- Sensores: Se encargan de medir constantemente las variables físicas para su respectivo monitoreo. La salida de información de los sensores pueden ser analógicas o digitales y son enviadas al dispositivo microcontrolador para su debido procesamiento, las principales características de los sensores deben ser su reducido tamaño, el bajo consumo de energía, ser autónomo, operar en altas densidades volumétricas y su capacidad de adaptarse al ambiente. Los dispositivos sensores se clasifican en sensores pasivos omnidireccionales, sensores pasivos unidireccionales y sensores activos. En la Figura 6 se presentan algunos ejemplos de sensores de propósito general para el monitoreo de variables como la temperatura, humedad, proximidad, gases CO, CO₂ y nitrados; que han sido validados en el desarrollo del presente proyecto. En la Figura 6 se observan algunos ejemplos.

Figura 6. Ejemplos de sensores electrónicos (humedad, gases, proximidad, temperatura, etc.)



Fuente: [3]

- Memoria: La memoria es la encargada de almacenar cualquier tipo de información ya sean los datos de captan los sensores o algún tipo de configuración que se haga en el nodo. Existen diversos tipos de memoria entre los que se encuentra la memoria EEPROM que permiten que la información sea escrita o borrada en una misma operación de programación, también está la memoria FLASH que es de tipo no volátil y pues la información que se encuentre almacenada en esta no se pierde ante un posible fallo de energía.[11].

4.1.3.2 Puerta de enlace

Este dispositivo que se conoce como “Gateway” se encarga de llevar a cabo la interconexión entre la red de sensores y una red de datos (TCP/IP). La puerta de enlace es un nodo exclusivo que no tiene sensor y que tiene como objetivo actuar como puente entre dos redes diferentes, también se encargan de suplir la necesidad de conectar las redes de sensores con otras redes como Internet, redes LAN e Intranets privadas.

4.1.3.3 Estaciones base

La estación base es un recolector de datos, que podría ser un computador común o un sistema empotrado. Normalmente los datos llegan a un equipo que hace las veces de servidor, específicamente dentro de una base de datos, desde la cual los usuarios pueden acceder de forma remota para la respectiva monitorización y estudio de los datos.

4.1.4 Topologías de Red WSN

Existen varias topologías que pueden ser implementadas en aplicaciones de redes inalámbricas de sensores, por ejemplo: estrella, malla o híbrida (malla-estrella), cada una de estas topologías puede presentar una serie de desafíos ventajas o desventajas. La topología de la red hace referencia a la configuración de los componentes y como se transmiten los datos mediante esa configuración.

Los componentes que están presentes en las diferentes topologías de las redes inalámbricas de sensores son: Nodos finales o motas que están compuestos sensores y actuadores, cuya función es captar los datos. Routers los cuales dan cobertura a redes un poco amplias y que cumplen funciones como salvar obstáculos, solucionar problemas de congestión en la transmisión de datos y posibles fallos de algunos dispositivos. Puertas de enlace que se encargan de recoger todos los datos e interconectar la red de sensores con otras redes.

Las topologías más usadas para las WSN son:

4.1.4.1 Peer to peer

La red más simple posible construida por dos radios o nodos, uno de estos cumple la función de coordinador y el otro como router o dispositivo Final. El primero de estos se responsabiliza de la creación de la red. [13].

4.1.4.2 Topología estrella

Esta topología se caracteriza porque la información enviada solo da un salto, es decir, todos los nodos o motas tienen comunicación directa con la puerta de enlace. La distancia que existe entre los nodos y la puerta de enlace esta entre 30 y 100 metros, los nodos finales no interactúan entre ellos, sino que utilizan a la puerta de enlace para tal fin si se requiere.

La topología estrella no tiene rutas alternativas lo cual supone que en caso de que se caiga una ruta de cualquier nodo de la red la información se pierde y no hay forma de recuperarla.

4.1.4.3 Topología malla

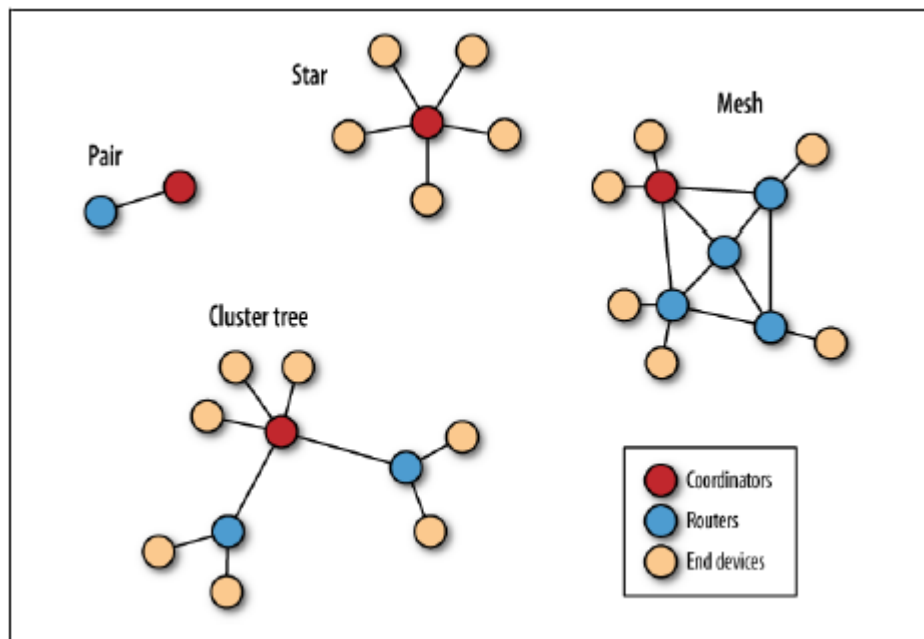
La topología malla utiliza una técnica multisalto, con la cual todos los nodos actúan como routers. Todos los nodos pueden enviar y recibir datos de otros nodos y de la Gateway a diferencia de la topología estrella, que no permite que los nodos se envíen información. Este tipo de tecnología es altamente tolerante a fallos debido a que cada nodo puede enviar información a múltiples caminos para comunicarse con la puerta de enlace, lo que hace también que la red pueda ser escalable. [11]

4.1.4.4 Topología híbrida (estrella-malla)

Con esta topología es posible combinar y sacar provecho de las ventajas de los dos tipos de tecnologías anteriores como lo son la simplicidad y bajo consumo de la topología estrella así como la escalabilidad y la posibilidad de reorganizarse ante fallos de la topología malla.

Un esquema ejemplo de cada una de las topologías es mostrado en la Figura 7.

Figura 7. Topologías de red (WSN).



Fuente: [13]

4.1.5 Síntesis de parámetros más importantes de una WSN

En la siguiente relación se presentan los parámetros más importantes de las redes de sensores inalámbricas, desde punto de vista técnico, funcional, organizacional, entre otros. Los principales referentes de este listado son [14], [15] y [11]:

- Tiempo de vida
- Cobertura de la red
- Costo y facilidad de instalación
- Precisión y frecuencia de las mediciones
- Seguridad
- Flexibilidad
- Robustez

- Capacidad de comunicación
- Capacidad de computación
- Facilidad de computación
- Facilidad de sincronización
- Tamaño y costo
- Consumo de energía

Ahora bien, no hay duda que la lista puede ser de mayor tamaño considerando el sector de aplicación de la red. Para el caso específico de las redes de sensores orientadas a la industria de los hidrocarburos son destacados los aspectos de **robustez, consumo de energía y seguridad de la información** (siendo este último probablemente el de mayor interés de estudio). El garantizar la transmisión confiable de los datos reduciendo el gran número de problemas asociados a las tecnologías inalámbricas. [16]

4.1.6 Caso de interés en topología de Red- Esquema AD-HOC

Las redes Ad-Hoc son comúnmente utilizadas en las redes inalámbricas de sensores y son redes de tipo malla. Este tipo de redes no tienen infraestructura y sus estaciones permiten realizar encaminamiento para poder permitir las comunicaciones con estaciones que no están conectadas a la red directamente. La principal característica de las redes Ad-Hoc es que todos los dispositivos actúan como terminales finales y además estos realizan la función de retransmisión de paquetes. La principal función de las redes Ad-Hoc es crear de manera rápida y eficaz una red temporal en lugares carentes de infraestructura de red.

A continuación se describen algunas de las características de las redes Ad-Hoc:

- **Movilidad:** es una de las características más importantes, debido a esta los nodos se pueden reposicionar o movilizar de forma estratégica siempre y cuando no salgan del radio de cobertura.
- **Multisalto:** esta característica hace que en la transmisión de los paquetes, estos atraviesen por varios nodos para ir desde el origen hasta su destino.
- **Escalabilidad:** las redes que poseen esta característica pueden aumentar el número de nodos de forma rápida y sencilla, gracias a que no existe un Access Point concreto. Es importante decir que en este caso se pueden agregar pero también se pueden eliminar nodos de la red.
- **Auto organización:** debido a esto la red tiene la capacidad de establecer sus propios parámetros de configuración como direccionamiento, clustering, encaminamiento, etc.
- **Conservación de la energía:** sabiendo que este tipo de redes tienen limitaciones de energía puesto que las baterías agotan su vida útil, se trata de diseñar un protocolo MAC para el encaminamiento de los datos con el fin de mejorar el rendimiento y aumentar el tiempo de vida de las baterías.
- **Seguridad:** teniendo en cuenta que las redes inalámbricas y especialmente las redes Ad-Hoc son vulnerables a ataques tanto pasivos donde el atacante puede emular un nodo para capturar paquetes de datos, como ataques activos donde el atacante puede destruir las tablas de encaminamiento, etc.[11].

4.1.7 Protocolos de enrutamiento

En las redes de tipo Ad-Hoc se ve la necesidad de incluir protocolos que permitan crear las rutas que deben seguir los datos que son transmitidos, los protocolos tradicionales que son propios de redes fijas no se adaptan a este ambiente tan dinámico, por lo cual existe

la necesidad de diseñar protocolos específicos para este tipo de redes. Estos protocolos se pueden clasificar principalmente en proactivos y reactivos. Los protocolos proactivos independientemente de las necesidades de encaminamiento, intentan tener una visión precisa del estado de la red. Se busca mantener actualizadas las tablas de enrutamiento a través del envío de datos de forma periódica. Esta característica procura una respuesta rápida ante solicitudes de rutas y suele ofrecer un buen comportamiento en los escenarios de movilidad alta. Sin embargo, para mantener una actualización permanente de las rutas, se introduce una sobrecarga importante de la red con los mensajes de control. [13].

Los protocolos reactivos solo obtienen información de encaminamiento cuando es necesario. Son protocolos bajo demanda que buscan la ruta hacia un destino en el momento en el que se quiere enviar información hacia ese destino. Las redes que usan este tipo de protocolos tienen menor sobrecarga, pero los retardos al establecimiento de comunicación son mayores.

Existe una gran cantidad de protocolos utilizados para implementación en redes de tipo Ad-Hoc, pero los más utilizados comúnmente son:

- Destination-Sequenced Distance Vector (DSDV): es una modificación del algoritmo de encaminamiento Vector Distancia Bellman-Ford, en este protocolo los nodos vecinos intercambian periódicamente sus tablas de encaminamiento para estimar la distancia mínima a la que se encuentran los demás nodos no vecinos.
- Optimized Link-State Routing Algorithm (OLSR): OLSR incorpora la filosofía utilizada en protocolos tradicionales como OSPF de estado de enlace. En este

protocolo los nodos intercambian mensajes para formarse una visión consistente de la red y así definir el encaminamiento de los paquetes.¹

- Dynamic Source Routing (DSR): este protocolo se fundamenta en el encaminamiento desde el origen, es decir, los paquetes de datos incluyen una cabecera con la información exacta de los nodos que deben atravesar. Esto ofrece la posibilidad de obtener con la solicitud de una ruta múltiples caminos posibles hacia el destino.
- Ad-Hoc On Demand Distance Vector (AODV): los nodos mantienen las tablas de enrutamiento para los destinos conocidos, únicamente se le añadirán rutas nuevas cuando sea estrictamente necesario.[11]

En la Tabla 1 se ilustran las características principales de algunos protocolos de las redes Ad-Hoc.

Tabla 1. Características de los protocolos de redes Ad-hoc

Protocolo	Alcance	Esquema	Información Geográfica
DSDV	Unicast	Proactivo	No
DSR	Unicast	Reactivo	No
AODV	Unicast	Reactivo	No
LAR	Unicast	Proactivo	Sí
TORA	Unicast	Reactivo	No
ZRP	Unicast	Híbrido	No

¹ (Fernández Martínez, Roberto; Orideres Meré, Joaquín; Martínez de Pisón Ascacíbar, Francisco; González Marcos, Ana; Alba Elías, Fernando; Lostado Lorza , Ruben; Pernía Espinoza, Alpha;, 2009)

FSR	Unicast	Proactivo	No
OLSR	Unicast	Proactivo	No
MAODV	Multicast	Reactivo	No
LBM	Geocast	Proactivo	Sí
GeoTORA	Geocast	Reactivo	Sí
GeoGRID	Geocast	Reactivo	Sí
GAMER	Geocast	Proactivo	Sí

Fuente: [17]

4.1.8 Linear Sensor Network (LSN)

El concepto de Redes de Sensores Lineales se define como una nueva categoría de WSN donde los nodos son instalados en una línea estricta o de forma semi-lineal. Se presenta en esta revisión documental pues es de amplio interés en las redes de sensores inalámbricas asociadas con hidrocarburos.

Una WSN es considerada lineal si una de las siguientes condiciones se cumple:

- Si todos los nodos son alineados en línea recta, formando una LSN delgada (Thin LSN).
- Si todos los nodos existen entre dos líneas paralelas que se extienden una distancia relativa considerable comparada con la distancia de transmisión entre ellos. Esta estrategia se denomina LSN gruesa (Thick LSN).

La alineación de los nodos sensores en una forma lineal ocurren en muchas aplicaciones donde se pretenden monitorear y vigilar, como es el caso de verificación limítrofe, información de tuberías, monitoreo de ríos, distribución de hidrocarburos, entre muchos otros. La estrategia genera ventajas en direccionamiento, problemas de seguridad y

estabilidad. También permite reducir costos de mantenimiento y aumentar la batería de los dispositivos. [18].

En este orden de ideas, los LSN deben contribuir a construir redes de sensores con mayores ventajas en los siguientes aspectos:

- Incremento en la eficiencia del enrutamiento: Aunque en la literatura de los WSN se encuentran protocolos de enrutamiento 2D para el descubrimiento y mantenimiento de rutas como son (DSR; AODV, TORA, entre otros); es posible desarrollar en los LSN protocolos más sencillos y con menor costo computacional. Un buen ejemplo de este diseño es mostrado en el trabajo [19].
- Incremento en la confiabilidad de la red: Una estrategia básica para optimizar la confiabilidad es aprovechar el nodo opuesto al que pueda fallar o incrementar el rango de transmisión para literalmente “saltar” un nodo con fallos. Este incremento debe ser escalado según la necesidad y puede ser una estrategia muy positiva para el incremento de la confiabilidad.
- Mejoramiento de la administración de la heterogeneidad de los nodos: Se puede, mejorando el marco de trabajo (framework) de la red de disminuir los retardos o latencias en la transmisión. Se propone el uso de estrategias de diseminación en paralelo, integrando diferentes etapas de la red y sus propiedades.
- Incremento de la seguridad de la red: Asegurar la red ante diferentes tipos de ataques es fundamental (negación de servicio, robo de datos, spoofing, ataques black hole, entre otros). El conocer el ambiente de enrutamiento y el proceso de transferencia de datos permite caracterizar mejor el sistema y aumentar la seguridad del mismo. [7].

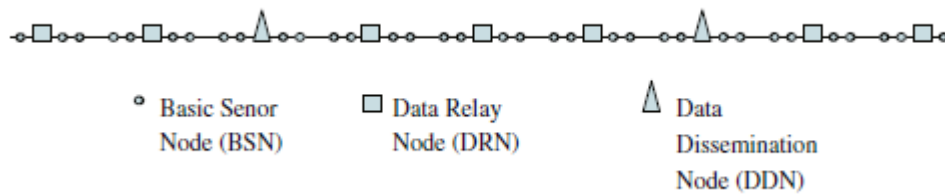
4.1.8.1 Topología jerárquica y clasificación

[14], [7] y [18], entre otros presentan una topología general jerárquica, en la cual la red de sensores inalámbricos utiliza tres categorías de nodos. Aunque los referentes difieren un poco en el nombre, se ha decidido tomar como referencia los mostrados en [18], y se listan a continuación:

- Nodos Sensores Básicos (Basic Sensor Nodes-BSN): Son los nodos más sencillos en la red y su objetivo es el de ejecutar funciones de sensado y comunicación de la información a los nodos del siguiente nivel.
- Nodos de retransmisión de datos (Data Relay Nodes-DRN): Estos nodos sirven como concentradores de datos enviados por sus nodos cercanos (vecinos). La distancia entre estos nodos es determinado por el rango de comunicación del protocolo MAC utilizado.
- Nodo de diseminación de datos (Data Dissemination Nodes-DDN): Estos nodos realizan la función de entregar los datos recolectados por los DRN a la Central de datos (NCC). La tecnología de comunicación a la NCC varía según la aplicación, pero probablemente sea utilizada la satelital o la celular.

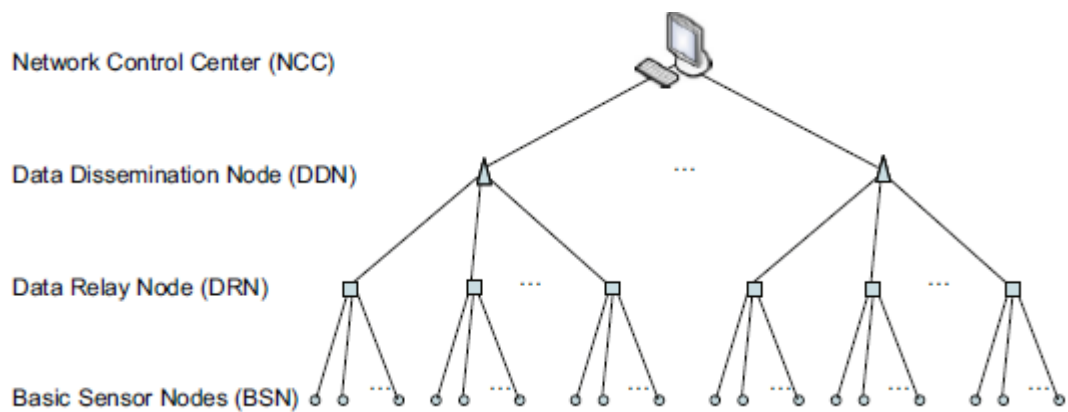
En la Figura 8 se muestra una representación general de la red sensores basados en los tres niveles descritos. Por su parte, la figura Figura 9 muestra la relación padre/hijo de los tres tipos de nodos.

Figura 8. Representación general de una red LSN de tres niveles



Fuente:[18]

Figura 9. Esquema de relación padre/hijo para los diferentes tipos de nodos



Fuente:[18]

Como cierre de sección es importante destacar que en la propuesta inicial del proyecto se ha desarrollado la integración de dos niveles (DRN-BSN) y (DDN); contando con dos tipos de hardware para los tres roles. Esto será detallado con mayor amplitud en la siguiente sección.

4.2 VIGILANCIA TECNOLÓGICA Y ESTADO DEL ARTE

Como indica Jakobiak en [20] la vigilancia tecnológica “*consiste en la observación y el análisis el entorno científico, tecnológico y de los impactos económicos presentes y futuros, para identificar las amenazas y las oportunidades*”, a su vez el mismo autores aporta una definición complementaria como “*Es la observación y el análisis del entorno seguidos por la difusión de las informaciones seleccionadas y analizadas, útiles para la toma de decisiones estratégicas*”. Este concepto se encuentra estrechamente ligado, como

indica [21] y ratifica [20] a un panorama más amplio que incluye aspectos, además del tecnológico, tales como: competitivos, comerciales y del entorno. Esto se describe con mayor detalle en Figura 10.

Figura 10. Diferentes aspectos de la Vigilancia en organizaciones



Fuente: [20]

4.2.1 La vigilancia tecnológica en la gestión de proyectos de Investigación-Desarrollo-Innovación- Conceptos e importancia.

Para el caso específico del presente proyecto donde su orientación es atender necesidades de un grupo de investigación específico en el marco de la Universidad Santo Tomás como gestora de proyectos de I+D+i; se propone entonces explorar específicamente la forma de llevar a cabo de vigilancia tecnológica en este tipo de organizaciones.

Como destaca [22] la vigilancia tecnológica es una función fundamental para la planificación, gestión y desarrollo de proyectos. Se relaciona en esta documentación la importancia de la existencia de normas específicas, como es el caso de la *UNE: 166006 EXGestión de la I+D+i* de la comunidad europea, la cual se encuentra citada e incorporada, para el caso colombiano, en la Norma Técnica Colombiana NTC-5801 para la *Gestión de la Investigación, Desarrollo e Innovación (I+D+i)* referida en [23]. Basado en los referentes anteriores, se establece un conjunto de procesos involucrados para la Vigilancia Tecnológica (VT) que son comunes en este tipo de organizaciones y se sintetizan en:

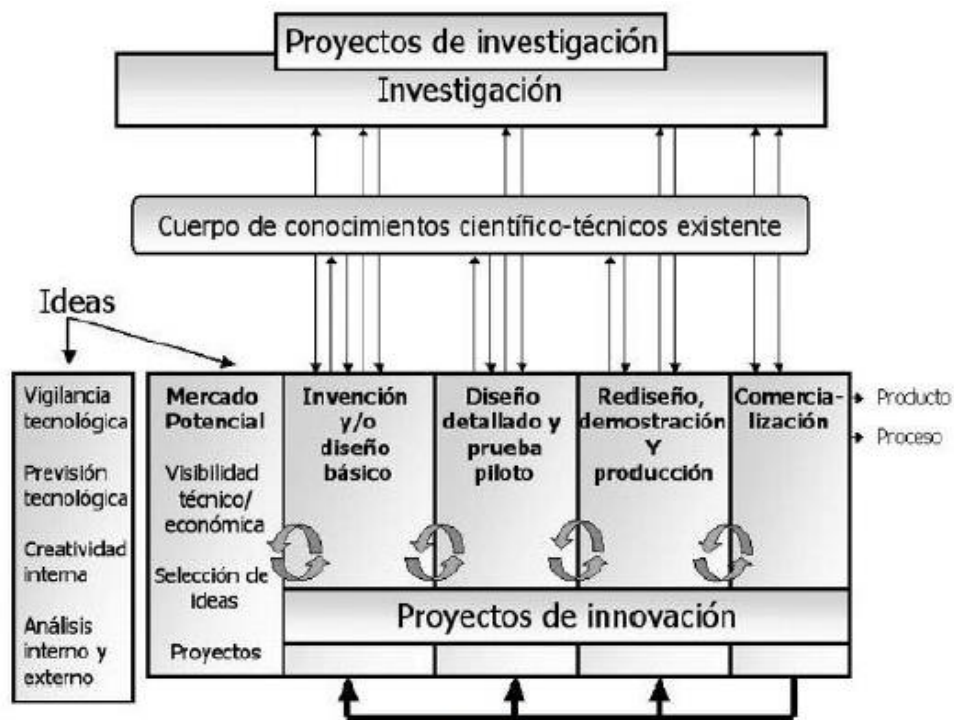
- Establecimiento claro de objetivos del ejercicio de VT.
- Selección de las fuentes adecuadas de información.
- Realización de la búsqueda.
- Tratamiento de la información (procesamiento de datos).
- Divulgación de la información.

En ese orden de ideas, la vigilancia tecnológica se convierte en una fuente de información tecnológica por ser claramente estructurada y exclusiva a una temática.

El proceso de la VT para las organizaciones gestoras de I+D+i se constituye por una constante búsqueda y revisión, partiendo siempre de las necesidades del sector, a lo que los autores consultados denominan el mercado potencial. Dado el detalle y la claridad del esquema el autor del presente proyecto se permite relacionar la

Figura 11 presentada por[22].

Figura 11. Esquema general de la VT en organizaciones asociadas a procesos de I+D+i



Fuente: [22]

Es pieza fundamental en esta estructura de desarrollo que el elemento central del ejercicio es siempre la idea y la posibilidad, real, de llevarla al mercado. Estos elementos permiten definir específicamente:

- Aplicación real de nuevas tecnologías al mercado.
- Creación de nuevos productos.
- Valoración del impacto en el entorno de la tecnología o producto.

Este aspecto es de alta relevancia para el grupo UNITEL ya que su equipo investigador se encuentra involucrado en procesos de Transferencia de Tecnología; como es el caso de la experiencia de la Oficina de Transferencia de Resultados de Investigación de Oriente (OTRI) a la cual la Universidad Santo Tomás pertenece.

4.2.2 Descripción de las fases principales del proceso

Con los elementos revisados hasta este punto, se propone en esta sección relacionar con mayor detalle cada una de las fases del proceso de vigilancia tecnológica. La misma puede ser profundizada en [24],[22] y [21].

- **Identificación de necesidades:** Estas necesidades son identificadas por la organización, en este caso por el grupo de investigación UNITEL, basado en un proceso de autodiagnóstico. Este proceso permite determinar el concepto de los *factores críticos de vigilancia (FCV)* que orientaran la búsqueda a realizar. En este punto se debe identificar si la búsqueda se centrara en alguno de los siguientes tipos: (1) De tecnologías disponibles o emergentes, (2) De competidores, (3) De especificaciones comerciales como productos, mercados, clientes, entre otros y (4) Del entorno, detectando factores como ambiente, política, reglamentaciones, entre otros. El presente proyecto se centrará en la revisión del primer aspecto (tecnologías) y una revisión del panorama general del mercado (3).
- **Identificación de las fuentes:** Para la identificación de las fuentes es clave considerar la existencia de opciones denominadas, según la literatura, formales y no formales. Dentro de las formales se encuentran: Bases de datos, patentes, publicaciones de empresas, información de organismos oficiales, prensa, entre otros. Mientras tanto, para el caso de las no formales (informales) se encuentran conversaciones, ferias, exposiciones, encuestas no oficiales entre otros. Para efectos de la presente propuesta el enfoque se realizará a las fuentes formales, a través del uso de fuentes físicas y digitales.
- **Medios de acceso:** Aunque se encuentra muy ligado a la identificación de fuentes, se presenta en la literatura ejemplos específicos de medios de acceso, es decir las

herramientas que permiten acceder a la información, consolidarla y en muchos casos procesarla para tener resultados más pertinentes. Entre los principales ejemplos de los medios de acceso se encuentran los asociados a *vigilancia de medios de prensa*, a los vinculados a la *vigilancia de empresas internacionales*, *monitoreo de páginas web*, entre muchos otros. En este aspecto las fuentes de referencia formal de patentes son muy relevantes y son consideradas en el desarrollo de esta propuesta de proyecto.

- **Búsqueda:** Esta fase del proceso se focaliza en el desarrollo, operativo, de la búsqueda. El proceso se considera altamente iterativo, ya que se requiere verificar resultados, validar y repetir hasta contar con una información depurada. La identificación de fuentes pertinentes a la necesidad y la especificación de nociones prioritarias son elementos fundamentales del proceso.
- **Puesta en valor de la información:** Este punto se consolida al momento de validar y analizar la información recuperada. En este punto los cruces de variables se logran a partir de presentar las preguntas de mayor interés en la búsqueda. Aunque no es la única metodología, [22] genera algunos ejemplos asociados a patentes y los cuales son mostrados en la Tabla 2.

Tabla 2. Ejemplo de preguntas vs tipo de cruce de datos recomendados (caso patentes).

Pregunta	Tipo de cruce de datos
¿Con qué empresas cooperan mis competidores?	Análisis de patentadores
¿Cuál es el principal esfuerzo investigador de la competencia?	Análisis de empresas según la IPC (Intl. patent classification)
¿Desde cuándo investigan mis competidores en este campo?	Análisis de patentadores /fechas
¿Qué técnicas se están transfiriendo a nuevas áreas o productos?	Análisis IPC /IPC
¿Qué técnicas están emergiendo y cuáles están en declive? ¿En qué estado del ciclo está una tecnología?	Análisis IPC /año
¿Cuáles son los países líderes en cierta tecnología?	Análisis de prioridades /IPC

Fuente: [22]

Esta fase del proceso se logra consolidar ejecutando también análisis de coocurrencias, es decir de los cruces de información para generar redes de colaboración, detección de alianzas, área de especialización, entre otros elementos.

- Difusión de los resultados obtenidos: El último paso en el proceso asociado a la VT es la difusión de la información asociada a los resultados del ejercicio. La difusión se realiza con los interesados del proceso y debe estar debidamente evidenciada y soportada.

En términos generales el proceso de implantación de la VT en una organización (en este caso una asociada a I+D+i) permitirá definir líneas de investigación fuertes para el proceso, mejoras en la selección y comparación de tecnología para la inversión y la óptima estrategia de difundir/negociar los resultados.

4.2.3 Estado del arte- Concepto e importancia

El estado del arte es uno de los pasos fundamentales en la consolidación de un proyecto, así como de líneas de investigación de grupos de investigación (como es el caso del grupo UNITEL). El estado del arte permite: *“afianzar la formulación del problema o tema investigativo...es decir permite seguirle las huellas a un proceso para identificar su estado de desarrollo”* [25].

En este sentido, se comprende que la construcción del estado del arte permite a un investigador asumir una postura crítica frente a lo que se ha desarrollado o investigador en un tema, y también permite conocer lo que hace falta por investigar; esto permitiendo evitar duplicidad de esfuerzos o caer en errores ya documentados.

Algunos autores, como es el caso de [25] y [26] , definen el estado de arte como una modalidad de la investigación documental, que permite realizar el estudio del conocimiento acumulativo de un área específica. El ejercicio requiere un análisis crítico y no una simple compilación de documentos.

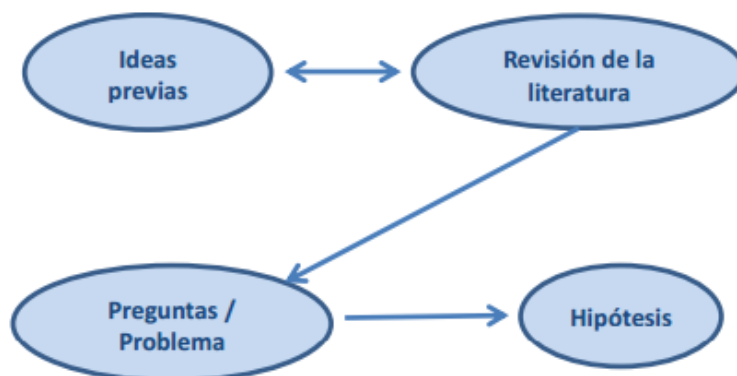
Se propone tener en cuenta para su correcto desarrollo los siguientes interrogantes:

- ¿Qué campos de indagación se han definido y reconocido como directamente relacionados con el tema de la investigación?
- ¿Qué conceptos se evidencian como esenciales en los documentos seleccionados como construir el estado del arte?
- ¿Qué contenidos, tópicos o dimensiones, se han definido como prioritarios?

En la Figura 12 se presenta un esquema general de requisitos para el desarrollo inicial de un estado del arte, que exige la definición de una idea previa (concepto), la revisión de la

literatura, la formulación de preguntas problemas y la definición de hipótesis sobre la temática.

Figura 12. Requisitos para iniciar un estado del arte



Fuente: [25]

Ahora bien, el proceso no tiene un resultado terminal; sino que exige una revisión constante y sistemática del ejercicio para estar, de forma dinámica, actualizando la problemática a atender.

4.2.3.1 Objetivos y metodología para el desarrollo de un estado del arte.

Aunque es una temática densa para una síntesis como la presentada en este documento, si es posible afirmar que como principales objetivos del desarrollo de un estado del arte se encuentra:

- Obtención de datos relevantes acerca de enfoques teóricos de un objeto de estudio.
- Descripción del estado de avance de una temática o área.
- Aporte a la construcción de un lenguaje común y una línea base para los investigadores e interesados de un proyecto.
- Estudio de la evolución de un problema a través del tiempo.

- Ampliación del conocimiento sobre lo estudiado a partir de la discusión crítica de la temática.
- Determinación de enfoques para la solución de una problemática específica.
- Entre otros.

Respecto a los fundamentos, la

Figura 13 presenta un conjunto básico de principios que orientan el desarrollo de un estado del arte.

Figura 13. Principios que orientan la construcción del estado del arte.



Fuente: [25]

4.2.3.2 Momentos del desarrollo de un estado del arte- breve panorama

Para el desarrollo de un estado del arte se cuenta con dos grandes momentos: el heurístico y el hermenéutico. El primero se orienta al descubrir e indagar documentación, con el fin de describir procedimientos para resolver una dificultad. Este ejercicio permite demostrar o refutar una aseveración. La hermenéutica está más orientada a la capacidad de explicar e interpretar relaciones existentes entre un hecho y su contexto. Metodológicamente, este último, permite explicar las bases de la comprensión y sus posibilidades. Cuenta con tres momentos: pretexto, contexto y horizonte de sentido.

En la literatura revisada se encuentran como las principales metodologías para desarrollar un estado del arte dos grandes estrategias heurística y la hermenéutica. La descripción de las mismas se presenta en la Tabla 3.

Tabla 3. Metodologías para construcción del estado del arte.

Nombre de la metodología	Descripción
Heurística	Esta metodología para el desarrollo de estado del arte se centra en la búsqueda y la recolección, sistemática, de fuentes de información. Esta información suele ser recopilada de diferentes fuentes y naturalezas.
Hermenéutica	En esta metodología se procede a un análisis más detallado de la información, generando un aporte en la interpretación de la misma. En ciertas investigaciones esta estrategia no se profundiza con el suficiente detalle, dejando un panorama general de la recopilación. El proceso exige la construcción de instrumentos para visualización de resultados.

Fuente: Autores del trabajo con adaptación de [25]

La Figura 14 muestra una profundización en cada uno de estas metodologías expresados en fases consecuentes.

Figura 14. Propuesta metodológica para la construcción de estado del arte.



Fuente: [25]

En el caso de la investigación en el área tecnología, el cual es el caso de este proyecto, el llevar a cabo la fase heurística no es suficiente para emitir orientaciones en los procesos a ejecutar; requiriendo siempre incluir la segunda metodología.

Para mayor información sobre este tema se invita al lector a revisar [25] y [26].

4.3 PATENTES, DISEÑOS INDUSTRIALES Y REGISTROS DE SOFTWARE

El último aspecto que se considera en la revisión del marco referencial del proyecto; y que sigue dando cuenta del primer objetivo del proyecto, es la temática asociada a la Propiedad Intelectual. Específicamente, tanto por orientaciones del líder del grupo de investigación UNITEL, como de la revisión de la temática específica; el análisis se centrará en tres aspectos: Patentes/Modelo de Utilidad, Diseño industrial y registro de software.

4.3.1 Patentes y modelo de utilidad

La Organización Mundial de la Propiedad Intelectual - OMPI² define la patente como:

“Una patente es un derecho exclusivo que se concede sobre una invención. En términos generales, una patente faculta a su titular a decidir si la invención puede ser utilizada por terceros y, en ese caso, de qué forma. Como contrapartida de ese derecho, en el documento de patente publicado, el titular de la patente pone a disposición del público la información técnica relativa a la invención.” [27]

² WIPO en su sigla en inglés.

La patente genera entonces un derecho exclusivo, a su propietario, que la invención sea utilizada comercialmente por un tercero. Para poder comercializarla o producirla debe tener el consentimiento del titular de la patente.

Cabe resaltar que las patentes son derechos territoriales, es decir que solo tienen validez en el país o región donde se realiza la solicitud; según las normas propias. El periodo de duración es variable, sin embargo es comúnmente aceptado por gran cantidad de países que la misma sea por 20 años.

En el caso colombiano, es la Superintendencia de Industria y Comercio – SIC, la responsable de la valoración y otorgamiento de la patente. Colombia sigue la legislación vigente en materia de patentes contenida en la Decisión 486 de 2000 de la Comisión de la Comunidad Andina y es aplicable a todos los miembros de la Comunidad Andina. [28]

Existen dos tipos de patentes: de invención o de modelo de utilidad.

Las *patentes de invención* deben tener mínimo tres condiciones básicas, las cuales son analizadas por la entidad que otorga las patentes. Dichas condiciones son:

- Ser novedoso, es decir, que no exista a nivel mundial. Esto significa que la invención no se encuentre en el Estado de la Técnica, comprendiendo este concepto como: *“Toda la información que se encuentra relacionada con la invención, como publicaciones y bases de datos, físicas o electrónicas. De esta información se permite concluir si el producto o procedimiento a patentar es nuevo”* [28].
- Poseer un nivel inventivo, lo que equivale a decir, que no sea un desarrollo obvio para alguien experto en la materia que trata el invento.

- Que lo inventado pueda ser utilizado o fabricado en cualquier industria, es decir, que debe tener una aplicación industrial.

Por otra parte, la patente de modelo de utilidad se concede a reconocer las invenciones que consisten en una nueva forma, configuración o disposición de un elemento, herramienta, mecanismo u otro objeto, permitiendo un mejoramiento funcional. Debe generar una ventaja o efecto técnico que la invención original no tenía. En Colombia el modelo de utilidad genera una protección por 10 años.

Para el caso de la investigación, el acercamiento al tema de patentes se realiza en la revisión del estado arte y los resultados presentados por herramientas como Scopus y Patenscope.

4.3.2 Diseño Industrial

Otro concepto asociado a la Propiedad Intelectual es el Diseño Industrial. El mismo hace referencia a la forma externa, bidimensional o tridimensional, de un producto que le genera una apariencia particular a este. Este ejercicio reconoce entonces el esfuerzo intelectual de la innovación estética de los objetos, además de impactar en el gusto personal; generado importancia comercial. [29]

Para efectos de los procesos de investigación cabe anotar que el Registro de Diseño Industrial protege únicamente la forma el producto y no su funcionalidad. El diseño industrial No es una patente.

4.3.3 Registro de software

En el caso de los aplicativos software, bases de datos, algoritmos, entre otros; el tema al que se debe remitir es el de Derechos de Autor, el cual difiere con la Propiedad Industrial mostrada en los dos ítem anteriores. El Derecho de autor se considera:

“Forma de protección jurídica en virtud de la cual se le otorga al creador de una obra literaria o artística un conjunto de prerrogativas de orden moral y patrimonial, que le permiten autorizar o prohibir su utilización de cualquier manera o por cualquier medio conocido o por conocer”. [30]

En esta modalidad se protege a los autores y a los titulares del desarrollo. Debe cumplirse con originalidad, ser susceptible de ser reproducida, cuenta con protección inmediata, entre otros.

En este campo se habla de los derechos morales y de los derechos patrimoniales. El derecho moral permite reivindicar en todo momento la paternidad de la obra, oponerse a su deformación, conservarla inédita, derecho a retracto, entre otros. El derecho patrimonial permite reproducir la obra en cualquier forma o procedimiento, realizar comunicación pública, distribuir ejemplares, adaptarla, transformarla, entre otros.

En el caso Colombiano el registro de software se realiza en la Dirección Nacional de Derechos de Autor- DNDA; y es un procedimiento que se puede llevar a cabo en línea o en físico. No tiene ningún costo. [30]

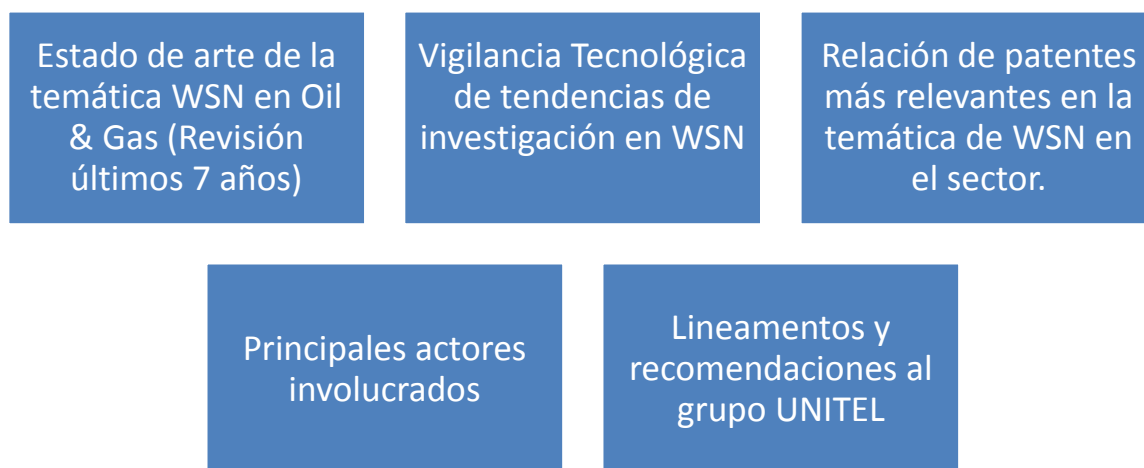
En la revisión realizada se encuentra que el grupo de investigación UNITEL cuenta con tres software registrados; los cuales serán detallados en la sección de desarrollo del proyecto.

5 Ejecución y resultados del proyecto de grado

En el capítulo anterior se realiza una revisión sistemática de los principales conceptos requeridos en el proyecto, así como la descripción de estrategias y herramientas para la construcción del estado del arte y la vigilancia tecnológica de una temática. Esta descripción permite dar cuenta del primer objetivo del proyecto.

Ahora bien, entrando en la revisión específica del estado actual de la tecnología de redes de sensores inalámbricos aplicados al sector hidrocarburos; que es el interés particular del presente ejercicio académico, se ha decidido abordar los elementos mostrados en el diagrama presentado en la Figura 15.

Figura 15. Entregables en el proceso de investigación



Fuente: Autor del proyecto

Para el desarrollo de estos puntos se ha contado con el apoyo y acompañamiento particular de los siguientes actores: (1) Equipo de Vigilancia Tecnológica de la

Universidad Santo Tomás- Bucaramanga y (2) Líder de grupo de investigación UNITEL y responsable de la línea de investigación específica.

5.1 Estado de arte de la temática wsn en oil & gas (revisión últimos 7 años)

En el proceso de contextualización del proyecto se llevó a cabo una revisión del estado del arte de la iniciativa, la cual se centra en la aplicación específica de Redes de Sensores inalámbricos aplicadas al sector hidrocarburos (Oil & Gas). Los criterios de búsqueda para la revisión realizada son presentados en la Tabla 4. Criterios de revisión Tabla 4.

Tabla 4. Criterios de revisión

Criterio	Descripción
Periodo de revisión	Últimos siete años a partir de la autoría del presente proyecto (2008-2015)
Bases de datos/repositorios	Scopus, Elsevier e IEEE.
Condiciones de revisión	- Las palabras claves de búsqueda serán principalmente: Wireless Sensor Network, WSN Oil & Gas. - Los trabajos seleccionados deben evidenciar impacto en el sector productivo de aplicación. - Se deben encontrar los artículos en texto completo.

Del análisis anterior, incluyendo las bases listadas, se encuentran los resultados mostrados en la

Tabla 5; donde se determinan un total de 10 trabajos (más destacados) que cumplen con las condiciones listadas anteriormente.

Tabla 5. Revisión general del estado del arte de la iniciativa.

PROYECTO DESARROLLADO	INSTITUCIÓN	AÑO DE PUBLICACIÓN	RESUMEN	IMPORTANCIA EN LA REVISIÓN DE INTERÉS PARA UNITEL
Synchronous Ultra-Wide Band Wireless Sensors Networks for oil and gas exploration [31]	Politécnico de Milán. Wireless System for Geophysics – Milan (Italia)	2009	El presente trabajo realiza una revisión sistemática de la aplicación de redes de sensores inalámbricos en los procesos de exploración petrolera. Indican que actualmente la metodología fundamentada en geófonos (sensores especializados) suele disponerse en un esquema que utiliza infraestructura cableada generando el uso de cientos de kilómetros de cable, retardos de señal, altos costos logísticos y baja calidad de la imagen. La propuesta se centra en utilizar comunicación inalámbrica utilizando mezclas de tecnología como Ultra Wide Band y protocolo 802.15.4 en esquema de Mesh.	El principal resultado del trabajo aplicable al presente proyecto es la integración de diferentes tecnologías para la medición de datos. En este caso se requiere de un ancho de banda considerable para las imágenes y por ende se utiliza UWB pero se muestra que 802.15.4 sería útil al monitorear variables de menor tasa de muestreo.
Requirements, Drivers and Analysis of Wireless Sensor	SINTEF ICT	2009	El paper proveniente de la investigación en el sector productivo soporta y evidencia la importancia de la exploración de tecnologías inalámbricas con estándares de eficiencia	La propuesta del paper permite conocer una visión No académica del

Network Solutions for the Oil & Gas Industry [32]	ABB Strategic Research for Oil & Gas Statoil R&D (Noruega)		energética para el sector Oil & Gas. El trabajo presenta puntos sensibles de interés para el sector, donde la tecnología debe permitir: mejorar desempeño HSE, incrementar producción, reducir gastos de operación (OPEX) y reducir bienes de capital (CAPEX). Las aplicaciones de mayor interés serían monitoreo, vigilancia, control de procesos, seguimiento de personal y administración de emergencia. Los autores definen como requerimientos técnicos mínimos: Larga duración de la batería, desempeño de red cuantificable, existencia con redes WLAN, Seguridad y facilidad de estandarización.	problema, ya que los autores son del sector Oil & Gas (I+D). Se encuentran aspectos básicos desde lo organizaciones que se deben considerar (relevancia), como la disminución de gastos de operaciones y bienes de capital, y el incremento de la producción. También se identifican requerimientos técnicos importantes en el diseño.
Wireless Sensor Data Acquisition Design for Engineering Applications [33]	University of Louisiana at Lafayette (USA)	2009	EL paper introduce el concepto de WSDA como una estrategia de adquisición de datos con sensores inalámbricos. Los autores presentan un marco de trabajo que permita integrar los sensores industriales utilizados en el sector de Oil & Gas. Este framework lo constituye el módulo de transmisión-recepción, el módulo de acondicionamiento de señal y el módulo de control y gestión. El paper destaca una topología circuital para el	La iniciativa, aunque con varios años en el ambiente académico, presenta relevancia con la integración de las redes de sensores en esquemas industriales reales; propendiendo por la

			diseño del sensor en las etapas descritas, así como la arquitectura del software de visualización y firmware de gestión de los prototipos. La propuesta se ha aplicado en dos casos de estudio, medidores de flujo (Flow Meter) y transmisores de presión diferencial (DPT).	adaptabilidad de sistemas de (4-20 mA) existentes en la industria con la transmisión inalámbrica. La aplicación aunque en pozo (no en tubería) tiene una alta correlación con lo propuesto en el proyecto y sirve como interesante referente.
Taxonomy of Wireless Sensor Network Cyber Security Attacks in the Oil and Gas Industries [16]	Curtin University of Technology (Australia)	2010	El paper resalta la importancia que las redes de sensores inalámbricas WSN en aplicación de hidrocarburos sean muy rigurosas con la normatividad del sector y con la seguridad de la información. La preocupación en el manejo de la información y el sector son variables críticas a ser consideradas. Se recomienda que la red utilice buenos niveles de enrutamiento para minimizar la posibilidad de ataques. Elementos como asociaciones accidentales, asociaciones maliciosas, ataques Man in the Middle, negación de servicio, interferencia de radio, ataques Bizantinos, entre otros son solo algunos de los problemas que dichas redes pueden tener.	Del trabajo presentado se encuentran para el proyecto dos grandes resultados: • La seguridad es una variable muy importante en el uso de la WSN, no solo para evitar manipulación de información sino para cumplir con

				normativa del sector. • Consecuencia de lo anterior, se encuentra que los WSN son muy aplicables al sector pero probablemente en aplicaciones No críticas; como estrategias redundantes de comunicación de información, monitoreo de variables secundarias, monitoreo ambiental, entre otros.
The role of wireless sensor networks (WSNS) in industrial oil and gas Condition monitoring [8]	Curtin University of Technology Statoil ASA (Australia-Noruega)	2010	El paper realiza un acercamiento a las ventajas del esquema de red en el monitoreo de variables a través de una tubería, pues su característica de línea recta permite facilitar los algoritmos y reducir consumo del mismo. Esta misma característica genera ventajas sobre los problemas asociados a seguridad.	Conceptos asociado a la capacidad de optimizar consumo y seguridad cuando los sensores se ubican en esquema de línea (otra literatura lo

			Cabe resaltar que el trabajo centra la investigación en el registro de vibraciones de la tubería; y se reitera que la gran ventaja de las tecnologías de este tipo (WSN) debe ser la facilidad de instalación y la sencillez del mantenimiento.	denomina LSN) es un gran aporte para el trabajo; ya que muestra como el mejoramiento y optimización de protocolos y algoritmos de enrutamiento facilitan los logros de los objetivos del sector.
Comparison of industrial WSN standards [34]	DEBII, Curtin University of Technology, Perth, (Australia) SINTEF ICT, Trondheim, (Norway)	2010	En este trabajo se presenta una comparación de los estándares actuales redes de sensores inalámbricos (WSN) que están disponibles para aplicaciones industriales. Zigbee , WirelessHART y el recientemente publicado ISA.I00 son considerados cuidadosamente . La comparación se describe cómo WirelessHART y dirección ISA.I00 algunas de las debilidades de ZigBee en el dominio de petróleo y gas	El trabajo aporta a la investigación desde una visión comparativa con otros protocolos industriales clásicos; determinando, en la fecha de publicación, debilidades del protocolo ZigBee en el contexto.
MISE-PIPE: Magnetic induction-based wireless sensor networks for	Broadband Wireless Networking Laboratory, School of Electrical and Computer	2011	En este trabajo, una nueva solución, la inducción magnética (MI) basado en redes de sensores inalámbricos para la monitorización de tuberías subterráneas (MISE-PIPE), se introduce a ofrecer a bajo costo y de detección	La orientación de esta iniciativa permite observar la integración de redes de sensores

underground pipeline monitoring [35]	Engineering, Georgia Institute of Technology, Atlanta, United States College of Computer and Information Sciences, King Saud University, Riyadh, Saudi Arabia Department of Computer Science and Engineering, University of Nebraska-Lincoln, Lincoln, NE 68588, United States		de fugas en tiempo real y la localización de tuberías subterráneas. La solución detecta y localiza la fuga utilizando conjuntamente las mediciones de diferentes tipos de sensores que se encuentran tanto en el interior y alrededor de las tuberías subterráneas. Mediante la adopción de una técnica de guía de ondas MI, las mediciones de diferentes tipos de sensores en toda la red de tuberías pueden ser reportados al centro de administración en tiempo real.	inalámbricas con estrategias de medición magnética en tuberías subterráneas. La propuesta se ha seguido consolidando en otras iniciativas.
SWATS: Wireless sensor networks for steamflood and waterflood pipeline monitoring [36]	Stanford University, United States Broadcom Corporation, United States USC, United States	2011	Las soluciones de monitoreo de fugas en tuberías pueden llegar a ser muy costosos. Para superar estos problemas, se diseña un sistema de red inalámbrica de sensores que detecta, identifica y localiza los principales anomalías tales como el bloqueo y las fugas que se presentan en la inyección de vapor y tuberías de inyección de agua en yacimientos petrolíferos. sistema basado sensor network-, El sistema de Seguimiento de inyección continua de vapor y de inyección de agua (SWATS), tiene como objetivo permitir la monitorización continua de los sistemas de	Una propuesta consecuente con la mostrada en P [35] que permite el monitoreo de fugas, sin embargo utilizando otras técnica. Esto muestra tendencias de investigación con redes de sensores.

			inyección de vapor y de inyección de agua con bajo coste, la duración corta, y la cobertura fina granularidad mientras que proporciona una alta precisión y fiabilidad	
Remote real-time Monitoring System for Oil and Gas Well Based on Wireless Sensor Networks [37]	China University of Petroleum (China)	2011	El paper presenta una solución (técnica) para un conjunto de nodos aplicado al sector de interés del proyecto. Las variables monitoreadas son temperatura y presión de pozo (no tubería). El diseño se centra en un mote de 4 niveles (sensor, conversor A/D, microprocesador y modem GSM/GPRS), todos soportados por una fuente de poder. El prototipo muestra una conexión al modem GPRS con los nodos de medición, así como con equipos móviles (celulares para seguimiento). El mismo es conectado a un servidor Web que permite visualizar resultados a través de la plataforma de internet.	El principal aporte de este trabajo es el esquema de monitoreo basado en telefonía celular y conexión a servidores Web para visualización de datos. La posibilidad de seguimiento de la solución a través de del teléfono móvil es una buena innovación. Aunque el resultado es mostrado para monitoreo de pozos, algunas conclusiones pueden ser llevadas al tema de monitoreo de línea.
Linear wireless sensor networks:	College of IT- UAE University	2011	El paper presenta una revisión del estado del arte de un área específica de las redes de sensores inalámbricas, denominada Linear	Documento de referencia para el proyecto al hablar de

Classification and applications [18]	University of Cincinnati (UAE y USA)		Sensor Network (LSN), la cual aparece en acción cuando se pretende realizar monitoreo de variables en una distribución de nodos en forma de línea. Este concepto permite diseñar protocolos especializados incrementando la eficiencia de la red, la tolerancia a fallos, el ahorro en el consumo de energía y la vida útil de la red. El trabajo también presenta pruebas de simulación en la transmisión de paquetes basado en el algoritmo propuesto el cual evidentemente toma ventaja de la linealidad de los mismos.	sensores dispuestos en línea. La propuesta es integrada a la solución determinando pasos metodológicos para la exploración de esta particular distribución de redes de sensores (LSN).
An Efficient Oil and Gas Pipeline Monitoring Systems based on Wireless Sensor Networks [9]	Yangtze University (China)	2012	Básicamente la iniciativa defiende el uso de los WSN como estrategias eficientes para el monitoreo en tuberías de Oil & Gas. El eje central del paper es el desarrollo de un algoritmo que permite monitorear presión, flujo, corrosión, contaminación ambiental, entre otros. Presenta el concepto de la información estática y dinámica en el proceso; generando como consecuencia que hay procesos que se pueden monitorear off-line y otros que se requiere de “tiempo real”. El diseño propone un sistema de tres niveles: sensores en las tuberías, estaciones intermedias y centros de control. La información se procesa con la transmisión de paquetes que cuenta con identificador,	El trabajo presentado aporta en las recomendaciones de construcción de las tramas de datos, en el esquema general de operación de tres niveles y sus diagramas de flujo. Otro elemento de interés y que se toma como referente para el proyecto son las estrategias de reducción de consumo de energía,

			posición geográfica, energía residual, tiempo de vida del paquete, tipo de paquete (urgente o no urgente) y el dato. Se propone una estrategia de reducción de consumo desbalanceada por los métodos de fusión jerárquica de datos y la estrategia de despliegue lineal.	a través de metodologías denominadas: Fusión de datos jerárquicos y estrategia de despliegue lineal.
Applications of Wireless Sensor Networks in the Oil, Gas and Resources Industries [14]	Curtin University of Technology Statoil ASA (Australia-Noruega)	2012	El paper realiza un levantamiento del estado del arte y aplicaciones más destacadas de las WSN en el sector hidrocarburos; destacando su aplicación en el proceso de producción de crudo (incremento de producción y seguridad). La hipótesis del artículo se sustenta en la existencia de situaciones, como es el caso del monitoreo en la producción donde el uso de cables lleva a ser un impedimento considerable. El autor presenta una estadística interesante en la cual un cuarto de las redes de sensores inalámbricas en 2009-2010 se encuentran asociadas al sector Oil & Gas. El paper recomienda la revisión de los estándares ZigBee Pro, Wireless HART e ISA100.11a; y de los mismos se debe considerar Capa física, capa de Acceso al Medio, capa de Red y capa de Aplicación. EL trabajo destaca la existencia de, principalmente, las siguientes aplicaciones: Monitoreo de integridad en tubería, monitoreo	Como aporte a los anteriores proyectos se encuentra una organización por capas (típica de una red) sin embargo con un claro aporte de las posibilidades y recomendaciones en cada una. Algo que también se destaca de este trabajo para el proyecto son las topologías descritas claramente en diferentes aplicaciones y las potencialidades que se tienen en el sector (sobre todo en generación de

			de niveles de tanques, monitoreo de condición de equipos (CBM), Monitoreo PRV, y monitoreo de cabecera de pozo (Wellhead). Como conclusión adicional el autor indica que un inapropiado diseño y despliegue de la red pueden afectar considerablemente el rendimiento y fiabilidad del mismo.	alarmas y control de actuadores).
Focal design issues affecting the deployment of wireless sensor networks for pipeline monitoring [38]	University of Hertfordshire. (Reino Unido)	2013	En este profundo trabajo los autores destacan la importancia de revisar al menos cinco consideraciones al momento de diseñar redes de sensores inalámbricas en el sector Oil & Gas. En este listado se encuentra: Modalidad de detección, la eficiencia y aprovechamiento de la energía, la fiabilidad de la red y localización de los dispositivos. Se lleva a cabo un profundo y detallado estado del arte de la tecnología permitiendo generar como resultado que la tecnología es muy aplicable al monitoreo de tuberías, principalmente por su fácil despliegue, el bajo costo y los atributos flexibles. Los autores presentan un listado de sensores y sus ventanas para la medición de variables como temperatura, composición química, radiación, flujo magnético, fuerza, sonido, entre otros. El trabajo también profundiza en estrategias de conservación de potencia como la selección del tipo de sensor, el estándar de comunicación, el protocolo de comunicación,	Este trabajo se considera uno de los principales referentes para el proyecto, básicamente por el nivel de detalle de la disertación y la clara presentación de sus resultados. Se extraen resultados para la selección de sensores para el piloto de la aplicación del proyecto entre esos los sensores de temperatura, los sensores químicos y los sensores multimodales; con

			la fusión de datos y el despliegue físico del mismo.	los cuales se pueden realizar seguimiento a variables de integridad en el proceso.
The GINSENG system for wireless monitoring and control: Design and deployment experiences [39]	Department of Computer Science, University College Cork, Ireland Lancaster University, United Kingdom Technische Universität Braunschweig, Germany	2013	En este artículo, se presenta el sistema de Ginseng que implementa el control de rendimiento que nos permita utilizar redes de sensores inalámbricos para aplicaciones de misión crítica en entornos industriales. El ginseng es una solución completa que comprende el sistema de software en el nodo del sistema, protocolos de red y sistemas de back-end con capacidad de procesamiento de datos sofisticada. GINSENG supone que una implementación puede ser planeada cuidadosamente. Un protocolo MAC basado en TDMA, adaptado al entorno de despliegue, se emplea para proporcionar una entrega de datos fiable y oportuna. componentes de depuración rendimiento se utilizan para controlar unintrusively el rendimiento del sistema e identificar problemas a medida que ocurren. Los informes del artículo en una implementación real de ginseng en un entorno especialmente difícil de una refinería de petróleo en funcionamiento en Sines, Portugal.	Propuesta integral que orienta la investigación del proyecto. El despliegue se hace en un entorno industrial donde se requiere el monitoreo de variables de una refinería de petróleo.
Dealing with outliers in wireless	Departamento de Engenharia	2014	La propuesta busca establecer estrategias para atender, detectar y procesar, los datos errados	La experiencia muestra un estudio

sensor networks: An oil refinery application [40]	Electrotécnica, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa Instituto Politécnico de Coimbra Centre for Informatics and Systems, Informatics Engineering Department, University of Coimbra		en la medición en redes de sensores inalámbricas. La medición se realiza en un entorno real implementado en una planta de refinación de petróleo. Los resultados de los experimentos in situ demuestran la viabilidad y pertinencia del enfoque propuesto	en el estado del arte con una temática que en la realidad de la medición es crítica, y es la confiabilidad de los datos.
Data collection in wireless underground sensor networks for oil and gas pipeline monitoring [41]	College of Computer Science, Yangtze University, Jingzhou, Hubei, China	2015	En este trabajo se analiza en primer lugar las características del canal inalámbrico y características de consumo de energía de los nodos sensores y luego introduce la arquitectura de tres capas para el control de oleoductos y gasoductos. En segundo lugar, las características de datos de tuberías de petróleo y gas del estado de la información y el algoritmo de recolección de datos de los nodos de sensores en diferentes capas de la estructura de tres capas de WUSNs se estudian. En tercer lugar , se proponen análisis	

			de simulación y discusión de los problemas relacionados con el algoritmo de recolección de datos , el resultado del análisis muestra que el algoritmo propuesto puede reducir efectivamente la cantidad y la frecuencia de transmisión de datos y mejorar el rendimiento energético	
A survey on probabilistic broadcast schemes for wireless ad hoc networks [42]	University of Seville, España Liverpool John Moores University, Liverpool, United Kingdom	2015	La presente propuesta revisa diferentes esquemas de transmisión probabilísticos, demostrando que los esquemas más idóneos para redes inalámbricas de sensores son las ad-hoc; pues cuenta con baja sobrecarga, consumo de energía equilibrado, robustez frente a errores y la movilidad de linfáticos.	El proyecto decanta la investigación hacia el análisis de sistemas con menor consumo energético y disminución de la posibilidad de errores.

Del ejercicio realizado es posibles generar las siguientes conclusiones iniciales:

- Las Redes de sensores inalámbricas se presentan como una interesante alternativa para el monitoreo de variables de proceso y secundaria en la industria de Oil & Gas; sin embargo existen aún grandes retos como el cumplimiento de normatividad del sector, la protección de la información (seguridad informática), la confiabilidad de los datos, entre otros aspectos.
- La transmisión de datos considerando la red en una topología de varias capas funcionales es muy común en la revisión. Generalmente se encuentra con esquemas que cuentan con tres niveles: Nodos básicos, nodos de concentración y nodos finales de transmisión (centralización de datos). Estos esquemas suponen una jerarquía de la red y unas características hardware (firmware) diferentes en cada nivel.
- Se presentan en los papers más recientes una tendencia a utilizar las ventajas de la disposición de los nodos en el esquema de línea versus el esquema de malla (Mesh), ya que con estas se han logrado reducciones significativas del consumo de potencia en cada nodo, disminución de la complejidad de los algoritmos de enrutamiento y el mejoramiento de características de seguridad de la información. Es posible implementar estrategias de reducción de consumo de energía basado en la jerarquización del esquema de red y en el despliegue secuencial (lineal) de los nodos en su operación. Estas y otras estrategias son consideradas y motivo de estudio del proyecto.
- Se encuentra como un valor interesante de las iniciativas el poder contar con la información dispuesta en los servidores web (nube) que permita ser visualizada

por las personas autorizadas en las organizaciones. Este punto requiere del rigor de los procesos de encriptación de los datos.

- Existen varias tecnologías inalámbricas que se vienen utilizando en el sector Oil & Gas y que vale la pena revisar desde la ejecución del proyecto (y futuros proyectos); tal es el caso de Ultra Wide Band (UWB), Wireless Hart, entre otros casos.

5.2 Ejemplos de aplicaciones industriales de las redes de sensores inalámbricos en el sector hidrocarburos.

En la presente sección se relaciona un conjunto de aplicaciones industriales detectadas en la revisión realizada; complementado a las ya relacionadas en la revisión del estado del arte. Para este análisis se amplía el espectro de análisis no solo a bases de datos indexadas sino a información publicada, principalmente por las empresas, de las aplicaciones que se tiene en el área. Esta información es mostrada con detalle en la Tabla 6.

Tabla 6. Ejemplos de aplicaciones industriales de la tecnología WSN en Oil& Gas

Nombre del proyecto/aplicación	Autores (empresa)	Resumen
Sistema integrado de monitoreo y control de variables en refinerías[43]	Crossbow	Se ha desarrollado, en alianza entre varias empresas, un sistema de monitoreo integral; que cuenta con mejoramiento en sensores, hardware de comunicación y software para visualización, análisis y actuación. El proceso de I-D+i dio inicio en 2010 y

		cuenta con una inversión superior a los 50 millones de dólares.
Sistema de acceso y administración de datos en campo-Honeywell OneWireless [44]	Honeywell	La reconocida empresa de tecnología Honeywell ha desarrollado una solución industrial; basada en el protocolo de comunicación propietario (Onewireless) que cumple con el estándar IEC 62743; el cual permite el monitoreo y acceso a dispositivos dispuestos en una red propietaria; destacando sensores de temperatura, nivel, flujo, corrosión, entre otros.
Integración WSN-Wifi en aplicaciones de registro de nivel de tanques en refinerías de medio oriente[45]	ABB	La empresa ABB ha desarrollado herramientas hardware de propósito específico para el sector Oil & Gas; permitiendo monitorear diferentes variables de proceso. La destacada en esta revisión es la integración de módulos de bajo consumo que integran tecnología Wi-Fi con tecnología 802.15.4. Esta aplicación se presenta como ejemplo en Qatar y EAU.
Sensores para auto-posicionamiento y actuación en interiores[46]	Siemens	Se ha desarrollado una propuesta, con más de 25 nodos de medición, que permite realizar aplicaciones de realidad aumentada y/o posicionamiento de sistemas robotizados al interiores de plantas de refinación de hidrocarburos u otras instalaciones industriales
Monitoreo de variables de procesos en ambientes de altas temperaturas.[47]	Emerson Electric Ltda	En esta aplicación industrial se implementan sistemas de monitoreo en ambientes con más de 1500 °C; requiriendo que las herramientas de monitoreo cuenten con aceros de muy alta calidad que soporten esos niveles.

5.3 Vigilancia tecnológica- información complementaria

La primera parte del proceso de vigilancia tecnológica se fundamentó en la definición de las herramientas a utilizar y las palabras claves para la revisión. Se han elegido dos análisis, el primero orientado a la redes de sensores inalámbricas (WSN) orientadas al sector hidrocarburos (Oil & Gas) y en segunda instancia las propuestas que se vienen consolidando en el área de WSN pero asociados a baja consumo de energía. La elección de este último análisis se decidió al realizar una pesquisa inicial

Tabla 7. Datos generales de la Vigilancia Tecnológica.

Entidad Interesada	Grupo de Investigación UNITEL- Universidad Santo Tomás
Objetivo general	Presentar los indicadores bibliométricos de actividad científica e inventiva sobre el área de Redes de Sensores Inalámbricas (WSN) en sector Oil & Gas.
Tema	Redes de Sensores Inalámbricas
Palabras claves iniciales	Primer análisis: Wireless, Sensor, Network, Oil Segundo análisis: Wireless, Sensor, Network, energy & efficient
Período de consulta	2005-2015
Herramienta de consulta	Bases de datos: Scopus.
Dirigido a	Línea de investigación en Comunicaciones Aplicadas del grupo UNITEL

5.3.1 Primer análisis de Vigilancia tecnológica- WSN en hidrocarburos

En este primer caso, las palabras claves para la búsqueda fueron: *Wireless, Sensor, Network, Oil & Gas*. La ecuación de búsqueda desarrollada en este caso es [48]:

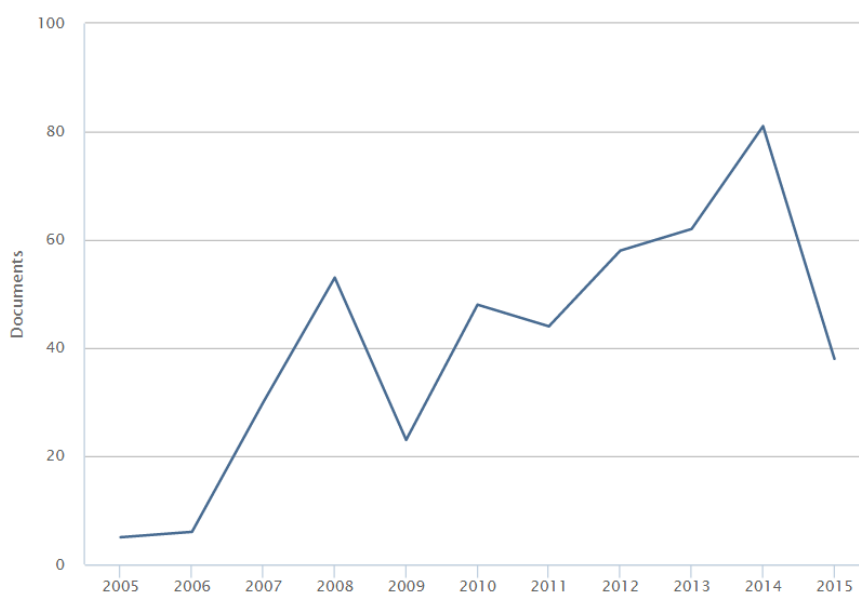
TITLE-ABS-KEY(wireless sensor network oil) AND PUBYEAR > 2004 AND PUBYEAR < 2016 AND (LIMIT-TO(DOCTYPE,"cp") OR LIMIT-TO(DOCTYPE,"ar") OR LIMIT-TO(DOCTYPE,"cr"))

Se logró contar con **448** resultados en esta búsqueda. En la Figura 16 se muestra el número de documentos publicados por año, destacándose una dinámica de publicación prácticamente inexistente en los años anteriores a 2005, con un incremento que tuvo su mayor pico en 2014.

Al analizar el *corpus* de conocimiento no se encuentra una gran cantidad de trabajos en el área que relacionen WSN con hidrocarburos, sin embargo si se observa que en los últimos cinco años se venía incrementando la dinámica de publicación, aunque se ha detenido un poco en 2015.

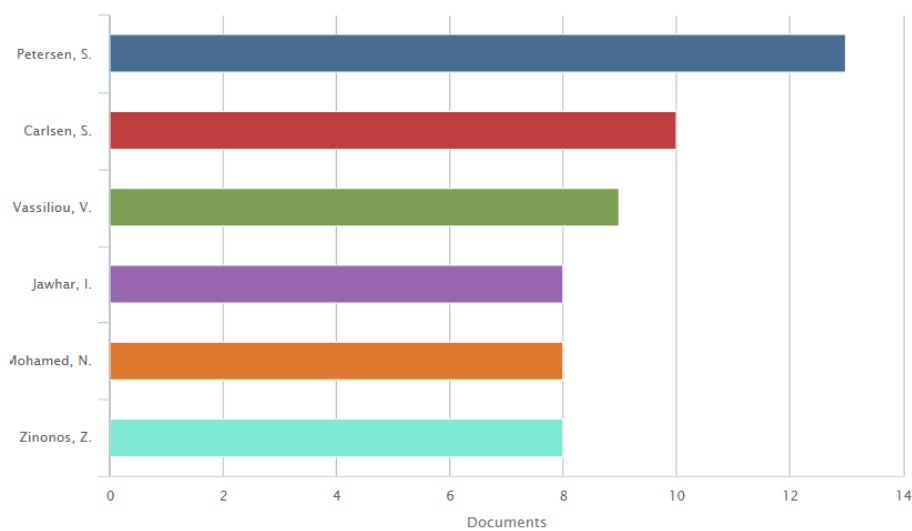
Por otra parte, en la Figura 17 se relacionan los principales autores, observando que hay una amplia dispersión en esta clasificación. Se destaca el aporte de S. Petersen, S. Carlsen y V. Vassiliou, quienes cuentan con 32 publicaciones en total en la ventana de observación.

Figura 16. Número de documentos publicados en el tema por año



Fuente: [48]

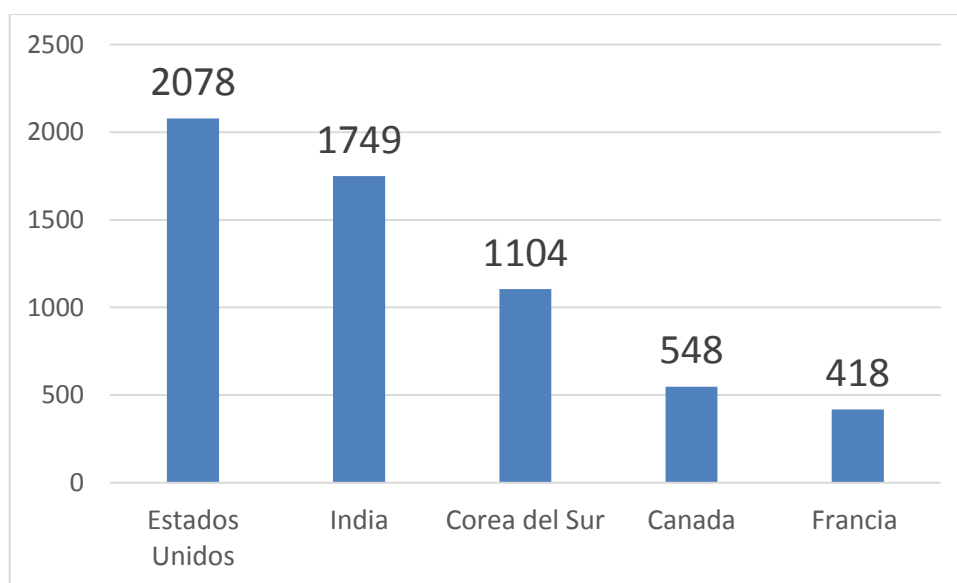
Figura 17. Principales autores.



Fuente: [48]

En cuanto a los países de mayor dinámica de publicación se encuentran Estados Unidos y China como líderes, con 85 y 82 publicaciones respectivamente; mientras que Canadá, Arabia Saudita y Gran Bretaña se encuentran posteriormente. El detalle se observa en la Figura 18

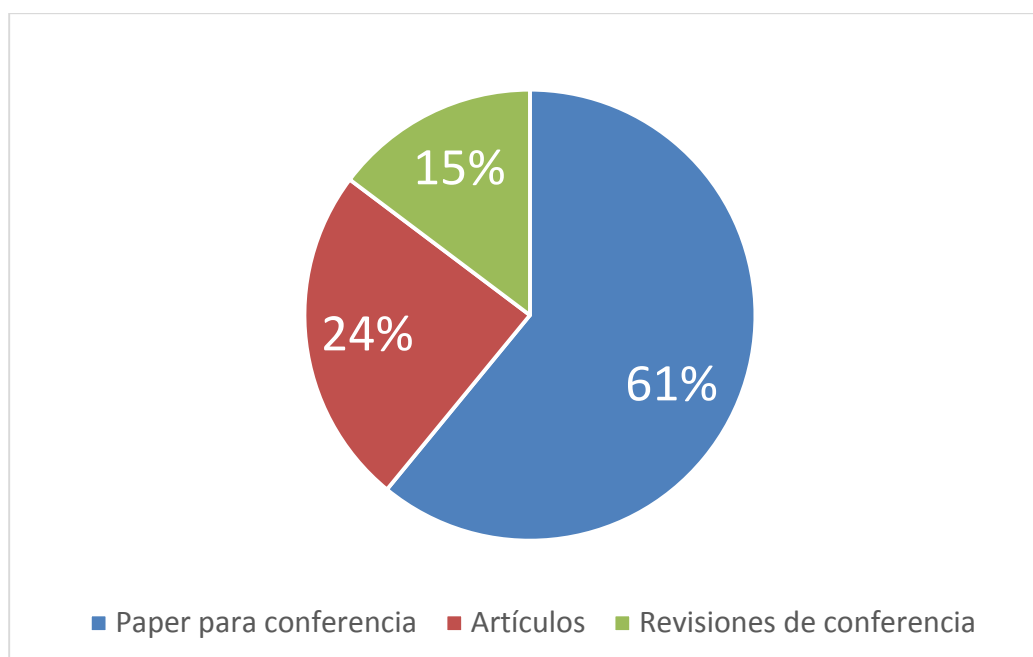
Figura 18. Principales países que han publicado en este corpus de conocimiento.



Fuente: Autor

Por otra parte, en cuanto a la tipología de las publicaciones se encuentra un 61% de publicaciones asociadas a contribuciones de conferencias, y el restante 39% ubicado en artículos científicos y revisiones de conferencias. El detalle de esta información es mostrado en la Figura 19.

Figura 19. Tipología de las publicaciones



Fuente: Autor

En términos generales se presentan los siguientes puntos como resultados del ejercicio:

- En la revisión de documentos del uso de WSN en hidrocarburos (principalmente petróleo-Oil) se determinan cerca de 400 contribuciones registradas en Scopus en los últimos 10 años; resaltan una línea incremental hasta 2014, la cual se ve disminuida en 2015. Aunque no se dispone en la revisión el aporte que va a la fecha de la entrega del proyecto, en 2016, de dicha comparativa es de 20 trabajos; lo cual muestra tendencia similar a la de 2015.
- Dos de las instituciones con mayor dinámica de publicación es la Universidad de Coimbra en Portugal y la Universidad de los Emiratos Árabes Unidos en EAU; sin embargo a nivel de países los líderes principales son Estados Unidos y China.

- En cuanto a autores no se encuentra, como sucede en otras revisiones, un autor que se destaque por un gran número de publicaciones; sino que se encuentra altamente distribuido entre varios investigadores.

Finalmente, la revisión del estado del arte y del ejercicio bibliométrico muestra una gran cantidad de trabajos en torno al uso eficiente de energía en WSN. En ese sentido se decide realizar un segundo análisis que permita generar lineamientos más claros para las investigaciones del grupo UNITEL.

5.3.2 Segundo análisis de Vigilancia tecnológica- WSN eficiencia de energía

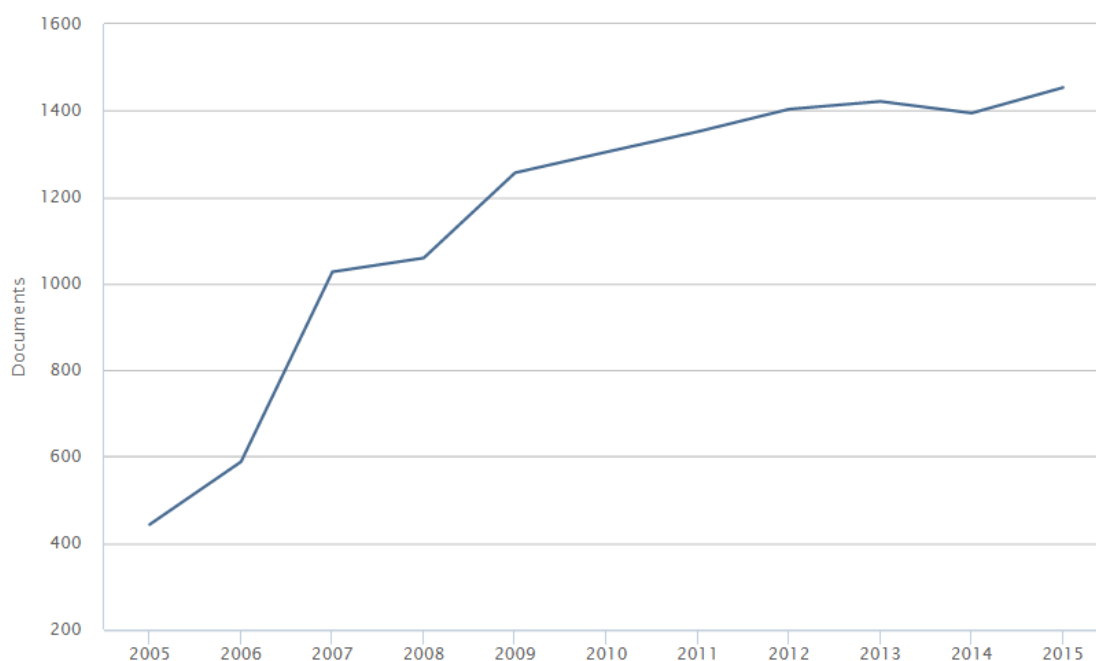
En este segundo análisis se revisa la siguiente ecuación de búsqueda:

TITLE-ABS-KEY(wireless sensor network energy efficient) AND PUBYEAR > 2004 AND PUBYEAR < 2016 AND (LIMIT-TO(DOCTYPE,"cp") OR LIMIT-TO(DOCTYPE,"ar") OR LIMIT-TO(DOCTYPE,"cr") OR LIMIT-TO(DOCTYPE,"ch"))

De dicho análisis se obtiene un *cuerpo de conocimiento* conformado por cerca de **12699** trabajos, centrados en artículos de investigación, procedimiento de conferencias y libros (cerca de 80); lo cual se destaca versus lo tratado en la anterior revisión.

En la Figura 20 se encuentran resultados muy interesantes, ya que se muestra una tendencia incremental (o al menos estable) en los últimos 3 años; generando una revisión en 2015 de cerca de 1453 publicaciones.

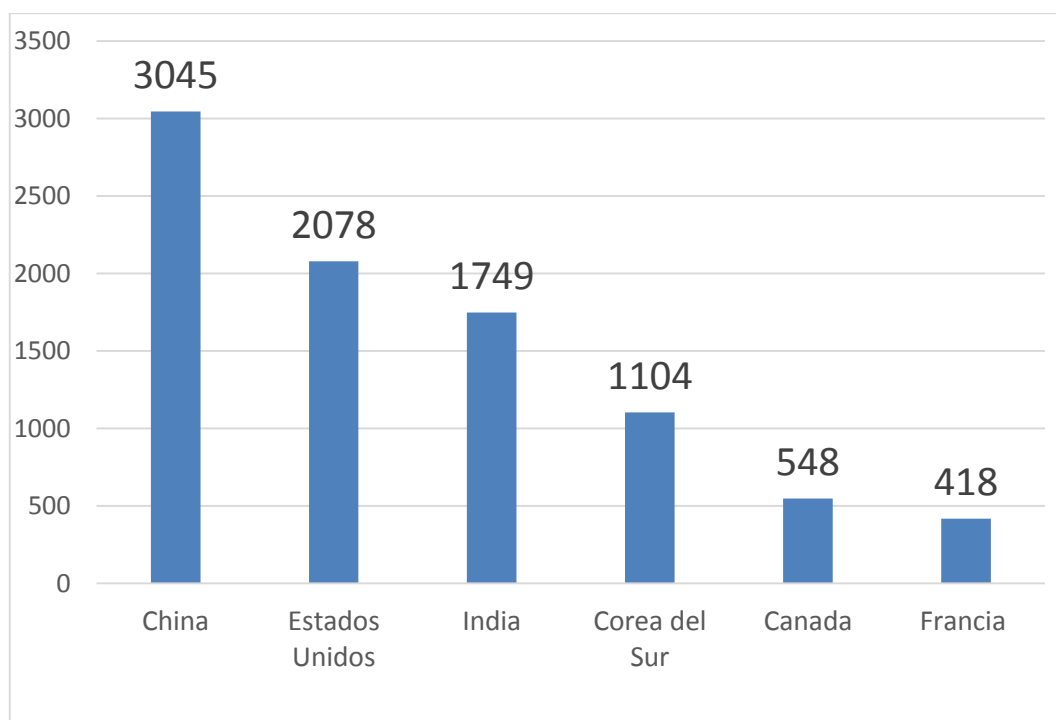
Figura 20. Número de documentos publicados por año.



Fuente: [48]

En cuanto a los autores de mayor publicación, se cuenta con N. Javaid (67 publicaciones), S.H. Kim (47), S.K. Das (41) y S. Lee (38); entre otros. Se cuenta entonces con autores con aportes significativos al estado del arte de la temática. Asociado a estos resultados, se encuentran como países líderes de publicación China, Estados Unidos, India y Corea del Sur. El detalle de este listado es mostrado en la Figura 21. Las instituciones educativas

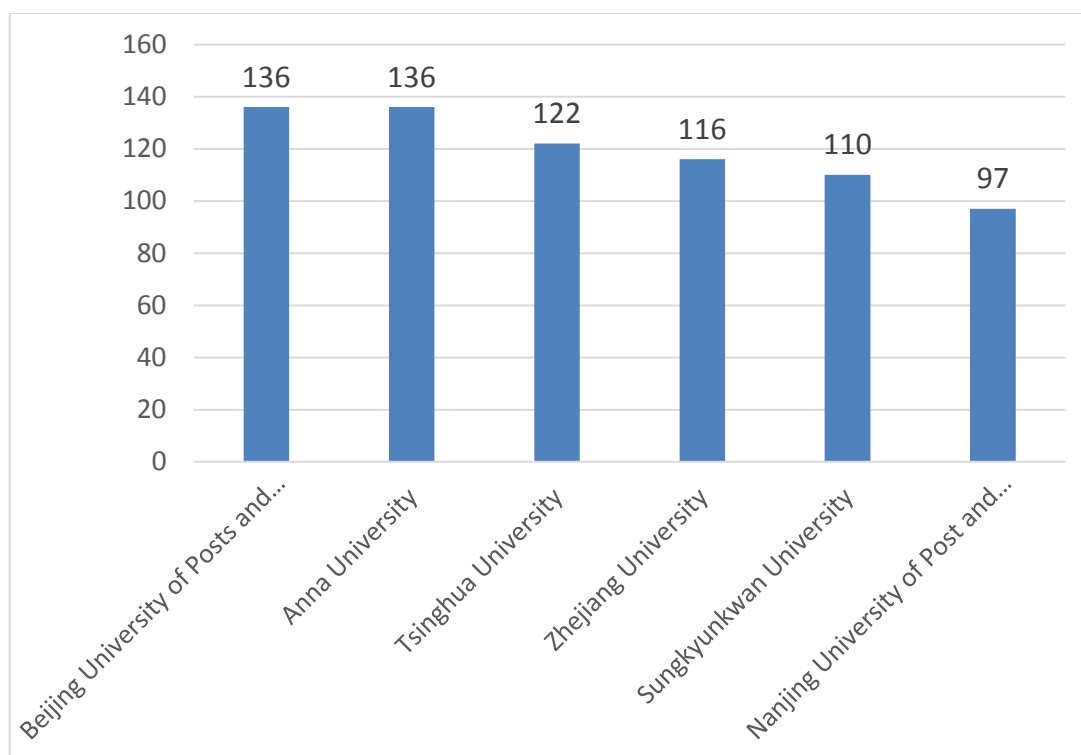
Figura 21. Publicaciones en la temática por país.



Fuente: [48]

En la Figura 22 se presenta, las universidades con mayor dinámica de publicación. Se destacan *Beijing University of Posts and Telecommunication (China)* y *Anna University (India)*. Se resalta que de las 6 principales instituciones relacionadas, 5 son chinas; lo que ratifica lo presentado anteriormente.

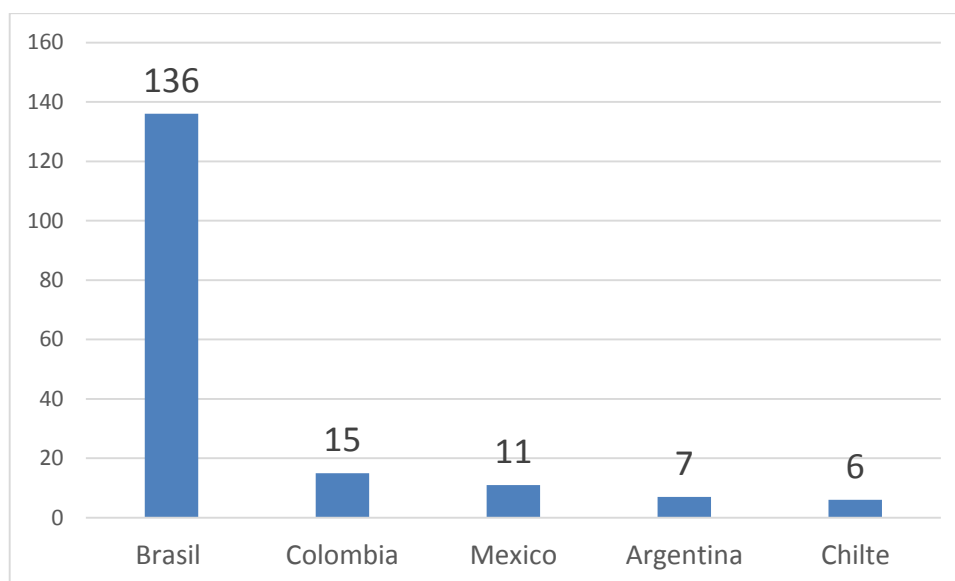
Figura 22. Universidad con mayor relevancia en publicaciones en la temática.



Fuente: Autor

Complementario a lo anterior, se revisa el caso de las publicaciones Latinoamericanas, encontrando a Colombia en el segundo lugar, muy alejado del líder regional (Brasil) y con un aporte prácticamente insignificante en el estado del arte mundial. Específicamente Brasil cuenta con 136 publicaciones y Colombia con 15. Esto se detalla en la Figura 23. Número de publicaciones en países Latinoamericanos.

Figura 23. Número de publicaciones en países Latinoamericanos.



De estos resultados, se destaca la participación de las siguientes instituciones en el país; que puedan ser referentes o aliados en las investigaciones futuras de UNITEL:

- Universidad Nacional de Colombia.
- Universidad de los Andes.
- Universidad Nacional de Colombia- Sede Medellín.
- Universidad del Norte.
- Universidad de San Buenaventura.

Finalmente, la tendencia de investigación se sintetizan en que existe un gran espectro para explorar, en el área de WSN, con la orientación de revisar cómo reducir el consumo de energía de los módulos; a través de la integración de mejoramiento hardware, software y de topología de red. Seguir los trabajos publicados en las Universidad líderes a nivel mundial puede ser una gran estrategia para ser considerara por los responsables del grupo UNITEL.

5.4 Relación de principales patentes en la temática

En esta sección se realiza la revisión de las patentes presentadas, en los últimos 5 años, que cumplan con el criterio de búsqueda original: *Wireless Sensor Network Oil*. Para efectos del presente proyecto se relacionan los 5 principales resultados, que se han seleccionado por su coherencia con las investigaciones de interés del grupo UNITEL. Esto es mostrado en la Tabla 8.

Tabla 8. Síntesis de las 5 principales patentes en la temática de interés.

Nombre	Síntesis	Inventor/código
Real-Time Monitoring Control System For Oil-Well Drilling	Patente asociada a un sistema de monitoreo en tiempo real para taladros en pozos de petróleo. Específicamente se ha patentado la red de sensores y la estrategia de comunicación.	HAN, Wenfeng WO/2016/090566
Portable wireless sensing device of oil rig floor winch revolution	Modelo de utilidad que presenta un dispositivo de medición portable para el registro de floor winch en plataformas petroleras; con una estrategia más eficiente.	CNPC BOHAI DRILLING ENGINEERING COMPANY LIMITED 204737667
Lubricating oil quality monitoring system	Es un modelo de utilidad que presenta un dispositivo digital, basado en sistemas microcontrolados, para la detección de lubricaciones en unidades de rotación. El sensado es realizado de forma remota.	Qingyang Technology Co., Ltd. G08C 17/02
Remote intelligent energy consumption and discharge monitoring system	Es un modelo de utilidad basado en un dispositivo montado en vehículo que utiliza GPS, inductores ultrasónicos y sensor de oxígeno, que permite monitorear el consumo de energía en estaciones de producción de petróleo.	CHONGQING QIANJUN ENERGY SAVING SCIENCE & TECHNOLOGY CO., LTD. G05B 19/042

Grease storage remote supervision system and method based on wireless sensor network	Es una patente que provee una estrategia para la medición de almacenamiento de grasa en procesos de producción de hidrocarburos, específicamente en tanques. El sistema realiza transmisión a distancia y visualización de resultados en un servidor WEB	China Electronics Technology Group Corporation No.38 Research Institute H04L 29/08
--	--	---

Fuente: [49]

De este análisis se encuentra una tendencia en el desarrollo de dispositivos hardware para el monitoreo específico de variables de interés; la mayoría contando con la capacidad de transmisión remota de la información. Se observa al revisar las patentes analizadas que las mismas realizan integración de componentes de otros fabricantes (módulos digitales, sistemas microprocesados, etc.). También se observa, a nivel de países, una gran cantidad de patentes de China; que se relaciona claramente con lo presentado en la sección anterior.

5.5 Tendencias tecnológicas

En la publicación de Shripad & Devale [50] se presenta un conjunto de tendencias en tecnología que pueden apoyar el desarrollo de este proyecto. La clasificación del mismos se presenta a continuación:

- **Procesador:** La principal tendencia en el estado del arte es el uso de microcontroladores de bajo consumo, con un acercamiento reciente del uso de las FPGA de ultra low-power. Los elementos más utilizados son ATMEL (Atmega128), Microchip (PIC16f877), Analog Devices (ADuC845), entre otros. En cuanto FPGA se resaltan las investigaciones con productos Xilinx Spartan y Altera DE0.
- **Sensores:** La tecnología de sensores ahora está dominado por MEMS (Micro- Electro -Mechanical -System) . MEMS es un elemento fabricado con tecnología de

microfabricación para incluir elementos mecánicos y electromecánicos miniaturizados. Los sensores utilizados en entornos industriales se clasifican principalmente en 5 categorías: detección de parámetros de proceso (sensor de temperatura , sensor de presión , sensor de flujo) , (detector de fugas , detector de humo) relacionados con la seguridad , del medio ambiente (sensor de luminosidad , sensor de humedad , sensor de gas específico - O₂ , CO , N , etc.) , la proximidad o el movimiento relacionado (movimiento sensor, sensor de vibración , sensor de aceleración) y el sensor de In-máquina (sensor estrés, pH sensor etc).

- Técnicas de bajo consumo de energía: Un nodo WSN se supone que funciona durante largo tiempo sin necesidad de cambio de batería, pero como el número y los dispositivos de redes se incrementar, la sustitución de baterías agotadas no será práctico . El uso de una batería grande suficiente para sobrevivir toda la vida útil del dispositivo sensor inalámbrico aumentaría el costo y el tamaño general. A pesar de que el rendimiento de la tecnología de baterías está mejorando y el requisito de potencia de la electrónica está reduciendo, estos son incapaces de seguir el ritmo de la creciente demanda de muchas aplicaciones WSN . Hay una necesidad de encontrar formas innovadoras para distribuir cualquiera poder de los nodos o para permitir que un nodo para generar o " barrido " de su propia energía. La idea es extraer energía eléctrica de fuentes ambientales existentes como puede ser la solar, el grandiente de temperatura, la fuerza del aire, las vibraciones, entre otros.
- Comunicaciones: Los estándares más utilizados para estas aplicaciones son el IEEE 802.15.4, las redes WLAN basadas en 802.11 y el uso de nuevas frecuencias como la descrita en torno a 83.5 MHz. Se incluye también los conceptos de redes móviles para facilitar la conexión y la dinámica de la red.

En cuanto a los enfoques de investigación se encuentra:

- Integración de los WSN en Servicios Web de tipo empresarial.
- Seguridad y autenticación en WSN. El acceso no autorizado a las redes debe ser limitado y estudiado profundamente.
- Desarrollar sistemas de programación basado en modelos para los WSN, principalmente para expandir las posibilidades de incorporación de desarrolladores con menor experiencia en hardware pero de amplias competencias en el uso de capas de aplicación.[50]

5.6 Breve panorama sectorial- actores y sectores en la innovación

En esta sección se traen a colación algunos referentes específicos del panorama del sector y sus aplicaciones, relacionados con el impacto en la innovación y en el desarrollo económico. En este sentido se resaltar el análisis realizado por la organización Bussiness Wire, a través de la investigación denominada *Research and Markets: Industrial Wireless Sensor Network Sensor & Technology Market Trends & Forecasts to 2013-2020 for the Oil & Gas, Energy & Power, Automotive, & Food & Beverage Industries*; la cual de manera sistemática verifica el impacto económico de la tecnología determinando cifras de alta relevancia tales como que en 2013 el negocio de las redes de sensores fue cercano a 400 millones de dólares y se proyecta que para 2020 supere los 950 millones de dólares [51].

En este mismo informe se tiene claro que la tendencia de consolidación de los WSN en el próximo lustro se determinará por tres grandes sectores: Automatización de procesos, industria de comidas y alimentos; y sector Oil& Gas. Entre los principales actores que esta organización relaciona se encuentran las empresas de talla internacional: ABB Ltda, Atmel Co., Honeywell

International Inc, Siemens AG, entre otros; permitiendo con esto orientar la revisión que en el proyecto se pueda realizar sobre el ecosistema de innovación y los actores involucrados.

El listado de empresas que se relaciona en este informe, como los principales actores en el tema de redes de sensores, son:

- ABB Ltd
- Atmel Corporation
- Emerson Electric Co.
- Endress+Hauser AG
- Freescale Semiconductor Inc.
- General Electric Company
- Honeywell International Inc.
- Siemens AG.
- Stmicroelectronics
- Yokogawa Electric Corporation.

De esta investigación es posible obtener también que en el marco de la innovación el mercado, para esta temática específica, se segmenta como sensores, tecnología, aplicaciones y geografía. Basados en los sensores se destacan principalmente temperatura, presión, nivel, flujo y humedad. En el caso de las aplicaciones, como ya fue mencionado, alimentos, automatización, Oil & Gas; adicionando minería, sector químico y sector médico.

En el caso colombiano, organizaciones que definen también las investigaciones en el área y que pueden convertirse en interesante aliados estratégicos del grupo UNITEL en su quehacer son

los Centros de Desarrollo Tecnológico. Particularmente la Corporación para la Investigación de la Corrosión y el CDT del Gas; cuentan con experiencia y productos de innovación en el área. Particularmente el CDT del gas cuenta con patentes y desarrollo de software en el sector, principalmente en aquellas asociadas a la metrología y manejo de variables de interés[52].

Finalmente, entre conjunto de actores en nuestro país que deben ser considerados para el desarrollo de investigaciones en el campo del WSN son las empresas del sector hidrocarburos. Como se resalta en [53], las principales organizaciones en el sector son Ecopetrol, Pacific, Occidental de Colombia, Mansarovar Enegy y Equion Energía. Aunque el sector no se encuentra en su mejor momento, el monitoreo y seguimiento de variables de proceso sigue estando entre las prioridades de las empresas de este campo.

6 Recomendaciones y lineamientos para el grupo UNITEL

Luego del desarrollo de la propuesta y la revisión sistemática presentada en los anteriores capítulos, la autora del trabajo se permite recomendar el grupo de investigación UNITEL los aspectos mostrados en la siguiente sección.

6.1 Recomendaciones producto de la investigación

- La temática de investigación de las redes de sensores inalámbricas en el sector de Oil & Gas ha tenido una dinámica que, aunque interesante en sus aportes, no es la más destacada para dicha industria. La existencia de protocolos industriales ampliamente difundidos y con décadas de consolidación ha dificultado el ingreso de los WSN con mayor intensidad. En ese sentido se recomienda que el desarrollo de la temática se realice ojalá en cooperación con la industria, ya que muchas de las experiencias analizadas en el estado del arte así lo desarrollaron.
- El espectro de investigación se vuelve más amplio si se deciden abordar dos temáticas específicas de las redes de sensores: *Eficiencia energética* y la *seguridad-criptación de datos*. En la primera de estas las tendencias en el estado del arte muestran tres líneas de trabajo: (1) Mejoramiento en el uso de circuitos integrados de más bajo consumo de energía, (2) Desarrollo de fuentes alternativas de energía que permitan fortalecer el aporte de las baterías incrustadas en los módulos hardware y (3) Desarrollo de nuevos y mejores algoritmos de comunicación entre módulos, que permitan disminuir el uso de los módulos reduciendo por consecuencia el consumo de energía.
- A nivel Colombia, es interesante revisar las posibles alianzas estratégicas que se puedan dar, no solo con el sector productivo sino con las Universidades que vienen desarrollando sobre la temática. Se encuentra que la Universidad Nacional de Colombia,

la Universidad Nacional de Colombia-Sede Medellín, la Universidad de los Andes, la Universidad del Valle y la Universidad del Norte, entre otras; cuentan con una dinámica de trabajo en el tema. A nivel Latinoamérica es Brasil el líder en el área y también se deberían establecer esfuerzos en la creación o participación en redes.

- En el panorama colombiano se detectan también actores importantes como son los Centros de Desarrollo Tecnológico y las empresas del sector hidrocarburos. En los primeros la Corporación de Investigación para la Corrosión y el Centro de Desarrollo Tecnológico del Gas; los cuales cuentan con dinámicas de investigación e innovación en el área que serían de gran ayuda en las orientaciones de investigación de UNITEL.
- Es posible potenciar las experiencias que sobre redes de sensores inalámbricos se tienen en UNITEL, incluyendo en el desarrollo de las mismas a los estudiantes de Maestría. En este sentido, aprovechar las competencias que los mismos cuentan, tanto en telemática como en desarrollo de hardware; pueden ser fundamentales en la consolidación de prototipos y estrategias de comunicación competitivas.
- Profundizar en actividades que permitan realizar ejercicios de vigilancia tecnológica en las líneas del grupo de investigación; específicamente en los aspectos de vigilancia competitiva y de proveedores. Aunque estos elementos no hacen parte del alcance del presente proyecto, si se invita a profundizar en el texto mostrado en [51] o similares, donde la revisión tiene una orientación menos científica y más comercial-innovación.

6.2 Lineamientos (procedimiento) para el desarrollo de estado del arte y vigilancia tecnológica.

Los aspectos anteriores se complementan a través de la siguiente descripción, paso a paso, de los lineamientos que se deben seguir para la identificación del estado del arte de una temática específica, en el caso particular del grupo de investigación UNITEL.

1. **Definición de la temática de interés:** Es importante que los temas de investigación surjan de la discusión con varios actores, saliendo de la discusión meramente grupal. En este punto es necesario realizar acercamiento a la industria, no necesariamente asociada el tema de comunicaciones; para determinar requerimientos propios del sector. Al realizar acercamiento a fuentes primarias y secundarias se encuentra que espacios de interrelación Universidad-Empresa- Estado; como es el caso del Comité Universidad Empresa Estado (CUESS), espacios regionales de investigación promovidos por la red de Universidad UNIRED, encuentros con empresarios, entre otros; son espacios de interés para este tipo de discusiones.
2. **Identificación de fuentes de referencia:** En el contexto de la Universidad Santo Tomás, se encuentra con un portafolio de bases de datos bastante amplio: la cual se puede acceder a través del portal Web institucional siguiendo estos pasos:
 - a. Ingresar al link: <http://www.ustabuca.edu.co/>.
 - b. Acceder al hipervínculo de la **Biblioteca**.
 - c. En el Portafolio de Servicios elegir la opción **Bases de Datos**.
 - d. Elegir la base de datos de preferencia. El panorama aunque amplio puede ser acotado, para los temas de investigación en el área de interés del grupo UNITEL, a las bases: Scopus, Science Direct e IEEE.

- e. Ingresar código de usuario y password. Esta información existe para cada miembro de la comunidad universitaria. En esta sección se encuentra el acceso para crear el usuario si aún no se cuenta.

En esta fase es importante verificar la posibilidad de asesoría del equipo de Bibliometría de la Universidad Santo Tomás, adscrito al Departamento de Biblioteca. A la fecha del desarrollo de este proyecto el correo de contacto del responsable es: vigilanciatecnologicabibliotec@mail.ustabuca.edu.co.

3. **Desarrollo de la fase heurística:** Con la discusión inicial que se pueda dar con interesados y expertos, es necesario que el investigador determine los aspectos básicos de la revisión, centrándose en tres grandes puntos:
 - a. Palabras claves de búsqueda.
 - b. Ventana de observación (fechas de revisión).
 - c. Exclusiones y consideraciones generales (Ej: Artículos completos, publicaciones con vinculación empresarial, entre otros).

Debido a que existen limitaciones en la cantidad de publicaciones a descargar, se recomienda realizar un análisis de los resúmenes (abstract) de las investigaciones; eligiendo las que tengan mayor pertinencia con la temática. Se encuentra que la organización de los resultados por *mayores citaciones* es una buena estrategia de inicio para conocer aquellas publicaciones de mayor impacto en la comunidad académica.

4. **Desarrollo de la fase hermenéutica:** En esta etapa de proceso se requiere de profundo análisis de las referencias encontradas. En ese sentido se tienen dos grandes estrategias para ejecutar, las cuales se listan a continuación:
 - a. Generar una tabla de análisis de estado del arte, donde se pueda compilar la información de manera organizada y sistemática. Algunos de los campos

recomendados en la literatura son: Nombre del proyecto, autores, institución, año, número de citaciones, resumen e impacto para la temática de revisión. La tabla aunque se construye de forma horizontal debe ser leída y analizada, sobre todo en sus aportes, de manera vertical; esto para poder generar tendencias de investigación.

- b. Aprovechar los recursos suministrados por las bases de datos como las gráficas (tablas) que permiten visualizar número de publicaciones por año, autores más destacados, instituciones con mayor dinámica de publicación, relación de autores/instituciones, entre otros.

5. **Socialización con interesados y discusión de resultados:** El proceso de revisión de estado del arte requiere realimentación para poder concretar proyectos de interés, por eso es fundamental preparar estrategias de socialización en lenguaje simple (más que técnico) que permita acotar el alcance de los mismos; así como instrumentos de recolección para realimentación.
6. **Revisión con pares interesados:** Se considera que no solo los clientes/usuarios del proyecto son actores claves de la iniciativa, por ende hay que generar espacios de discusión con pares investigadores nacionales e internacionales. Aprovechar espacios de redes de conocimiento es fundamental para consolidar este ejercicio. En la revisión realizada se encuentra que redes de investigación asociadas a RENATA, como las de Internet of the Things (IoT), Big Data, E-salud y Laboratorios Virtuales; son un buen comienzo para el acercamiento con aliados potenciales. Los congresos/seminarios son también escenarios que deben ser considerados y aprovechados.

7 Conclusiones y recomendaciones

7.1 Conclusiones

La autora del presente proyecto se permite presentar las siguientes conclusiones:

- La revisión bibliográfica de la temática de Redes de Sensores inalámbricas presenta un panorama en el cual los principales elementos a desarrollar en las mismas son: (1) Dispositivos hardware para registro, almacenamiento, análisis y transmisión de datos; (2) Software para recolección, minería y análisis de datos y (3) Topologías y estrategias de red para mejorar su eficiencia. Los estándares más utilizados en este campo son 802.11, 802.15.4 y tecnología móvil.
- El levantamiento de un estado del arte y del desarrollo de vigilancia tecnológica permite a los investigadores e innovadores conocer el panorama general de las temáticas que desean abordar; evitando redundar en resultados ya obtenidos, desarrollar soluciones existentes o abordar nichos de mercado saturados. El acceso a herramientas bibliométricas es fundamental para consolidar el desarrollo del estado del arte y la vigilancia tecnológica; y esto puede ser una limitante para los investigadores. En el caso del proyecto la Universidad Santo Tomás prestó el acceso a las herramientas y a la capacitación necesaria para su desarrollo.
- La temática de redes de sensores inalámbricas ha pasado de centrarse en investigaciones, hace 5 o más años, en la construcción de soluciones a la optimización de las mismas. Esto no significa que no se tengan nuevos desarrollos, pero si se detecta en la revisión que se están registrando gran cantidad de modelos de utilidad que mejoran

patentes existentes. El mejoramiento en la seguridad de los datos (ya que son comunicaciones inalámbricas), la reducción de consumo de energía para aumentar el rango de operación de los módulos en campo, la propuesta de nuevas alternativas de producción de energía para alimentar los módulos de sensado y la mejora en los algoritmos de transmisión; son las áreas de investigación de mayor proyección a la fecha del desarrollo de este proyecto.

- En la revisión del estado del arte se encuentra que la gran mayoría de publicaciones con impacto son relaciones entre la Universidad y la Empresa; principalmente los usuarios finales de la tecnología. En ese sentido es fundamental para el grupo de investigación UNITEL realizar acercamientos y presentar potencialidades con los Centros de Investigaciones regionales o nacionales; así como las empresas del sector hidrocarburos. Se recomienda, por cercanía geográfica, la cooperación con la CIC y con el CDT del gas; aunque no limita el trabajo colaborativo internacional.

7.2 Recomendaciones

Es importante considerar que en el desarrollo del presente trabajo se contó con gran apoyo de la dirección del grupo UNITEL (interesado) y de la dependencia de la biblioteca de la Universidad responsable de la Vigilancia Tecnológica y la bibliometría. Es recomendable siempre para el desarrollo de estos proyectos mantener una constante comunicación con el interesado y con los equipos de apoyo, ya que sin estos no se hubiese podido contar con el resultado obtenido.

7.3 Trabajo futuro

Como trabajo futuro se recomiendan dos líneas diferentes. La primera el desarrollar propuestas de investigación según las recomendaciones realizadas en el presente proyecto (temas técnicos) y el segundo continuar con la revisión de actores (clientes y proveedores) para facilitar al grupo UNITEL el conocimiento de la dinámica del mercado. También es importante que los integrantes de UNITEL profundicen en las temáticas de innovación y propiedad intelectual.

8 Bibliografía

- [1] G. Briones, *Métodos y técnicas de investigación para las ciencias sociales*. 1987.
- [2] UNIVERSIDAD SANTO TOMAS, “Proyectos Líneas de Investigación Telecomunicaciones,” 2013. [Online]. Available: <http://www.ustabuca.edu.co/post2233253/proyectos-lineas-de-investigacion-telecomunicaciones>.
- [3] S. Zabala and E. Rincón, “REDES DE SENSORES INALAMBRICOS PARA EL MONITOREO DE APLICACIONES EN LA INDUSTRIA DEL PETROLEO Y GAS,” in *17 Convencion Científica de Ingeniería y Arquitectura*, 2014, pp. 1042–1052.
- [4] S. Zabala, “TECNOLOGÍAS DE COMUNICACIÓN INALÁMBRICA PARA EL MONITOREO Y TRANSMISIÓN REMOTA DE INFORMACIÓN DE VARIABLES AMBIENTALES,” in *Experiencias Innovación, Competitivas y productividad*, 1st ed., UNIVERSIDAD SANTO TOMAS, Ed. 2015.
- [5] OTRI Estratégica de Oriente, “Portal WEB - Oficina de Transferencia de Resultados de Investigación,” 2014. [Online]. Available: <http://www.ucc.edu.co/bucaramanga/prensa/2014/Paginas/creacion-de-la-otri.aspx>.
- [6] Observatorio Virtual de Transferencia de Tecnología - OVTT, “Vigilancia Tecnológica,” 2014. [Online]. Available: <http://www.ovtt.org/vigilancia-tecnologica>.
- [7] I. Jawhar, N. Mohamed, J. Al-Jaroodi, and S. Zhang, “Data communication in linear wireless sensor networks using unmanned aerial vehicles,” in *Unmanned Aircraft Systems (ICUAS), 2013 International Conference on*, 2013, pp. 492–499.
- [8] M. R. Akhondi, A. Talevski, S. Carlsen, and S. Petersen, “The role of wireless sensor networks (WSNs) in industrial oil and gas condition monitoring,” in *Digital Ecosystems*

- and Technologies (DEST)*, 2010 4th IEEE International Conference on, 2010, pp. 618–623.
- [9] H. Yu and M. Guo, “An efficient oil and gas pipeline monitoring systems based on wireless sensor networks,” in *Information Security and Intelligence Control (ISIC)*, 2012 International Conference on, 2012, pp. 178–181.
- [10] COLCIENCIAS, “Convocatoria Nacional para el Reconocimiento y Medición de Grupos de Investigación, Desarrollo Tecnológico o de Innovación y para el Reconocimiento de Investigadores del SNCTeI, 2015,” 2015. [Online]. Available: <http://legadoweb.colciencias.gov.co/convocatoria/anuncio-de-fecha-de-corte-para-el-proceso-de-la-convocatoria-nacional-para-el-reconocim>.
- [11] R. Fernández, J. Orideres, F. Martínez, A. González, F. Alba, R. Lostado Lorza, and A. Pernía Espinoza, *Redes inalámbricas de sensores: teoría y aplicación práctica*. Rioja, España, 2010.
- [12] ATMEL, “ATmega328,” 2013. [Online]. Available: <http://www.atmel.com/devices/atmega328.aspx>.
- [13] R. Faludi, *Wireless Sensor Networks*, Fourth. United State: O’reilly Media Inc, 2012.
- [14] M. R. Akhondi, A. Talevski, S. Carlsen, and S. Petersen, “Applications of Wireless Sensor Networks in the Oil, Gas and Resources Industries,” in *Advanced Information Networking and Applications (AINA)*, 2010 24th IEEE International Conference on, 2012, pp. 941–948.
- [15] S. Md Zin, N. Badrul Anuar, M. Laiha Mat Kiah, and A.-S. Khan Pathan, “Routing protocol design for secure WSN: Review and open research issues,” *J. Netw. Comput. Appl.*, vol. 41, pp. 517–530, May 2014.
- [16] P. Radmand, A. Talevski, S. Petersen, and S. Carlsen, “Taxonomy of Wireless Sensor

- Network Cyber Security Attacks in the Oil and Gas Industries,” in *Advanced Information Networking and Applications (AINA)*, 2010 24th IEEE International Conference on, 2010, pp. 949–957.
- [17] S. Zabala and M. Rico, “Informe final de proyecto.,” Bucaramanga-Colombia, 2015.
- [18] I. Jawhar, N. Mohamed, and D. P. Agrawal, “Linear wireless sensor networks: Classification and applications,” *J. Netw. Comput. Appl.*, vol. 34, no. 5, pp. 1671–1682, Sep. 2011.
- [19] I. Jawhar, N. Mohamed, K. Shuaib, and N. Kesserwan, “An Efficient Framework and Networking Protocol for Linear Wireless Sensor Networks *,” vol. 00, pp. 1–19, 2008.
- [20] P. Escorsa and E. Cruz, “Vigilancia tecnológica e Inteligencia Competitiva,” *IALE Tecnología*, 2008. [Online]. Available: http://datateca.unad.edu.co/contenidos/107034/Entorno_de_Conocimiento/Vigilancia_Tecnologica_e_Inteligencia_Competitiva.pdf.
- [21] F. Palop and J. Vicente, *VIGILANCIA TECNOLÓGICA E INTELIGENCIA COMPETITIVA. SU POTENCIAL PARA LA EMPRESA ESPAÑOLA*. 2002.
- [22] J. Muñoz Durán, M. Marín Martínez, and J. Vallejo Triano, “La vigilancia tecnológica en la gestión de proyectos de I+D+i: recursos y herramientas,” *El Prof. la Inf.*, vol. 15, no. 5, pp. 411–419, 2006.
- [23] Icontec, *GESTIÓN DE LA INVESTIGACIÓN, DESARROLLO E INNOVACIÓN (I+D+i). REQUISITOS DEL SISTEMA DE GESTIÓN DE LA I+D+i*. 2008, pp. 1–5.
- [24] E. Giménez and A. Román, “Vigilancia tecnológica e inteligencia competitiva: conceptos, profesionales, servicios y fuentes de información,” *El Prof. la Inf.*, vol. 10, pp. 11–20, 2001.
- [25] O. L. Londoño, L. F. Maldonado, and L. C. Calderón, “Guía para construir estados del

- arte,” *International Corporation of Networks of Knowledge*, 2014. [Online]. Available: http://www.colombiaaprende.edu.co/html/investigadores/1609/articles-322806_recurso_1.pdf.
- [26] A. Velez and E. Galeano, *Investigación cualitativa Estado del arte*, Universida. Medellín, 2002.
- [27] OMPI, “Qué es una patente,” 2010. [Online]. Available: <http://www.wipo.int/patents/es/>.
- [28] Superintendencia de Industria y Comercio, “Conceptos de patentes,” 2012. [Online]. Available: <http://www.sic.gov.co/drupal/patentes>.
- [29] Superintendencia de Industria y Comercio, “Diseño Industrial,” 2013. [Online]. Available: <http://www.sic.gov.co/drupal/disenos-industriales>.
- [30] Dirección Nacional de Derechos de Autor, “Derecho de autor y software,” 2011. [Online]. Available: <http://www.propiedadintelectualcolombia.com/Site/LinkClick.aspx?fileticket=gbQDcDZdMsw%3D&tabid=99>.
- [31] S. Savazzi and U. Spagnolin, “Synchronous ultra-wide band wireless sensors networks for oil and gas exploration,” in *Computers and Communications, 2009. ISCC 2009. IEEE Symposium on*, 2009, pp. 907–912.
- [32] C. S. Aasland, D. Sjong, and R. Statoil, “Requirements , Drivers and Analysis of Wireless Sensor Network Solutions for the Oil & Gas Industry ABB Strategic Research for,” no. 7465, pp. 219–226, 2009.
- [33] A. Lewis, A. Abdelgawad, and N.-F. Tzeng, “Wireless Sensor Data Acquisition Design for Engineering Applications,” in *Circuits and Systems for Communications, 2008. ICCSC 2008. 4th IEEE International Conference on*, 2009, pp. 544–549.

- [34] S. Radmand, P.; Talevski, A.; Petersesn, S.; Carlsen, “Comparison of industrial WSN standards,” in *4th IEEE International Conference on Digital Ecosystems and Technologies - Conference Proceedings of IEEE-DEST 2010*, 2010, pp. 632–637.
- [35] Z. Sun, P. Wang, M. C. Vuran, M. A. Al-Rodhaan, A. M. Al-Dhelaan, and I. F. Akyildiz, “MISE-PIPE: Magnetic induction-based wireless sensor networks for underground pipeline monitoring,” *Ad Hoc Networks*, vol. 9, no. 3, pp. 218–227, 2011.
- [36] S. Yoon, W. Ye, J. Heidemann, B. Littlefield, and C. Shahabi, “SWATS: Wireless sensor networks for steamflood and waterflood pipeline monitoring,” *IEEE Netw.*, vol. 25, no. 1, pp. 50–56, 2011.
- [37] P. Yi, X. Lizhi, and Z. Yuanzhong, “Remote real-time monitoring system for oil and gas well based on wireless sensor networks,” in *Mechanic Automation and Control Engineering (MACE), 2010 International Conference on*, 2010, pp. 2427–2429.
- [38] G. Owojaiye and Y. Sun, “Focal design issues affecting the deployment of wireless sensor networks for pipeline monitoring,” *Ad Hoc Networks*, vol. 11, no. 3, pp. 1237–1253, May 2013.
- [39] T. O’Donovan, J. Brown, F. Büsching, A. Cardoso, J. Cecílio, J. Doó, P. Furtado, P. Gil, A. Jugel, W.-B. Pöttner, U. Roedig, J. S. Silva, R. Silva, C. J. Sreenan, V. Vassiliou, T. Voigt, L. Wolf, and Z. Zinonos, “The GINSENG system for wireless monitoring and control: Design and deployment experiences,” *ACM Trans. Sens. Networks*, vol. 10, no. 1, 2013.
- [40] P. Gil, A. Santos, and A. Cardoso, “Los resultados de los experimentos in situ demuestran la viabilidad y pertinencia del enfoque propuesto,” *IEEE Trans. Control Syst. Technol.*, vol. 22, no. 4, pp. 1589–1596, 2014.
- [41] H. Yu and J. Zhang, “Data collection in wireless underground sensor networks for oil

- and gas pipeline monitoring,” *Energy Educ. Sci. Technol. Part A Energy Sci. Res.*, vol. 32, no. 6, pp. 6685–6694, 2014.
- [42] D. G. Reina, S. L. Toral, P. Johnson, and F. Barrero, “A survey on probabilistic broadcast schemes for wireless ad hoc networks,” *Ad Hoc Networks*, vol. 25, no. PA, pp. 263–292, 2015.
- [43] HONEYWELL/CROSSBOW, “Wireless Applications Honeywell Enables Its Sensors for Integration into Wireless Networks,” 2012. [Online]. Available: <http://www.sensorsmag.com/wireless-applications/news/honeywell-enables-its-sensors-integration-wireless-networks-1784>.
- [44] Honeywell, “OneWireless Network – ISA100 Wireless Mesh Network HomeExploreProductsWirelessOneWireless Network Print Page Add to My Bookmarks SHARE,” 2015. [Online]. Available: <https://www.honeywellprocess.com/en-US/explore/products/wireless/OneWireless-Network/pages/default.aspx>.
- [45] ABB ltda, “WSN ABB Wifi-300,” 2013. [Online]. Available: http://www.greenecomony.it/index.php?id_product=362&controller=product&id_lang=6.
- [46] Siemens Co, “Wireless Sensor Network - Siemens,” 2011. [Online]. Available: http://cordis.europa.eu/pub/ist/docs/dir_c/ems/sollacher_wireless.pdf.
- [47] Emerson, “Smart Wireless Solves extreme networking needs,” 2015. [Online]. Available: <http://www.emerson.com/en-us/Innovations/Pages/wireless-sensors.aspx>.
- [48] SCOPUS, “Resultados análisis plataforma SCOPUS.” 2016.
- [49] patenscope, “Revisión de patentes de la temática,” 2016. [Online]. Available: <https://patentscope.wipo.int/search/en/result.jsf>.
- [50] V. Shripad and P. Devale, “RECENT TRENDS IN USING WIRELESS SENSOR

NETWORKS IN INDUSTRIAL ENVIRONMENT,” *Int. J. Comput. Networking*, vol. 3, no. 3, pp. 11–20, 2013.

- [51] Marketsandmarkets, “IWSN Market by Sensor, Technology, Application & Geography - Global Trend & Forecast to 2013-2020,” vol. 1, no. 1, 2014.
- [52] CDT del Gas, “Innovaciones CDT del Gas,” 2015. [Online]. Available: <http://www.cdtdegas.com/>.
- [53] Dinero, “Las diez petroleras con mayor producción en Colombia,” *Dinero*, 2013. [Online]. Available: <http://www.dinero.com/negocios/articulo/las-diez-petroleras-mayor-produccion-colombia/140828>.