

Sistemas de Alerta Temprana (S.A.T) para la Reducción del Riesgo de Inundaciones Súbitas y Fenómenos Atmosféricos en el Área Metropolitana de Barranquilla

M.Sc. Melisa Acosta Coll

Facultad de Ingeniería, Corporación Universidad de la Costa, Barranquilla, Colombia

macosta10@cuc.edu.co

Resumen— Los fenómenos atmosféricos han incrementado su frecuencia e intensidad durante los últimos años debido a los efectos del cambio climático. La Región Caribe Colombiana ha sido una de las zonas más afectadas debido a inundaciones súbitas y fenómenos atmosféricos, aumentando el nivel del riesgo ya que es una zona vulnerable debido a factores económicos, sociales y ambientales. El programa de investigación en Gestión integral del riesgo y adaptación al cambio climático de la Corporación Universidad de la Costa ha desarrollado acciones estratégicas para la reducción del riesgo de las amenazas de inundaciones súbitas y fenómenos atmosféricos en el área Metropolitana de Barranquilla, la implementación de sistemas de monitoreo y sistemas integrales de alerta temprana, que permitan de manera oportuna a las autoridades y comunidad en general tomar decisiones para la prevención de desastres. Dichos proyectos están enmarcados dentro de políticas de sostenibilidad que los hace ser económicamente viable, ambientalmente responsables y socialmente justos.

Palabras clave— Adaptación al cambio climático, fenómenos atmosféricos, gestión integral del riesgo, inundaciones súbitas, sistemas de alerta temprana.

Abstract— The atmospheric phenomena have increased in frequency and intensity in recent years due to the effects of climate change. The Colombian Caribbean region has been one of the most affected with flash flooding due to atmospheric phenomena and increasing the level of risk as it is a vulnerable area due to economic, social and environmental factors. The research program in Risk Management and Climate Change Adaptation from Corporación Universidad de la Costa has developed strategic actions to reduce the risk of the threat of flash floods and atmospheric phenomena in metropolitan area of Barranquilla through the using monitoring and early warning systems, which allow a timely manner to the authorities and the general community make decisions for disaster prevention. These projects are framed within sustainability policies which makes them economically viable, environmentally responsible and socially just.

Key Word — Climate Change Adpatation, Atmospheric Events, Risk management, flash floods, early warning systems.

I. INTRODUCCIÓN

El cambio climático es un problema de orden mundial causado por diferentes factores tanto naturales como antropogénicos tales como el incremento de la demanda y del consumo energético, la actividad industrial, la deforestación y la producción agrícola no controlada, causando un incremento de las emisiones a la atmósfera de CO₂¹ y metano, los cuales son los principales gases de efecto invernadero causantes del cambio climático [1].

Los efectos del cambio climático han sido observados a nivel mundial a través del incremento de la temperatura, la intensidad de las precipitaciones y la frecuencia de los fenómenos atmosféricos, dejando un sin número de inundaciones, sequías, incendios forestales, fuertes vientos, el calor y olas de frío siendo cada vez mas evidentes y más inciertos. De acuerdo al IPCC (Panel Internacional de Expertos en el Cambio Climático), "el aumento de la temperatura de la tierra, está produciendo graves consecuencias en el clima, la atmósfera y la biodiversidad". Esto se evidenciará en el presente siglo a través del aumento de la temperatura entre 1 y 3,5 °C, los niveles del mar aumentaran, así mismo las inundaciones, inestabilidades atmosféricas, habrá disminución de las capas de hielo de los polos, aumento de la frecuencia de fenómenos atmosféricos, entre otros efectos [2].

Debido a que el cambio climático es un problema de orden

¹ CO2 Dioxido de Carbono

mundial se requiere un compromiso y solución mundial, por lo cual se han establecido diferentes pactos y acuerdos como el Protocolo de Kioto [3], así mismo la gestión integral del riesgo se constituye como un elemento vital para cualquier programa de gestión del riesgo y adaptación al cambio climático. La gestión integral del riesgo es un grupo de procesos compuesto por la planeación, ejecución, seguimiento y evaluación de políticas y acciones para conocer el riesgo y concientizar a la sociedad del mismo, con el objetivo de evitar que este se genere, así mismo reducirlo o controlarlo cuando se presente y estar preparado para manejar las situaciones de desastre y posteriormente una pronta recuperación [4]. La adaptación al cambio climático son todas las iniciativas y medidas implementadas para la reducción de la vulnerabilidad de los sistemas naturales y humanos o la infraestructura frente a las variaciones reales o esperados del clima. Es la estrategia necesaria a todos los niveles, útil para complementar los esfuerzos de mitigación del cambio climático, porque no es posible garantizar la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero lo suficiente para prevenir los efectos del cambio climático [5].

En especial en los últimos años, Colombia ha sido uno de los países más afectados por el incremento de los efectos de la presencia de fenómenos hidrometeorológicos, siendo un país muy vulnerable debido al deterioro de las condiciones sociales, ambientales, económicas e institucionales. De la misma manera el departamento del Atlántico es una de las zonas más afectadas del país por esta problemática, cuyo mayor amenaza son las inundaciones de acuerdo al *Plan Departamental de Gestión del Riesgo del Departamento del Atlántico* [6], y el nivel del riesgo se incrementa al ser un departamento vulnerable ante los desastres. Lo anterior quedó evidenciado en las pasadas inundaciones del año 2010, el cual la ruptura del Canal del Dique, provocado por las altas precipitaciones y el mal estado del canal, inundaron todo el área sur del departamento. Sin embargo, está no es la única zona vulnerable del departamento; el Municipio de Barranquilla y su área metropolitana, han sido impactados por diferentes fenómenos tales como tormentas, vendavales, tornados y altas precipitaciones, ocasionando inundaciones, especialmente en las zonas aledañas al Río Magdalena, donde se encuentra el motor económico de dicha conurbación, reuniendo importantes entidades como el Aeropuerto Internacional Ernesto Cortissoz, el Comando Aéreo de Combate N° 3, la Sociedad Portuaria Regional de Barranquilla, y empresas asociadas al sector educativo, ganadero, agroindustrial, acuícola y pesquero. Las operaciones de dichas entidades y empresas han sido

perturbadas a causa de las inundaciones ocasionando grandes pérdidas materiales. De la misma manera, en la ciudad de Barranquilla, las altas precipitaciones provocan el continuo desbordamiento de los arroyos cuyo ímpetu destruye todo lo que se encuentre a su paso, con un saldo importante de víctimas mortales cada año y centenares de damnificados superando la capacidad de atención inmediata del distrito. Otro escenario de riesgo identificado en el Departamento del Atlántico son los asociados a Tornados, vientos fuertes o vendavales, debido a una fuerte influencia por el sistema de vientos alisios provenientes del Este. En las estadísticas se reportan incidentes en diferentes municipios del departamento con velocidades entre 11 y 50 km/h [6]. El riesgo aumenta en el departamento al no contar con sistemas de monitoreo ni la preparación frente a una respuesta inmediata al evento meteorológico.

En el *Plan Departamental de Gestión del Riesgo del Departamento del Atlántico* [6], en el año 2011 se realizó un autodiagnóstico para analizar el avance del departamento del Atlántico frente a los diferentes indicadores internacionales que son de interés mundial en gestión del riesgo, los cuales fueron definidos desde el Marco de Acción de Hyogo MAH 2005 – 2015. El Marco de Hyogo contiene los siguientes objetivos específicos [7]:

- A) Integrar la gestión del riesgo en las políticas y la planificación del desarrollo sostenible
- B) Fortalecer las capacidades institucionales para aumentar la resiliencia ante las amenazas
- C) Implementar programas de preparación, atención y recuperación de emergencias.

El objetivo para el 2015 es haber reducido de manera considerable las pérdidas a nivel de vidas humanas y bienes sociales, económicos y ambientales de las comunidades. Para lograr este objetivo se plantearon cinco acciones prioritarias que orientan a los Estados, organizaciones y otros actores para lograr la resiliencia de las comunidades vulnerables frente a los desastres [7]:

1. Lograr que la reducción del riesgo de desastres sea una prioridad.
2. Conocer el riesgo y tomar medidas.
3. Desarrollar una mayor comprensión y concientización.
4. Reducir los factores fundamentales del riesgo.
5. Fortalecer la preparación en desastres para una respuesta eficaz a todo nivel.

Al realizar la comparación de los indicadores del país frente a

los del mundo, se encontró que los indicadores de Colombia están por encima de la media mundial, pero la región Caribe se encuentra por debajo de la media mundial y el departamento del Atlántico tiene un nivel de preparación por debajo del promedio de la región Caribe y del país, como se presenta en la tabla 1

Tabla 1

REFERENCIA ESPACIAL	PRIORIDAD	MONITOREO	EDUCACION	REDUCCION	MANEJO
Atlántico	1,2	3	2	2,25	1
Caribe	1,54	2,04	1,65	1,50	1,50
Nacional	3,80	3,30	3	3,30	3,80
Mundo	3,4	3,3	3,1	3	3,4

Comparativo Regional, Nacional y Mundial del estado del departamento del Atlántico en Gestión del Riesgo según el Marco de Acción de Hyogo MAH 2005-2015 [6]

Frente a esto es necesario tomar medidas para la prevención de desastres, de una manera planificada, participativa, dinámica, incluyente, transversal, multidimensional y plurisectorial, con el fin de ofrecer un bienestar y mayor seguridad en el departamento del Atlántico, especialmente en el área metropolitana.

En el Plan Departamental de Gestión del Riesgo del Departamento del Atlántico, se establecieron tres procesos como parte de los ejes de acciones estratégicas para la gestión del riesgo en el Departamento del Atlántico, los cuales son:

1. Conocimiento del Riesgo
2. Reducción del Riesgo
3. Manejo de desastres.

Dentro del conocimiento del riesgo se encuentra la implementación de sistemas de monitoreo de eventos amenazantes y sistemas integrales de alertas tempranas, esto permitirá que las entidades, empresas y comunidad en general puedan tomar decisiones oportunas para mitigar los efectos de eventos amenazantes tales como inundaciones súbitas y fenómenos atmosféricos como es el caso del área metropolitana de Barranquilla. Es por esto que desde la facultad de Ingeniería de la Corporación Universidad de la Costa se han venido desarrollando proyectos multidisciplinarios, para la creación de sistema de monitoreo y

alertas tempranas para la reducción de eventos amenazantes en el área metropolitana de Barranquilla.

El presente artículo describe dos proyectos que están siendo desarrollados por la facultad de Ingeniería donde se detalla los objetivos principales, la metodología, los impactos y/o resultados esperados.

II. PROYECTOS

A. Diseño y desarrollo para un prototipo de Sistemas de Alertas Tempranas (SAT), basado en redes TIC para la aplicación en los arroyos de Barranquilla

Este proyecto es desarrollado por los programas de Ingeniería Electrónica, Eléctrica, Industrial, Civil y Sistemas, y se presenta como una solución interdisciplinaria que evidencia una problemática de tipo social en la ciudad de Barranquilla ubicada en el Departamento del Atlántico, ya que debido a problemas como la reducción de la capacidad de infiltración del agua en la ciudad debido al notorio incremento de infraestructura vial y de vivienda, así como los efectos del cambio climático, ha generado que durante la época de invierno en la ciudad, el sistema de drenaje sea insuficiente y colapse causando la formación de arroyos mortales que día a día elevan el número de emergencias registradas [8]. Este proyecto no brinda una solución al problema, sino que crea un sistema de prevención en tiempo real que permita a la población tomar medidas necesarias para no ser afectados por los arroyos de las diferentes zonas, mientras se genera una solución definitiva que integre los grupos estatales de la región.

El objetivo de este proyecto es diseñar y desarrollar un prototipo experimental de un Sistema de Alertas Tempranas (S.A.T) que permita entregar datos importantes en tiempo real a la ciudadanía sobre el nivel, caudal, y fuerza de empuje del arroyo "La Brigada", en la ciudad de Barranquilla e indicar su nivel de peligrosidad. Estos datos podrán ser visualizados en una plataforma web para que la ciudadanía tome las medidas preventivas frente a la amenaza de dicho arroyo.

Este proyecto está dividido en cinco fases:

1. Investigación Preliminar: Se dieron a conocer los antecedentes del proyecto y el estado actual de la problemática a resolver, así como de los medios tecnológicos utilizados para la solución de la misma.
2. Caracterización y Definición de los requerimientos del sistema: Se identificaron las delimitaciones del

proyecto, población actual afectada, proyecciones futuras, cartografía, orografía, datos técnicos, tecnológicos y situación actual con respecto a las lluvias torrenciales.

3. Diseño, Construcción y Validación del Prototipo S.A.T: Se definió la diagramación de la arquitectura de red para el desarrollo del sistema, diseño de la aplicación para la captura de los datos, desarrollo del sistema de transmisión, diseño del sistema de alarmas.

Para ello se ha definido una base algorítmica de programación en priorización de peligrosidad y trazos de ruta de arroyos a través de medición de caudales. La figura 1 ilustra la arquitectura de red del proyecto.

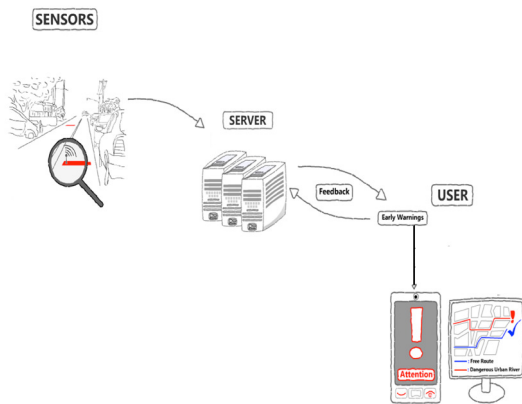


Figura 1. Arquitectura de red del proyecto

Para las tecnologías de comunicaciones asociadas a la arquitectura de red necesaria para la implementación de la solución se revisaron tres tecnologías tales como GPS, GPRS y ZIGBEE [9]. Teniendo en cuenta la ubicación de los puntos de monitoreo (1km de distancia para cada punto) la última es la más adecuada, ya que en la actualidad existen plataformas que trabajan con este tipo de alcance. Con base a esto, se realizó el diseño de la red que permita obtener información de los sensores en tiempo real para posteriormente ser enviados a un servidor de datos. Fueron analizadas dos plataformas tecnológicas que apoyen las terminales de monitoreo como son Arduino y Libelium, ambas ofrecen la posibilidad de comunicación inalámbrica con las tecnologías de comunicación. Teniendo en cuenta las consideraciones de los puntos de monitoreo, se llegó a la conclusión que la plataforma Arduino es adecuada para la solución de la arquitectura de red; con esta plataforma de hardware libre se pueden desarrollar proyectos con entornos interactivos e interdisciplinarios [10].

4. Diseño de un modelo de consumo de energía para el soporte del prototipo: Se busca el análisis, la validación y el diseño de un modelo de consumo energético aplicado al S.A.T
5. Seguimiento y Documentación.

Este proyecto está alineado a las políticas públicas en torno a la atención de una problemática ambiental y social, lo cual ha generado diferentes estrategias a nivel local, regional y nacional.

B. Sistema de Alerta Temprana para la detección de precipitación, fenómenos atmosféricos y determinación de zonas inundables en el área Metropolitana de Barranquilla.

El Plan de Desarrollo del departamento del Atlántico 2012-2015, con su eslogan "Atlántico más social: un compromiso social sobre lo fundamental" [9], ha establecido diferentes retos para su cumplimiento. Dos de los retos son un Atlántico más productivo y un Atlántico más sostenible, con los cuales se busca posicionar al departamento como un modelo de desarrollo agroindustrial, pecuario, piscícola y turístico, impulsando la ciencia, la tecnología y la innovación. Para lograr dichos objetivos es necesario contar con una adecuada gestión del riesgo que contribuya al control y mitigación de factores que afecten el desarrollo de las actividades del departamento. Uno de estos factores son las altas precipitaciones que causan inundaciones, erosiones de terreno, obstrucción de vías, víctimas mortales y centenares de damnificados. Ya que actualmente no se cuenta con una adecuada gestión del riesgo debido a la carencia de equipos y sistemas para su eficaz desarrollo, gran parte de los recursos deben ser empleados para la atención inmediata de las víctimas, limitando el desarrollo económico del departamento. El área metropolitana de Barranquilla concentra la mayor parte de los sectores productivos del departamento, los cuales se han visto afectados por esta problemática; este proyecto tiene como objetivo detectar y monitorear las precipitaciones que inciden en el área metropolitana de Barranquilla, la cantidad de agua que cae dentro de la zona y la determinación de las zonas inundables de dicha conurbación.

El proceso de detección y monitoreo de la precipitación y de los fenómenos atmosféricos se realizará a través de la implementación de un radar meteorológico de bajo costo y baja infraestructura, el cual proporcionará información detallada y en tiempo real de los eventos meteorológicos en la parte baja de la atmósfera, dentro de un radio de cobertura que comprende la ciudad de Barranquilla y los municipios de Soledad, Puerto Colombia, Galapa y un sector de Malambo.

Estos instrumentos son utilizados ampliamente alrededor del mundo, como elemento primordial en la gestión del riesgo, ya que a diferencia de instrumentos como las estaciones meteorológicas y satélites meteorológicos, los radares proveen información precisa y en tiempo real de los eventos meteorológicos. Así mismo, son utilizados para el desarrollo de modelos hidrológicos determinando zonas inundables, conociendo la cantidad de agua que está cayendo en una zona de estudio dentro del radio de cobertura del radar [11].

Este proyecto está dividido en dos fases para su desarrollo; la primera fase comprende el diseño del sistema de alerta temprana donde en primera instancia se realizará un *site survey* para la selección del lugar más óptimo de instalación del radar meteorológico, teniendo en cuenta factores técnicos como bloqueo del haz, altura de la torre y su respectivo diseño, conexión a internet, permiso de funcionamiento entre otros; y factores sociales como vulnerabilidad de la población y seguridad. Dentro de esta fase también se encuentra la selección del modelo hidrológico apropiado que utilice la información del radar para la determinación de las zonas inundables. Luego a través de un Modelo Digital de Terreno se analizará el comportamiento hidrológico de las cuencas, redes de ríos y cuerpos de agua aledaños al área metropolitana de Barranquilla para determinar las zonas más vulnerables.

La segunda fase del proyecto consiste en la calibración y validación de la información del radar; luego se procederá a modelar las zonas de estudio seleccionadas previamente en la primera fase para determinar si son inundables o no. Por último se expondrá las zonas inundables dentro del área metropolitana de Barranquilla y la puesta en marcha del radar meteorológico, el cual proveerá información continua de los eventos meteorológicos dentro de su área de cobertura para realizar una gestión del riesgo oportuna.

El radar a utilizar es un radar de Doppler y Polarimétrico Banda-X [12], con una frecuencia de 9,41 Ghz, potencia pico de 8 KW y un radio de cobertura de 40 km. La figura 2 ilustra el radio de cobertura en el departamento del Atlántico siendo ubicado en la Universidad de la Costa.

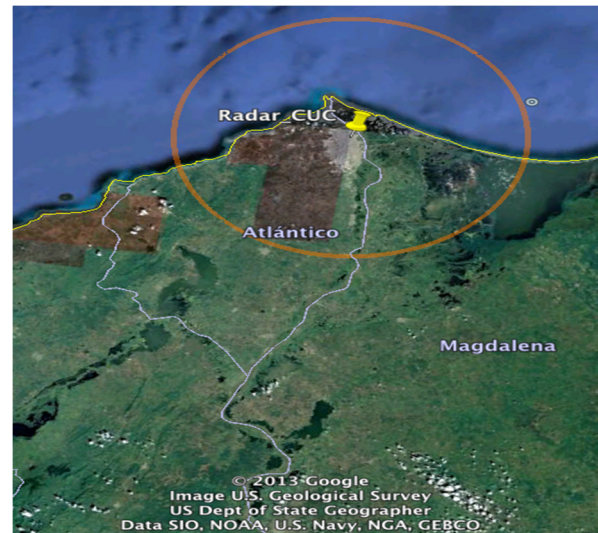


Figura 2. Radio de cobertura del Radar Doppler y Polarimétrico

Este proyecto permitirá alertar a las poblaciones para la reacción y protección; involucrar a las comunidades en sus acciones de Gestión del Riesgo, identificar las zonas con potencial inundable, detección de fenómenos atmosféricos y establecer una red de alertas conformada por la plataforma de información del SAT y los sistemas de comunicación, así mismo la central de recepción de datos de las entidades aliadas del proyecto, aportando al desarrollo de un Departamento Sostenible y Competitivo.

III. CONCLUSIONES

El departamento del Atlántico es una de las zonas más vulnerables en el país ante la amenaza de inundaciones súbitas y fenómenos atmosféricos, no solo por su posición geográfica sino por la carencia de recursos económicos, problemas de índole social y falta de planificación que permita afrontar los escenarios de riesgo a través de la implementación de estrategias conjuntas e integrales antes que la reacción separada, sin orden y reactiva. La implementación de Sistemas de Alertas Tempranas (S.A.T) en el área metropolitana de Barranquilla, se constituye como una acción estratégica y elemento clave para la Gestión Integral del Riesgo y Adaptación al cambio climático, ya que permiten monitorear y advertir sobre situaciones de riesgo en la población, tales como inundaciones súbitas y fenómenos atmosféricos, de manera que se puedan tomar decisiones oportunas y así reducir el nivel del riesgo.

El proyecto Sistemas de Alertas Tempranas (SAT), basado en redes TIC para la aplicación en los arroyos de Barranquilla, es un prototipo que será aplicado al arroyo "La Brigada", que

permitirá visualizar a través de una plataforma web el nivel de peligrosidad del mismo. Este proyecto está diseñado de tal manera que pueda ser replicable para otros arroyos dentro de la ciudad, de manera que la ciudadanía en general pueda conocer el estado de los arroyos y tomar decisiones a tiempo, evitando situaciones de peligro.

Los radares meteorológicos son instrumentos que nos permiten obtener información detallada y en tiempo real de las condiciones hidrometeorológicas dentro de su radio de cobertura. Debido a que el área metropolitana de Barranquilla carece de un sistema de monitoreo en tiempo real de los diferentes fenómenos atmosféricos, la instalación de un radar meteorológico se constituye como un avance significativo en el proceso de una planificación estratégica para la reducción del riesgo de eventos amenazantes como las inundaciones y fenómenos atmosféricos.

Como trabajo futuro en la temática referente a Sistemas de Alerta Temprana (S.A.T) para la Reducción del Riesgo de Inundaciones Súbitas y Fenómenos Atmosféricos en el Área Metropolitana de Barranquilla se puede mencionar la problemática de tornados en el departamento del atlántico, los cuales han afectado a la población causando grandes daños y temor a la misma [13].

REFERENCIAS

- [1] S.J Mianh, J. G Gammack, "A Sustainable knowledge repository for support in Climate Change Adaptation", 2009 Fifth International conference on Semantics, Knowledge and Grid.
- [2] M. Cote, P. Martin, J. Gonzalez, A. Cardona, Proyecto Integración de riesgos y oportunidades del cambio climático en los procesos nacionales de desarrollo en la programación de país de las Naciones Unidas. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, PNUD. "El cambio climático en Colombia y el Sistema de las Naciones Unidas: ". Bogotá, 2010.
- [3] J. L Gamband, "El mito del desarrollo sustentable", Smashwords Edition, License Notes, 2012, p.p 25.
- [4] Australian Government, Department of the Environment and Heritage Australian Greenhouse Office, "Climate Change Impacts and Risk Management: A guide for business and Government". Australian Greenhouse Office, in the Department of the Environment and Heritage. ISBN: 1 921 120 56 8
- [5] R. A. Vargas, , Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres, Proyecto de Asistencia Técnica en Gestión del Riesgo a nivel Municipal y Departamental, "Formulación del Plan Municipal de Gestión del Riesgo (Versión 1)"; Bogotá, 2012.
- [6] Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo, Programa de la Naciones Unidas para el Desarrollo Colombia-PNUD, Proyecto Gestión Integral del Riesgo y Adaptación al Cambio Climático Caribe PNUD-UNGRD, "Plan Departamental de Gestión del Riesgo Atlántico", Panamericana. 2012.
- [7] Naciones Unidas Estrategia Internacional para la Reducción de Riesgo de Desastres (EIRD), "Marco de Acción de Hyogo 2005-2015: Aumento de la Resiliencia de las naciones y las comunidades ante los desastres", Casa Internacional del Ambiente II Ginebra, Suiza
- [8] O. Díaz, C. Rojano, S. Cadena, A. Del Río, República de Colombia, Consejo Distrital de Barranquilla, Proyecto de Acuerdo N° Mayo 30 de 2008, "Plan de Desarrollo Social, Económico y de Obras Públicas 2008-2011 Oportunidades para Todos.
- [9] ZigBee, Low Cost, Low Power, wireless networking for device monitoring and control, Mayo 2013. [Online]. Disponible en: <http://www.digi.com/technology/rf-articles/wireless-zigbee>
- [10] R. Zamora, "Laboratorios Remotos: Análisis, Características y Desarrollo". Educosta, Barranquilla, Colombia, 2010.
- [11] M. Acosta, "Clutter Elimination Methods and Data Merging for X-Band Weather Radar Network in Complex Terrains"; M.Sc. dissertation, Dept. Electrical Engineering, Universidad de Puerto Rico, Recinto Universitario de Mayaguez, 2011.
- [12] M. Skolnik, "Introduction to Radar Systems", McGraw-Hill, Segunda edición, pp. 1-4, New York.
- [13] G. Piñeres, "Tecnologías para el estudio y prevención de tornados en el contexto del departamento del Atlántico". Scientia et Technica Año XVII, No 51, pp. 165-173, Ago.2012