

Master en Gestión de Servicios Tecnológicos y Telecomunicaciones



Tesis

Alumno: Guillermo Jacobi (guillermo.jacobi@gmail.com)

Título: “Redes de sensores para el control de las aguas en la ciudad del futuro”

Tutor: Alejandro Prince

Resumen Ejecutivo

Título:

Redes de sensores para el control de las aguas en la ciudad del futuro.

Problemas:

- Incremento en la intensidad de las precipitaciones: Existe un alto riesgo de que se incrementen las precipitaciones en el mundo debido al cambio climático. Con una mayor variabilidad de eventos meteorológicos proyectados que incrementan el riesgo de inundaciones. Al mismo tiempo, la superficie de tierra sufriendo sequías aumentará.
- Las actuales prácticas de administración del agua son obsoletas: El cambio climático acentuado que estamos experimentando está impactando la actual infraestructura utilizada para administrar los fluidos hídricos. Defensas estructurales para inundaciones, sistemas de irrigación y drenaje necesitan ser adaptados.
- Crecimiento urbano no planificado de la población: Las ciudades están atrayendo más y más la población rural. Y las grandes urbes están creciendo de manera desorganizada en muchos casos. Incrementando la superficie cubierta por construcciones e impidiendo que el agua pueda ser absorbida por el suelo.
- Incremento de la temperatura del planeta: La temperatura del agua está incrementándose, afectando la velocidad de las lluvias y reduciendo la cantidad de hielo almacenado en glaciares.

Preguntas

- Podemos anticipar inundaciones gracias a redes de sensores IoT?
- Es factible implementar una solución hídrica basada en la sensorización del flujo de agua para una ciudad en Argentina?

Hipótesis:

- Los sensores pueden ser utilizados para monitorear los niveles de agua y anticipar inundaciones. Para optimizar los controles del agua y disparar alertas automáticas.

Objetivos:

Objetivo Principal: Evaluar la factibilidad de implementar la última tecnología disponible en sensores de agua en ciudades de Argentina. Validando si la implementación de este tipo de tecnologías es viable.

Objetivos Secundarios:

- Identificar como los sensores de agua pueden generar valor para los ciudadanos durante un evento de inundación. Alarmas, avisos, datos a ser compartidos.
- Estudiar la tecnología de los sensores de agua disponibles. Para identificar los últimos avances tecnológicos utilizados globalmente que pudieran ser implementados en ciudades de Argentina.
- Estudiar que análisis de datos se realiza sobre la información recolectada por los sensores. Identificando cómo se puede predecir el advenimiento de un evento meteorológico intenso para poder dar un aviso temprano a la población.



Tabla de Contenidos

Título:	1
Problemas:	1
Preguntas	1
Hipótesis:	1
Objetivos:	1
1. Introducción	5
1.1 Futuros Cambios Meteorológicos	6
1.2 Tecnología de Redes de Sensores Inalámbricos	7
1.3 Arquitectura de Trabajo con Sensores.....	8
1.4 Topología de Comunicación.....	9
1.5 Modelo de Monitoreo para detección temprana de Inundaciones	10
2. Teoría utilizada en el presente trabajo	11
3. Metodología de Estudio	12
4. Introducción a las inundaciones.....	13
5. Perdidas por inundaciones. Información histórica sobre sus efectos en Argentina.	14
6. Sensores de agua: desarrollos globales y locales	19
a. Experiencia de monitoreo del agua en New Orleans.....	19
b. Experiencia de detección de inundaciones en Honduras	24
c. Experiencia de detección de inundaciones en Tailandia	29
d. Experiencia de detección de inundaciones en Mauritania	35
7. Arquitectura de solución y flujo de información entre sensores	42
8. Redes de comunicaciones para el envío de datos	46
9. Sistemas de alertas	48
a. Caso Centro Regional Andino, Argentina (INA).....	53
b. Caso Centro de Investigaciones de la Región Semiárida, Argentina (INA)	54
10. Caso de la Ciudad de Buenos Aires: entrevista y observación en el campo.....	56
11. Caso del Municipio de Mercedes (Provincia de Buenos Aires): entrevista y observación en el campo.	64
12. Últimos avances en sensores de agua para monitoreo	72
13. Conclusiones	77
14. Definiciones.....	79

15.	Material de Investigación.....	80
16.	Anexo 1: Material “Caso de éxito BGH”	83



Universidad de
SanAndrés

1. Introducción

Voy a investigar sobre la tecnología necesaria implementar un Panel de Control del agua para una ciudad de la Provincia de Buenos Aires. Para poder monitorear los flujos de agua y poder definir un sistema de alarma temprana ante inundaciones.

De esta manera, voy a estudiar de qué manera se puede anticipar un evento de inundación acercándose. E investigaré los costos necesarios para establecer este tipo de soluciones. Así se podrá utilizar la información obtenida con la intención de evaluar a posteriori la factibilidad económica de implementar la solución.

Adicionalmente, voy a investigar los últimos avances tecnológicos sobre sensores de agua IoT. Comenzando por dispositivos siendo desarrollados e investigados por Universidades hasta las tecnologías utilizadas en ciudades paradigmáticas en manejo del agua como New Orleans y Ámsterdam.

Por otro lado, revisaré investigaciones realizadas sobre sensores de agua en diferentes lugares del mundo como Brazil, Holanda, Honduras, Inglaterra, Italia, Mauritania y Tailandia. Así mismo, revisaré experiencias locales en Argentina, visitando especialistas que han participado en implementación de sensores para la Ciudad de Buenos Aires y el Municipio de Mercedes. Y, a través de investigación bibliográfica, revisaré también experiencias en la Provincia de Mendoza y en la ciudad de Villa Carlos Paz.

Así mismo, voy a investigar eventos de inundación pasados en Argentina. En particular, los eventos sucedidos en la Provincia de Buenos Aires. Analizando la cantidad de eventos que ocurrieron en conjunto con su frecuencia y revisando el impacto del actual sistema urbano de la Provincia de Buenos Aires en los alrededores de los ríos Paraná y Salado.

Es importante destacar que Argentina es parte de los 14 países más afectados por inundaciones rurales y urbanas, generando pérdidas superiores al 1,1% del PBI nacional (Mundial, 2000).

La ocurrencia de un evento importante de inundación es superior a 1 evento cada 10 años en el país. Revisando los registros de estos eventos, desde 1957, 1 evento severo ocurre cada 4 años generando muertes y altas pérdidas en infraestructura, producción agrícola, propiedades privadas y actividades económicas.

Por su duración e impacto en el PBI nacional (afecta las provincias generando el 76% del PBI) y por su representatividad sobre el total de la población nacional (70% del total nacional), las inundaciones de los ríos afluentes al Río de la Plata toman una gran relevancia.

Argentina está aún lejos de implementar un grupo de buenas prácticas para alivianar los efectos de inundaciones severas. Por ejemplo, durante la severa inundación en Santa Fe en el 2003, no había medidas básicas no estructurales tales como una Administración de Riesgo Local y un Plan de Comunicación temprana a ser ejecutados durante este tipo de eventos.

El fenómeno meteorológico llamado “El niño” ha incrementado los problemas afectando áreas urbanas relacionadas a la administración del agua. Los drenajes de agua son uno de los puntos más conflictivos en grandes urbes, en particular debido a la manera desorganizada que se ha dado el crecimiento poblacional. La población ha ocupado en muchos casos terrenos cercanos a cursos de agua, afectando el camino natural del agua en su recorrido hacia los ríos. Como un complemento, la infraestructura creada por la red de agua hogareña ha eliminado la utilización del agua subterránea. Incrementando el nivel de las napas especialmente en áreas urbanas.

Finalmente, desde tiempos recónditos la Argentina sufre de inundaciones. Incluso la literatura clásica ha plasmado estos acontecimientos. En el libro de Julio Verne “Les enfants du Capitaine Grant” (Verne, 1865) sus protagonistas casi mueren ahogados al desbordar un río por fuertes lluvias en la Llanura Pampeana.

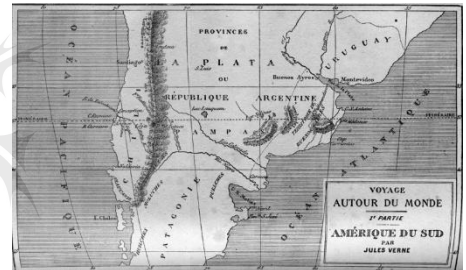


Figura 1. Mapa de Argentina extraído del libro de Julio Verne “Les enfants du Capitaine Grant”

1.1 Futuros Cambios Meteorológicos

De acuerdo al reporte de “Cambio Climático y Agua” (Bryson Bates, 2008), donde se realizan predicciones con un grado medio de confianza, proyectan para Latinoamérica en el año 2100 diferentes aumentos de la temperatura promedio que van desde 1°C hasta 6°C. La mayoría de las proyecciones también indican grandes cambios en las precipitaciones (aumentos o disminuciones) para regiones tropicales. Y cambios más ligeros para regiones subtropicales.

La situación tenderá a empeorar para las poblaciones que viven en regiones con escasa agua potable (capacidad menor a 1.000 m³/capita/año). Dado que la población en estas regiones se espera continúe aumentando entre 79 y 179 millones de personas para el 2050 (NW, 2004)

En este sentido, en el trabajo publicado por un panel intergubernamental sobre el cambio climático (Bryson Bates, 2008) indica que se están aumentando las precipitaciones en áreas húmedas. Y en contraposición, se está aumentando la sequía en climas secos.

1.2 Tecnología de Redes de Sensores Inalámbricos

La tecnología de Redes de Sensores inalámbricos o del inglés, Wireless Sensor Network (WSN) son “sensores espacialmente distribuidos y autónomos para monitorear las condiciones físicas o ambientales, tales como temperatura, sonido, presión, etc. y para cooperativamente pasar sus datos a través de la red a una locación central” (Wikipedia, WSN, s.f.). Las redes modernas también permiten una comunicación bidireccional con los dispositivos, permitiendo el control de los sensores además de la transmisión de datos a un servidor central.

La WSN está construida por “nodos”. Y cada nodo está conectado a uno o a múltiples sensores.

Cada sensor del nodo tiene típicamente las siguientes partes:

- un radio “transceiver” con una antena (interna o externa): un “transceiver” puede transmitir y recibir información a través de transmisión inalámbrica.
- un microcontrolador: un circuito electrónico para tener una interfaz con sensores y una fuente de energía.
- una fuente de energía: puede ser obtenida desde una batería o desde una fuente externa como un panel solar, energía térmica, energía eólica, etc.
- un sensor, que recogerá la información a ser transmitida.

Las principales características de las redes WSN son:

- Nodos con limitantes de la energía que puede ser consumida
- Habilidad para sobrellevar las fallas de los nodos (resiliencia)
- Potencial movilidad de los nodos
- Nodos heterogéneos

- Escalabilidad de la red
- Habilidad para soportar condiciones ambientales duras

Las redes WSN tienen una gran utilización en el Monitoreo Ambiental, o del inglés “Environmental Monitoring” (EM), para la detección y prevención de eventos.

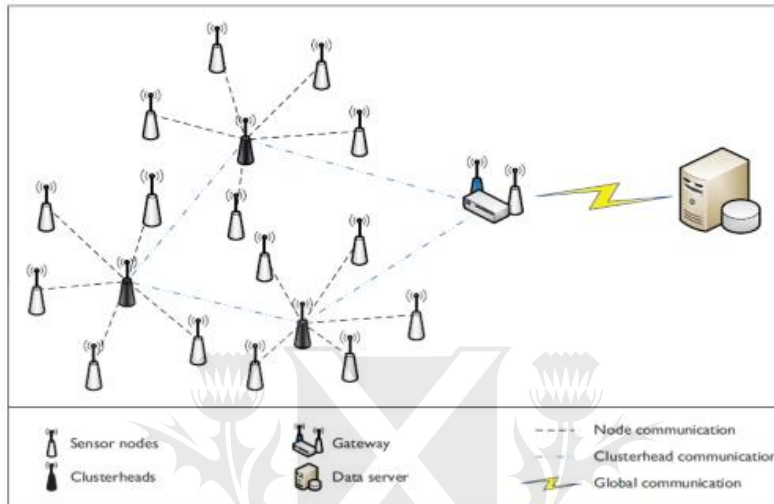


Figura 2. Arquitectura de red típica de aplicaciones de monitoreo ambiental (Indira, Sahoo, & Mallic, 2015)

1.3 Arquitectura de Trabajo con Sensores

Los escasos recursos de procesamiento y de comunicación en una red WSN, hacen que la solución de software a utilizar en el dispositivo sea dependiente de la capacidad física del hardware. Existen también limitantes con respecto a las comunicaciones, como el ruteo de la información que puede ser administrado por el Sistema Operativo utilizado.

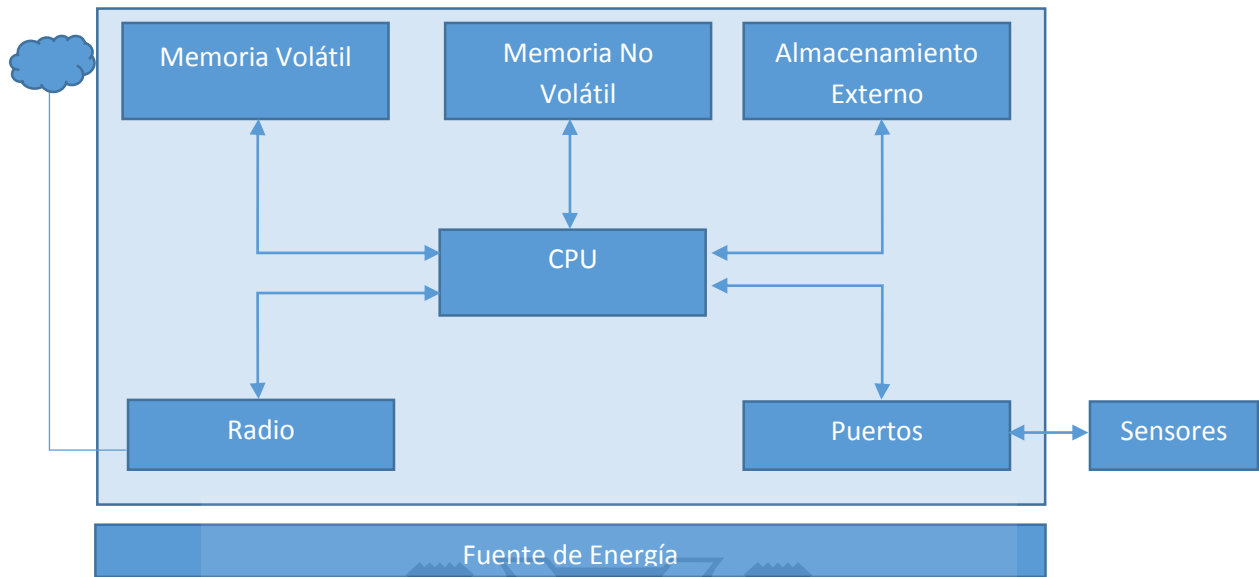


Figura 3. Representación de alto nivel de un nodo hardware de WSN (Picco, 2015)

Los componentes identificados en el gráfico no tienen grandes variaciones entre diferentes marcas y modelos de dispositivos.

La memoria volátil es utilizada para almacenar datos durante la ejecución de los programas. El programa que se ejecuta es almacenado de manera binaria en general en la memoria no volátil. Adicionalmente, los nodos suelen traer una memoria externa (almacenamiento externo) que permite aumentar la capacidad de almacenamiento y su utilización varía según la aplicación. Con respecto al radio, la mayoría de las plataformas pueden conectarse a una red de datos celular. Y también hay soluciones que utilizan comunicación Bluetooth, aunque tienen una limitante de distancia en que pueden transmitir.

1.4 Topología de Comunicación

La comunicación entre nodos de una red WSN puede darse de diferentes maneras. El alcance de la comunicación es el set de nodos que intercambian información para alcanzar un procesamiento de información objetivo.

Existen 3 enfoques emergentes:

- **vecindario físico:** los programadores tienen constructores que permiten el intercambio de información sólo entre nodos que comparten un rango de radio directo.

- **grupos de múltiples saltos:** el intercambio de datos se realiza entre un subgrupo de nodos del total. 2 subcasos pueden identificarse de acuerdo a la conectividad de los nodos del grupo:

- **conectados:** los nodos compartiendo datos pueden estar distantes por múltiples saltos uno de otros. Sin embargo, pueden compartir información a través de al menos 2 nodos interconectados que forman parte de cada uno de sus subgrupos.

- **no conectados:** los nodos compartiendo datos no se comunican vía saltos con otros subgrupos.

- **a lo largo del sistema:** todos los nodos en la WSN están posiblemente envueltos en algún tipo de intercambio de información.

1.5 Modelo de Monitoreo para detección temprana de Inundaciones

Un sistema de monitoreo de detección temprana de inundaciones es un sistema complejo y requiere de superar barreras tecnológicas. Estos sistemas deben mantenerse funcionales durante largos tiempos, aún sin ningún evento ocurrido. Deben cubrir grandes espacios geográficos y soportar múltiples tipos de sensores comunicándose. La predicción del fenómeno meteorológico requiere la realización de un procesamiento extra, lo que exige o bien tener sensores con una mayor capacidad de procesamiento, o bien una mayor transmisión de información sobre la red para su procesamiento remoto.

Investigadores del MIT realizaron una aplicación capaz de detectar tempranamente inundaciones, y realizaron pruebas de campos en Honduras (Basha & Rus, 2007) y luego en un río de Massachusetts.

Los investigadores realizaron una red que soporta y detecta la falla de nodos, utiliza energía reducida y mide una serie de variables a la distancia diseñada especialmente para áreas rurales y regiones en desarrollo.

El modelo desarrollado puede predecir eventos de inundaciones con 24 horas de anticipación. Y fue validado analizando 7 años de información sensorizada proveniente del

Río Blue en Oklahoma. La imagen siguiente muestra cómo se pudo predecir los eventos luego ocurridos con el modelo desarrollado:

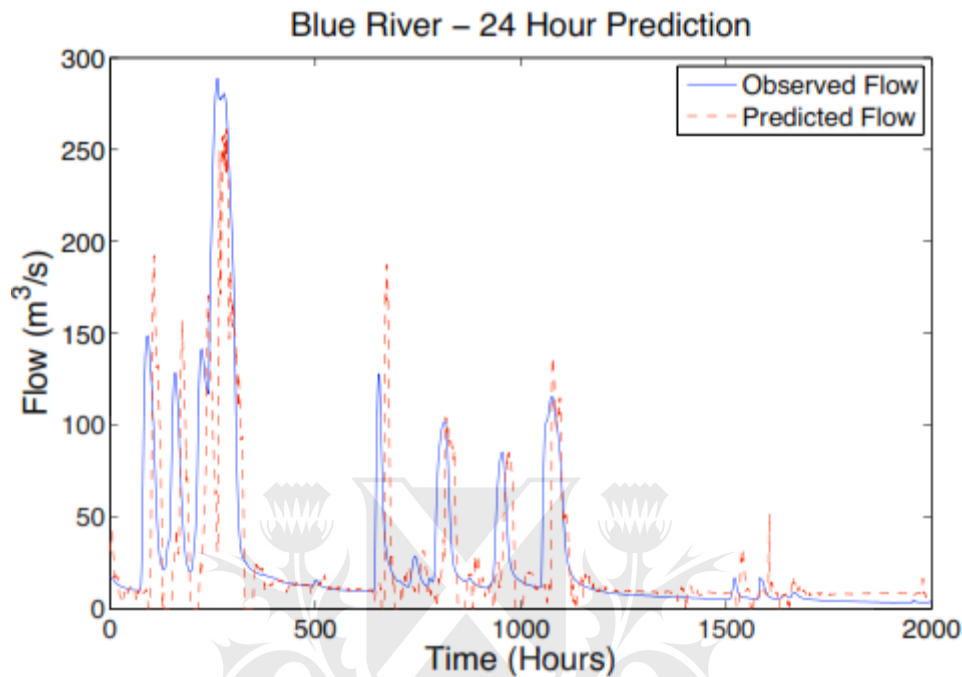


Figura 4. Sistema de predicción del nivel de agua para el Río Blue. Comparativo altura estimada vs real (Basha & Rus, 2007)

2. Teoría utilizada en el presente trabajo

Items a analizar	Dimensiones	Indicadores	Instrumentos	Páginas
Sensores de agua	<ul style="list-style-type: none"> - Últimos avances tecnológicos para sensores de agua - Implementaciones con sensores de agua en Argentina (Ciudad de Buenos Aires, Mercedes, Provincia de Mendoza, Villa Carlos Paz) - Mejores prácticas en implementaciones realizadas en el extranjero (New Orleans, Ámsterdam, Brazil, Holanda, Honduras, Inglaterra, Italia, Mauritania y Tailandia) - Opciones de comunicación disponibles para sensores - Sensores complementarios a los sensores de agua 	<ul style="list-style-type: none"> - Listado de sensores de agua - Listar ciudades en Argentina que poseen sensores de agua implementados - Sensores desplegados por ciudades representativas del exterior - Sensores complementarios a los de agua - Tecnología utilizada para enviar datos desde los sensores a los servidores centrales (redes de comunicación) 	<ul style="list-style-type: none"> - Relevamiento de campo (Ciudad de Buenos Aires, Mercedes, Pcia de Bs As) - Entrevistas sobre experiencias con sensores de agua en 2 ciudades de Argentina. - Investigación en papers sobre experiencias internacionales - Investigación en papers sobre otras experiencias locales. - Entrevista en la empresa BGH, debido a su reciente experiencia implementando sensores de agua en la ciudad de Buenos Aires. 	19 – 47

Items a analizar	Dimensiones	Indicadores	Instrumentos	Páginas
Tableros de control para el monitoreo del flujo de agua	<ul style="list-style-type: none"> - Identificar datos recolectados - Relevar como se trabajan los límites para disparar alarmas - Identificar frecuencia de monitoreo de datos. - Definir frecuencia de envío de la información a ser transmitida desde los sensores hasta los servidores centrales - Costos de implementación - Costos de mantenimiento - Plan de comunicación 	<ul style="list-style-type: none"> - Identificar indicadores claves para el monitoreo del agua - Identificar la frecuencia de comunicación - Recursos necesarios y costos asociados para desarrollar y mantener una solución para el agua - Intentar identificar ahorros a ser generados por un Sistema de alarma temprana ante inundaciones 	<ul style="list-style-type: none"> - Relevamiento de campo en 2 ciudades de Argentina - Investigación en papers sobre experiencias y estándares internacionales 	48 - 75



3. Metodología de Estudio

Mi investigación comenzará estudiando el efecto de eventos meteorológicos extremos en la Argentina. Y dentro de Argentina, en particular en la Provincia de Buenos Aires.

Posteriormente, realizaré entrevistas con implementadores de soluciones de sensores de flujos de agua en ciudades para la Ciudad de Buenos Aires y el Municipio de Mercedes (Provincia de Buenos Aires). Para entender en profundidad sus experiencias con esta clase de dispositivos y en su implementación.

Para complementar las entrevistas, realizaré una visita en el campo para conocer los sensores IoT implementados. El relevamiento se realizará con los siguientes objetivos:

- Identificar cómo fueron implementados los sensores IoT
- La tecnología utilizada
- Describir como los datos generados por los sensores son enviados a un servidor para su procesamiento
- Describir cómo la información está siendo explotada (publicación en una web, reportes y alarmas)

Además, realizaré una investigación sobre material bibliográfico para estudiar que se está haciendo en el resto del mundo para sensorizar flujos de agua y poder anticipar inundaciones. Evaluando la tecnología de los sensores utilizados, las redes de datos elegidas, cómo se procesan los datos y que métodos de alarmas han desarrollado para comunicar sobre los eventos climatológicos extremos.

Finalmente, revisaré experiencias en Europa sobre la utilización de sensores de bajo costo para realizar una solución de monitoreo de aguas “social”. Involucrando la participación ciudadana como eje clave para el desarrollo del monitoreo.

4. Introducción a las inundaciones.

Las inundaciones podrían definirse como una calamidad natural. (Indira, Sahoo, & Mallic, 2015). Las principales causas de una inundación son:

- La condición hidrológica de una fuerte descarga de agua de lluvia y una abundancia de agua.
- La condición meteorológica (generación de tormenta)
- Problema en la planificación de ciudades (drenajes insuficientes, alta sedimentación en ríos, construcción de terraplenes, vertimiento de aguas de inundación)
- La condición geográfica (flujo de agua de ciudades aledañas, flujo de ríos)
- La condición topográfica (relieve del terreno)

En el paper Hughes y su equipo (Hughes, y otros, 2006) describen que el daño realizado por una inundación es correlativo al tiempo de anticipación con que se avisó sobre el acercamiento de

la inundación. Y proponen una solución utilizando sensores distribuidos con capacidad de procesamiento para detectar inundaciones y rápidamente emitir alertas.

5. Perdidas por inundaciones. Información histórica sobre sus efectos en Argentina.

El Centro de estudios Sociales y Ambientales generó un informe en el 2004 relevando los desastres climáticos en Argentina, considerando los períodos 1970- 2002. (Ambientales, 2004)

Para cada evento se generó una ficha con la clasificación del desastre, su ubicación geográfica, las causas, la duración y sus efectos sobre la población, infraestructura, servicios y la producción local.

Cómo no en todos los eventos identificados se contaba con el total de la información necesaria, se generó un “índice de magnitud” para cada evento. A fin de facilitar la comparación y el análisis. La escala del índice va del 0 (impacto nulo) al 30 (impacto máximo). Y es el resultado de la suma de 3 subíndices:

- impacto sobre bienes materiales y servicios
- impacto sobre las personas
- duración

El estudio se enfocó en identificar fenómenos meteorológicos que han generado un impacto negativo en la sociedad. No se han analizado fenómenos ocurridos en parajes alejados donde la población no ha sido impactada.

La base de datos contiene entonces 13.974 registros de eventos ocurridos.

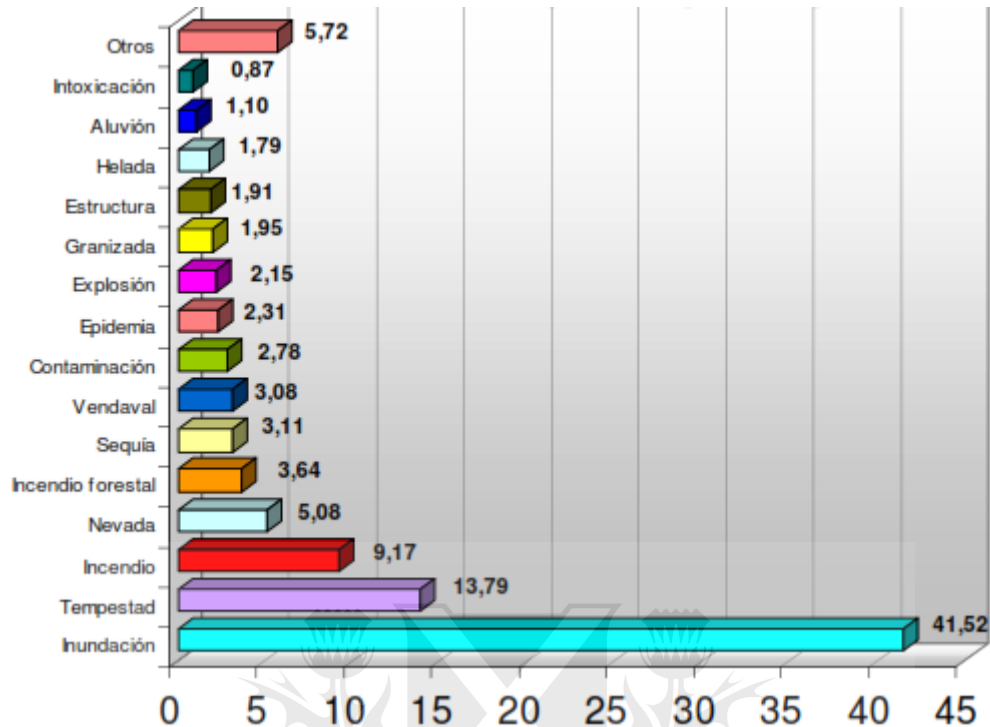


Figura 5. Porcentaje de eventos meteorológicos severos ocurridos en Argentina entre 1970-2002

Otros incluye: sismo, neblina, plaga, escape, accidente, deslizamiento, epizootia, ola de calor, biológico, tormenta eléctrica, erupción, alud, pánico, marejada, litoral, sedimentación y bajantes de los ríos

Se puede concluir rápidamente que las inundaciones y tempestades (vientos con lluvia) son los desastres climatológicos más recurrentes en Argentina. Generando el mayor impacto negativo en términos de efectos sociales y económicos. El inventario de eventos realizados muestra que en 32 años de estudio, en Argentina las inundaciones y tempestades generaron unos 1,7 millones de evacuados (93% de los evacuados reportados en todos los eventos relevados) y destruyeron 28.000 viviendas (60% de destrucción de viviendas de los eventos relevados).

De acuerdo a la nomenclatura CEPAL, los efectos sociales referidos son: muertos, heridos, evacuados, afectados, damnificados, viviendas dañadas y destruidas, efectos sobre la educación y los servicios de salud. De similar manera, los efectos económicos se refieren a: transporte, servicios públicos (energía, comunicaciones, provisión de agua potable), industria, producción agropecuaria.

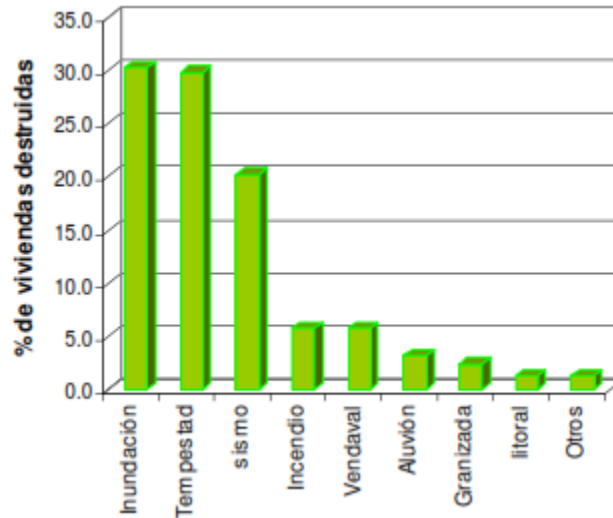


Figura 6. Tipos de desastres que destruyeron viviendas. Argentina entre 1970-2002

Aun considerando que las inundaciones generan pocas víctimas fatales, fue el evento que más muertes ha ocasionado en el período estudiado. 569 decesos, y si se agregan las tempestades, ambas han generado 866 decesos en total.

Eventos	Total Eventos	Inundaciones y Tempestades (%)	Otros tipos de eventos (%)
Evacuados	1.813.784	93.49	6.51
Viviendas destruidas	47.474	60.13	39.87
Viviendas afectadas	88.959	73.09	26.91
Muertos	4.060	21.33	78.67
Heridos / enfermos	145.347	3.09	96.91
Desaparecidos	813	29.89	70.11

Figura 7. Comparativo de pérdidas ocasionadas según evento. Argentina entre 1970-2002

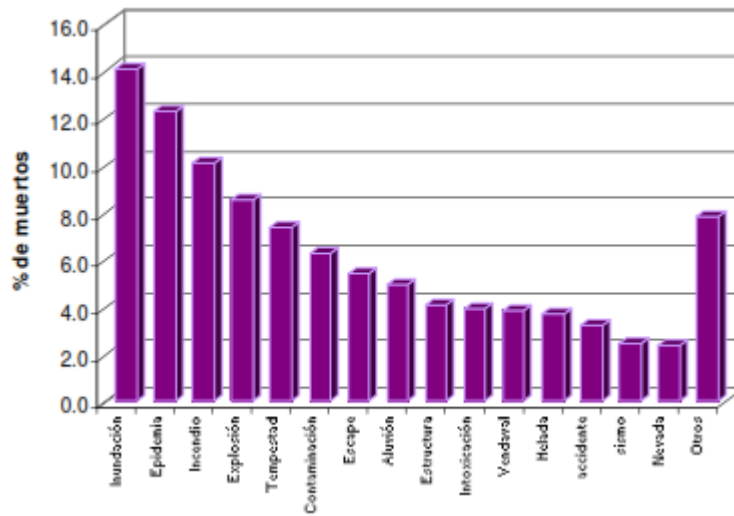


Figura 8. Tipos de desastres que generaron pérdidas de vidas. Argentina entre 1970-2002

Como se describió anteriormente, el Centro de estudios sociales y ambientales generó un índice de magnitud (IM) que se calculó para cada evento meteorológico registrado en el inventario. Se comparó la sumatoria de los IMs relacionado a cada tipo de desastre. Y con esta información se coloca en magnitud los desastres ocasionados sobre bienes materiales, servicios y las personas. Para poder tener un orden de magnitud comparable.

Del total de los registros realizados en Argentina, el 77,5% corresponden a desastres de origen hidrometeorológico (10.797 eventos) y el resto fueron otros tipos de desastre. Al comparar la sumatoria de los IMs de estos tipos de eventos, el 82% representa los desastres de origen hidrometeorológico. Sobresalen las inundaciones con un 53% de los eventos (60% suma de los IMs) seguidos por las tempestades y luego las nevadas. Ver detalles en la siguiente figura.

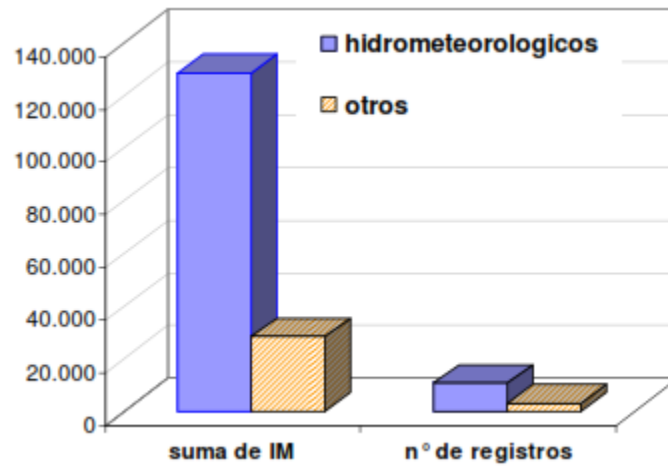


Figura 9. Impacto de los desastres agrupados de acuerdo a su origen. Eventos registrados. Argentina, 1970-2002

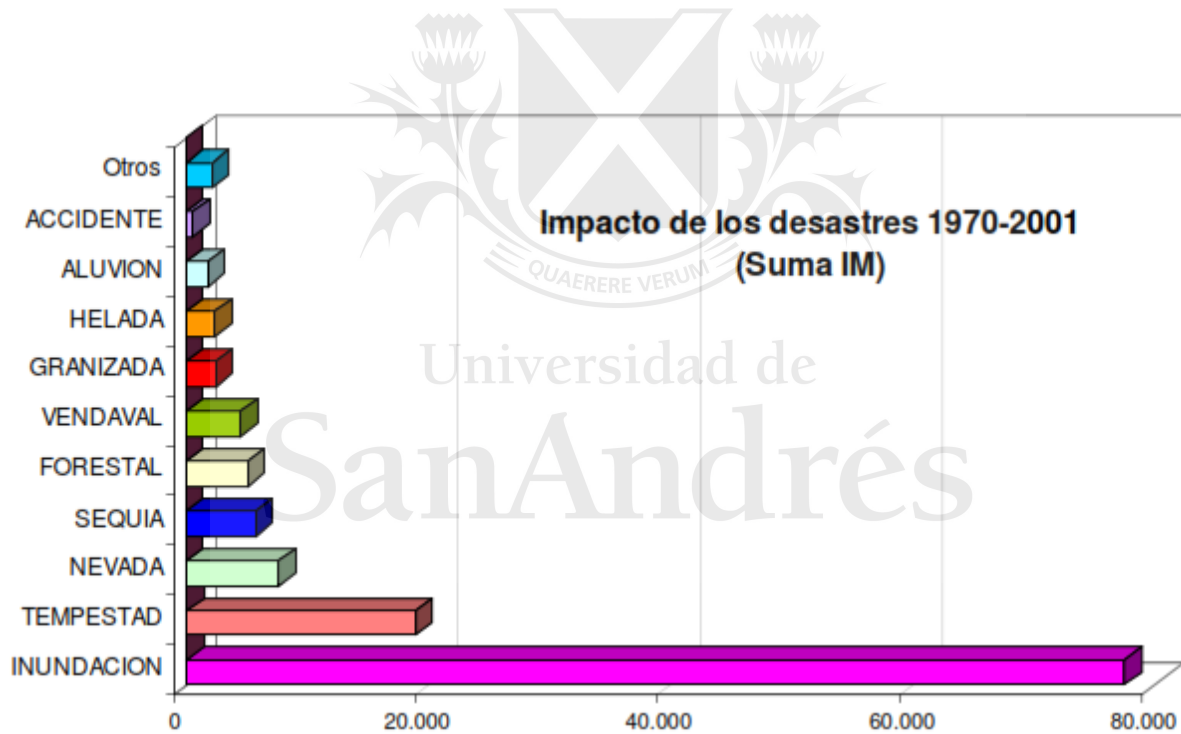


Figura 10. Impacto de los desastres según clasificación. Argentina entre 1970-2002

6. Sensores de agua: desarrollos globales y locales

a. Experiencia de monitoreo del agua en New Orleans

El huracán Katrina ha permitido aprender muchas lecciones. Una de ellas es la confirmación de los sensores remotos como una excelente tecnología de mapeo de relieves. Especialmente en zonas bajas proclives a ser afectadas por eventos meteorológicos extremos (Gesch, 2007).

La tecnología de mapeo de relieves se nutre de un alto nivel de detalle espacial y una gran precisión vertical de elevación de agua, detección de luz y un gran rango de monitoreo remoto.

Los datos geoespaciales son críticos para una respuesta ante huracanes y las actividades de recupero. Los datos topográficos son de gran utilidad. Datos de alta resolución y precisión fueron utilizados extensivamente durante las primeras semanas posteriores al Katrina, para proveer actualizaciones sobre las inundaciones. Y continuaron siendo útiles con el tiempo para realizar estudios de impactos de tormentas.

Lidar es una tecnología de teledetección relativamente nueva. Ha avanzado significativamente con los años y se ha convertido en un estándar utilizado por la industria cartográfica para recolectar datos de precisión sobre el terreno y su elevación. El Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS) ha integrado datos Lidar al Centro de Datos de Elevación Nacional (NED). Y afortunadamente la información de New Orleans fue subida a la base de datos el 1 de Junio del 2005, con lo cual ya se utilizó para una respuesta al Katrina.

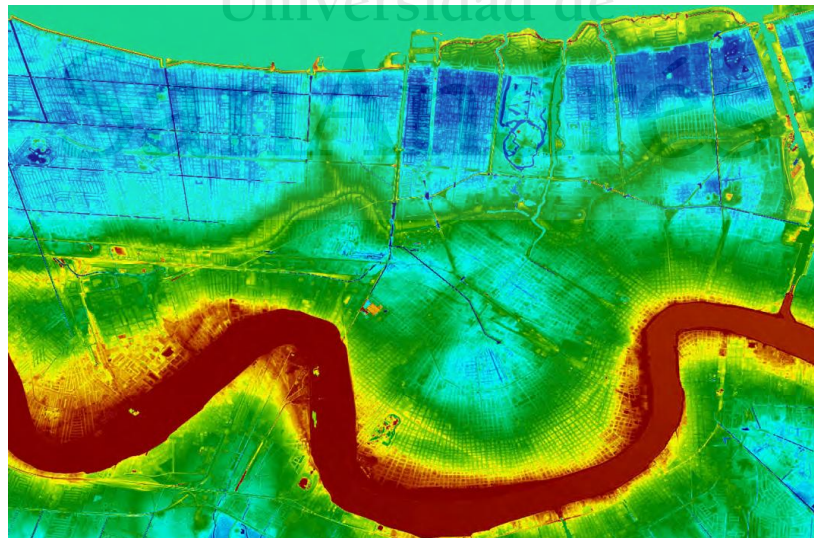


Figura 11. Datos de elevación de alta resolución de New Orleans. Derivados de detección de luz y Lidar en el 2002. Se observa que la tierra en el centro de la ciudad está por debajo del nivel del mar. Y el río Mississippi tiene una elevación natural en sus márgenes que actúa como barrera natural.

Datos de elevación

La información Lidar fue recolectada para el sudeste de Louisiana en el 2002. La resolución original Lidar de datos de elevación (5 metros de precisión) fue procesada en el set de datos nacional USGSNED disminuyendo la resolución a 10 metros de precisión. Esta información y mucha otra es consolidada y pública a través de la página de USGS (Science for a Changing World) y su Mapa Nacional (The National Map, 2015)

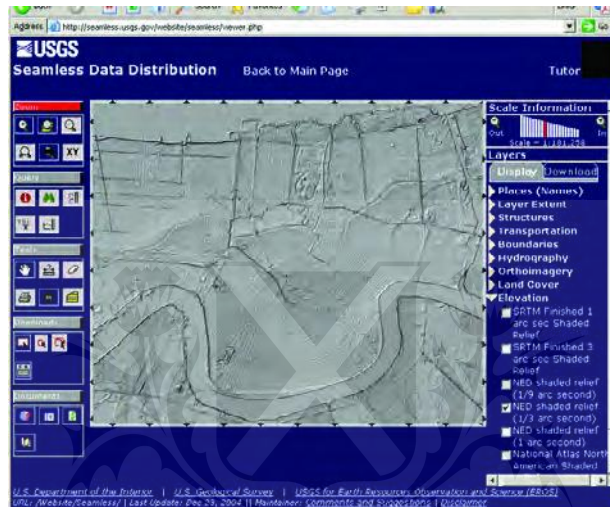


Figura 12. Información de datos de elevación de New Orleans vistas desde la Base de Datos Nacional de Elevación. Datos libres vía web que pueden ser bajados o simplemente ser vistos.

Estimación de áreas inundadas y volumen de agua

En los días que siguieron a las fugas de aguas en los diques en New Orleans, hubo una demanda de productos cartográficos para analizar la extensión y magnitud de las inundaciones de agua en la ciudad. La información provista derivada de los datos de elevación Lidar fue muy útil para conocer como afecto la inundación a la ciudad. El 2 de Septiembre del 2005 aún no se contaba con una imagen aérea del área inundada, con lo cual se utilizó un enfoque topográfico. Medidores de agua temporales fueron instalados en la ciudad pero aún no estaban operativos, así que la elevación del agua en la zona inundada fue derivada por unos sensores de medición del agua instalados previamente en el Lago Pontchartrain. La suposición utilizada para considerar las mediciones de agua del Lago Pontchartrain fue que la altura del agua en la ciudad y el lago se igualó en la tarde del 2 de Septiembre. Las comparaciones realizadas a posteriori con imágenes satelitales mostraron que fue una consideración razonable.

Los datos derivados de Lidar fueron también utilizados para calcular aproximaciones del volumen del agua de la inundación. Esta información fue requerida por el grupo de Ingenieros de la Armada de USA. Y esta información fue necesaria para estimar el tiempo necesario para eliminar el agua de la ciudad. En la imagen de observa el volumen estimado de agua y área afectada por las inundaciones. La profundidad del

agua fue derivada del sensor del Lago Pontchartrain. Esta información fue vital para una rápida asistencia y planificación de los lugares afectados.

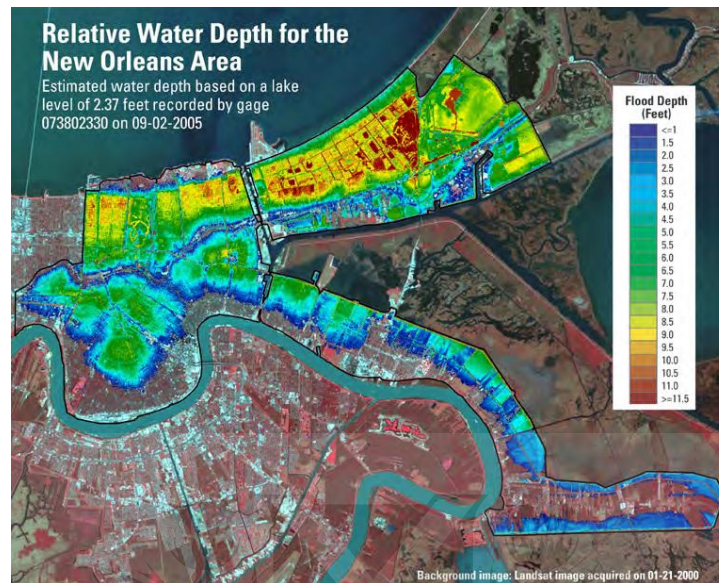


Figura 13. Datos relativos de profundidad del agua en las inundaciones de New Orleans al 2 de Septiembre del 2005. Basados en información lidar y el nivel del agua del sensor del lago Pontchartrain.

A futuro, al combinar la precisión de datos de relieve desde Lidar con información precisa sobre el nivel del agua y delineación de inundaciones derivadas de sensores IoT de monitoreo, una completa historia de inundaciones y remoción de agua podrá ser generada para su posterior análisis y reutilización.

Se han podido hacer trabajos para estimar el área de inundación en millas respecto a la altura del agua de inundación. Como se puede observar en la siguiente imagen:

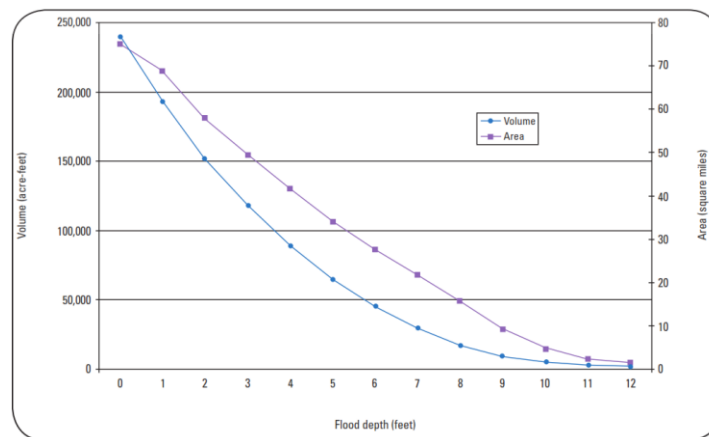


Figura 14. El gráfico muestra la contribución de la elevación del agua en generar una mayor área inundada y el volumen de agua a ser retirado.

El entender los efectos de las inundaciones con el paso del tiempo será también útil para planificar reconstrucciones y la infraestructura paliativa ante eventos naturales extremos. Permitirá también construir escenarios y permitir modelar escenarios.

En complemento, el reporte de Jodie Smith y James Rowland (Rowland, 2006) también analizando la utilización de imágenes satelitales en conjunto con información del terreno, permitió realizar un análisis más profundo de las imágenes satelitales de New Orleans. El cuerpo de la marina de USA separó a la ciudad de New Orleans en 4 sectores. Los diferentes colores infieren la profundidad del agua en los diferentes territorios. Y cada sector tuvo asignadas bombas para desagotar el agua del terreno hacia el mar. Así mismo, se infirió una desviación estándar para cada color representando una profundidad.

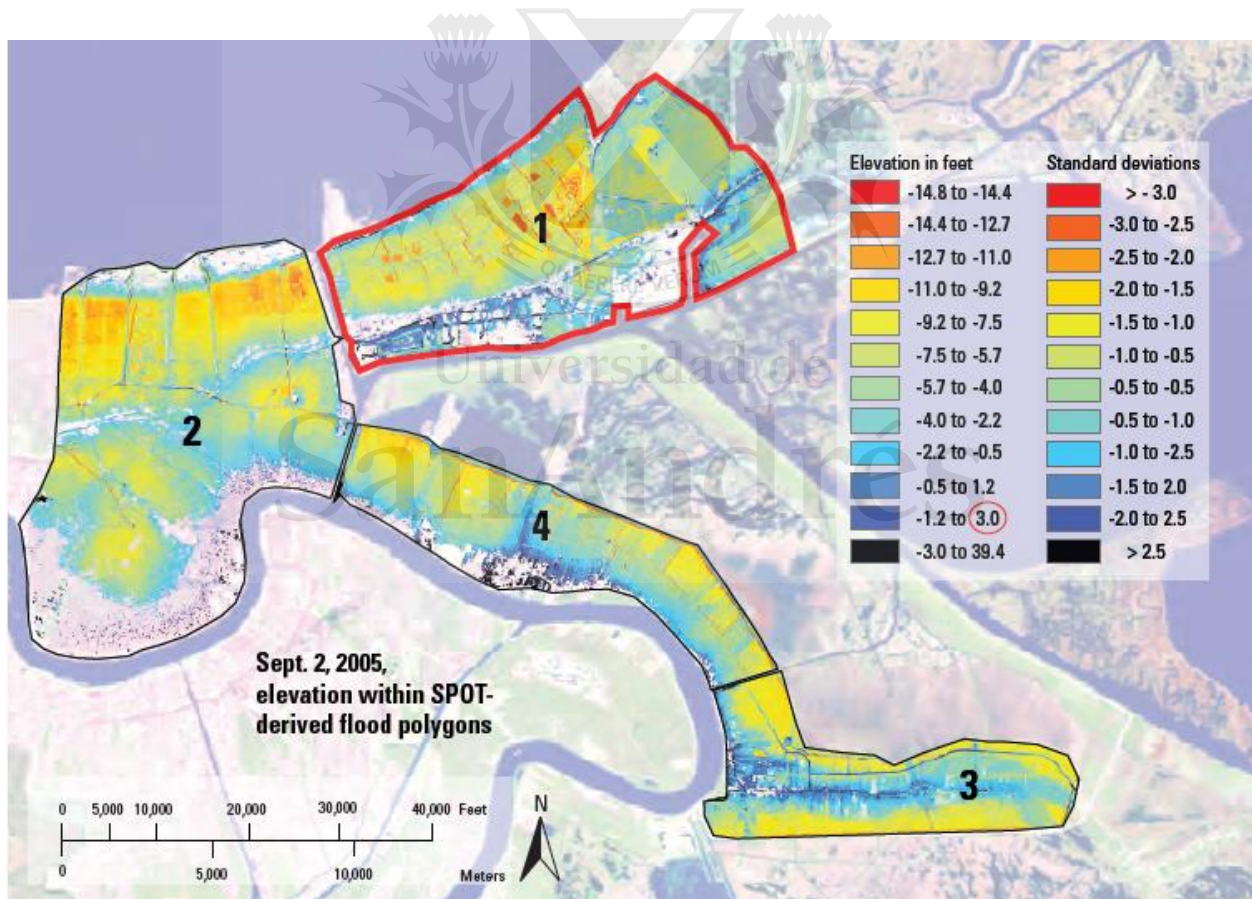


Figura 15. Elevación del terreno y del agua, derivada por imágenes satelitales agrupando profundidades a través de miles de imágenes geométricas generadas por computadora.

Del mapa generado de figuras geométricas, se calculó el volumen aproximado de agua extraída en galones para cada uno de los 4 sectores definidos.

[PC, pumping cell]

	Aug. 30	Sept. 2	Sept. 7	Sept. 15
PC 1	26,733,419,000	43,318,140,000	41,127,626,000	16,630,714,000
PC 2	44,932,760,000	52,012,307,000	32,184,081,000	20,646,631,000
PC 3	0	13,361,664,000	10,266,968,000	11,584,261,000
PC 4	13,364,200,000	22,073,107,000	15,351,355,000	7,325,834,000
Total	85,030,379,000	130,765,218,000	98,930,030,000	56,187,440,000

Figura 16. Volumen aproximado de agua (galones) extraído por cada bomba de agua en los 4 sectores.

Finalmente, un país pionero en utilizar las imágenes satelitales para el monitoreo del nivel del agua ha sido Holanda (también conocido como Países Bajos). Holanda ha estado utilizando información provista por satélites para su monitoreo de los flujos de Agua. Tal como se ha presentado en el paper de Stokkom y Stokman publicado en el año 1989 (Stokman, 1990).

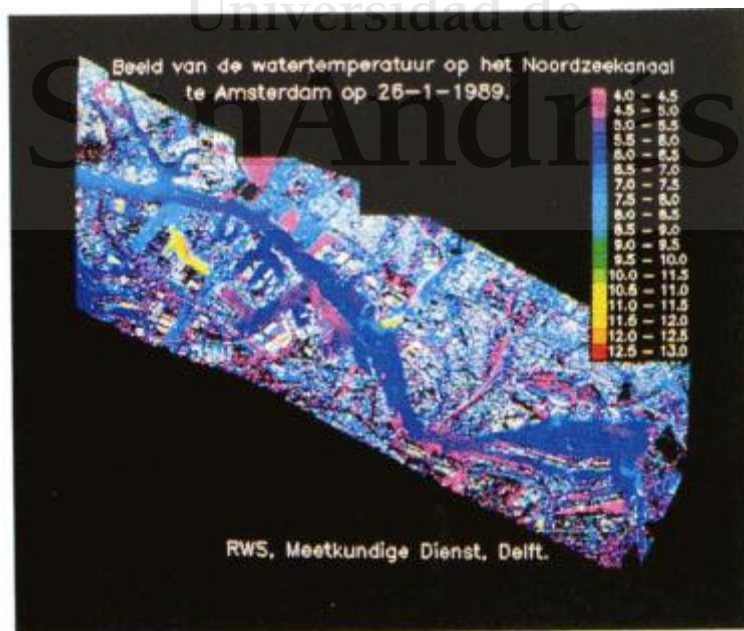


Figura 17. Imagen termal del agua de la ciudad de Amsterdam tomada por satélite. Adquirida el 26 de enero de 1989.

b. Experiencia de detección de inundaciones en Honduras

Este trabajo se ha presentado en el paper publicado por los autores Elizabeth Basha y Daniela Rus, ambas miembros de la IEEE (Basha & Rus, 2007)

El trabajo comenzó en Enero del 2004 durante un viaje a Honduras. Las autoras visitaron la ONG llamada Centro Técnico San Alonso Rodríguez (CTSAR). Esta ONG tiene por objetivo el ayudar a comunidades rurales, especialmente sobre agricultura, otorgando asistencia técnica y soluciones a problemas concretos. La ONG realiza una gran colaboración con el gobierno de Honduras, dado que el gobierno tiene una presencia limitada en el noreste del país.

Luego del paso del huracán Mitch en 1998, la CTSAR reconoció la importancia de poder contar con un sistema de detección temprana de inundaciones del río Aguán. Las investigadoras se unieron al inicio del proyecto para proveer la orientación tecnológica para implementar el proyecto. Y la ONG trabajaría con las comunidades para desarrollar e implementar la solución.

El río Aguán tiene 10.000 km² de extensión. Se sitúa entre dos cordones montañosos y desemboca en el océano. El río es vital para comunidades que viven de la pesca. Especialmente para 25 comunidades descendientes de esclavos africanos, que viven bajo la pobreza y no poseen recursos para relocalizarse a otros parajes más seguros. El paso del huracán Mitch destruyó estas comunidades, pero lamentablemente la reconstrucción se produjo en las mismas locaciones con lo cual el peligro de inundación sigue latente.

Huracanes posteriores (Beta, Gamma y Stan) siguieron afectando las comunidades en el año 2005.



Figura 18. Efectos del Huracán Mitch en 1998, Honduras.



Figura 19. Efectos de Huracanes Beta, Gamma y Stan en 2005, Honduras.

El alcance del proyecto realizado se resume en:

- Monitoreo de eventos meteorológicos sobre una vasta región geográfica de aproximadamente 10.000 km²
- Medir una serie de variables que contribuyen a detectar la ocurrencia del evento.
- Poder tener una solución que pueda resistir el paso de los años (alta duración)
- Recuperación ante caída de nodos.
- Detección y predicción de inundaciones de ríos.

- Sistema de energía que dure años.
- Minimizar los costos.

Implementación de la solución

- Para instalar sensores de bajo costo y con un gran rango de comunicaciones, se decidió implementar 2 tecnologías.
 - Sensor cuyo modem transmite en la frecuencia de 144MHz, cubriendo un rango de 25 kilómetros
 - Sensor cuyo modem transmite en la frecuencia de 900MHz, cubriendo un rango de 9 kilómetros
 - Los radios de 144Mhz requerían una torre de antena de 5 metros en el transmisor. Y luego se instaló una antena de 10 metros en las oficinas donde se procesaría la información (CTSAR)



Universidad de
SanAndrés



Figura 20. Antena de transmisión de información de sensores en altura. Protegida contra el vandalismo. Honduras.

- En las oficinas de CTSAR, también se destinó una laptop para procesar y almacenar la información enviada por los sensores.
- Se instalaron paneles solares y baterías como fuente de poder para los sensores.
- Luego de probar con 5 prototipos diferentes, se decidió instalar sensores de presión de agua como método para obtener el nivel de los ríos. Fueron descartados sensores de nivel de agua por resistencia debido a la corrosión que se generó en los dispositivos. Y los sensores ultrasónicos fueron descartados porque se afectaba con los altos vientos.
- Se concluyó que los sensores deben estar instalados en una estructura fija y no apoyados en un piso que pueda hundirse. Para facilitar el mantenimiento de los sensores.
- Cuando fue necesario, se instalaron sensores en el medio de un río soportados sobre una rueda de moto amarrado por hilos de acero y enganchados con cemento.

Diagrama de los sensores implementados

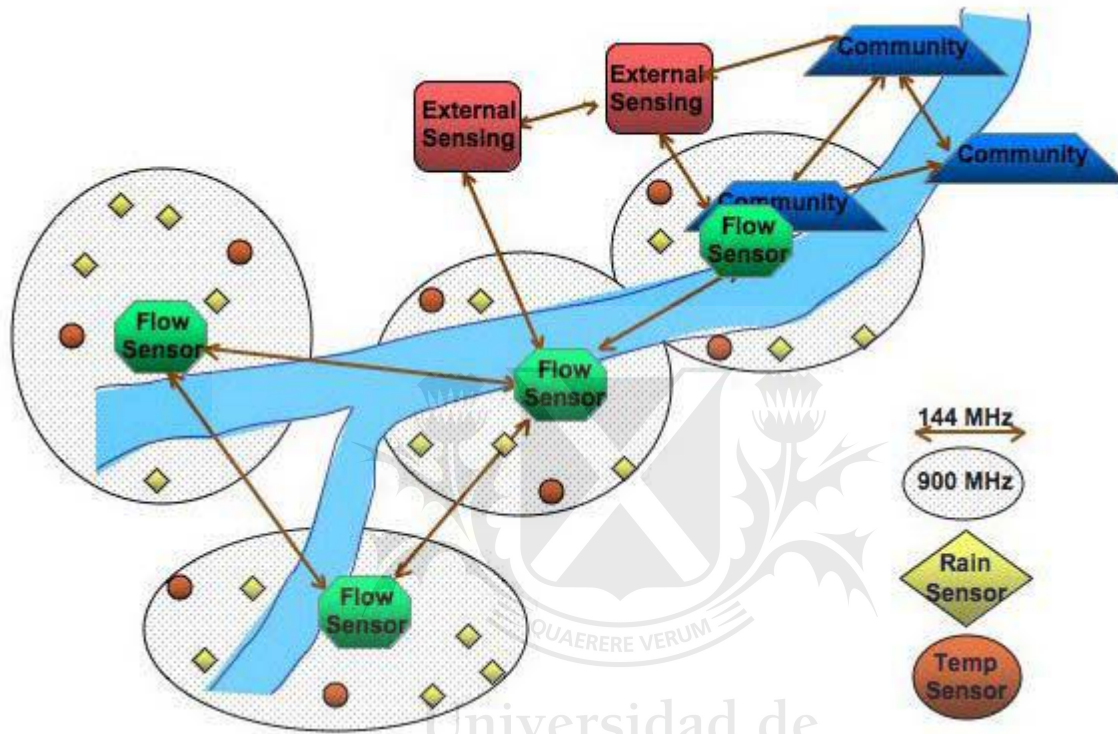


Figura 21. Diagrama de sensores desplegados en Honduras. Comunicaciones realizadas con sensores de 900 Mhz. Y envío de datos a través de Modems en 144Mhz.

Resultados obtenidos

- Los experimentos confirmaron la factibilidad de implementar una red de sensores para su utilización en países en desarrollo. Para proveer alertas tempranas ante desastres naturales. Permitiendo la implementación de una solución escalable
- La infraestructura necesaria para la solución pudo ser conseguida localmente. Permitiendo la implementación de antenas y la provisión de energía.
- Asociación con una entidad local, que reconozca la problemática de las inundaciones y este en búsqueda de ayuda es clave para el éxito del proyecto. También permitió el financiamiento para el despliegue inicial de los sensores.
- Seguridad: muchos problemas de seguridad fueron experimentados a lo largo del proyecto. Los primeros prototipos de sensores fueron robados. Si bien los sensores estaban dentro del río, los cables y dispositivos electrónicos estaban situados en puentes algunas veces. Y los cables eran robados

también. Así mismo, los dispositivos eran vandalizados, generando perforaciones que hacían entre el agua de lluvia y se arruinan las baterías y los módems de transmisión de datos.

- Fue por esto que se intentó instalar el equipamiento de antenas cerca de casas de personas que querían colaborar con el proyecto. Para que sean cuidados. Y también los sensores fueron camuflados, especialmente los ubicados en zonas rurales con poca vigilancia.



Figura 22. Sensor de lluvia camuflado.

- Redundancia: El sistema de alerta temprana necesita redundancia. Especialmente dado que notificará a la población de un desastre natural aproximándose. Cada elemento clave necesita entonces redundancia: sensores, canales de comunicación, almacenamiento de datos, baterías, unidades de procesamiento (CPUs)
- Se debe definir en conjunto con las comunidades y autoridades locales el plan de evacuación en caso de que se detecte tempranamente un evento de inundación.
- Conocimiento de la comunidad: Al no poder contar con información histórica de lectura de los sensores, que permita construir un algoritmo de detención temprana de inundaciones, se recurrió a la memoria de los pobladores. Consultando los niveles de agua que recuerdan en eventos de inundaciones pasados. Y revisando marcas de agua en las construcciones.
- Intensidad de las pruebas de los sensores y el sistema completo. Como se realizó la experiencia en Honduras con sensores diseñados en Estados Unidos, las pruebas de campo se realizaban espaciadamente. Y demoraban mucho tiempo en ser corregidas dado que las reparaciones se realizaban por ingenieros en Estados Unidos. Con el fin de reducir las demoras, la estructura de los sensores se reprodujo en un río en Estados Unidos, y se pudo realizar una prueba integral en Estados

Unidos para validar que todo funcionara como era esperado y realizar los ajustes pertinentes cuando fuera necesario.

c. Experiencia de detección de inundaciones en Tailandia

En el paper de los investigadores tailandeses Sunkpho y Ootamakarn (Ootamakorn, 2011), se comparte la experiencia del monitoreo en tiempo real en la Provincia de Nakhon Si Tammarat, al sur de Tailandia. Se han realizados mediciones del nivel del agua, su flujo y nivel de precipitaciones.

El sistema consiste de 3 principales componentes: una red de sensores (sensor network), unidad de procesamiento y transmisión, y servidor de aplicaciones y base de datos.

Con respecto a la red de sensores, se han utilizado el siguiente equipamiento para el registro de los datos del estado de la cuenca:

- Dispositivo ultrasonico Doppler modelo STARFLOW (Unidata, 2016), cuenta con 128K para registro de datos. Registra la altura del flujo de agua. Fabricado por UNIDATA en 2007, Australia.



Figura 23. Sensor STARFLOW y su vista instalado.

- Sensor de precipitación Fischer para medir la cantidad y la intensidad de la lluvia. Fabricado por MetoClima en 2007.



Figura 24. Sensor de precipitación y su vista instalado.

El sensor STARFLOW se instala debajo del agua. Pero no en el fondo del flujo hídrico para evitar que sea tapado por sedimentos. Permite medir la velocidad del flujo de agua a través de un transductor. Con respecto a la altura del agua, el dispositivo STARFLOW utiliza un sensor de presión de agua que posee un rango de 0 a 5 metros, con una error de precisión del 0.25%. El equipo funciona con una fuente de energía de 12 volts.

El sensor STARFLOW tiene una manera adicional de medir la velocidad del flujo de agua. Utiliza el efecto DOPPLER para medir la velocidad gracias al rebote de ondas sonoras reflejadas por partículas dispersas en el agua en movimiento. El rango de medición va desde los 21mm/s hasta los 4500mm/s, con un error de precisión del 2%.

Los investigadores detectaron que el dispositivo es muy sensible a las fluctuaciones de la velocidad del agua. Con lo cual, para evitar múltiples variaciones, concluyeron que lo mejor era reportar un promedio de la velocidad del agua a fin de atenuar las grandes fluctuaciones.

Cuando los sensores recolectan datos del flujo de agua, se transmite a la unidad de procesamiento y transmisión (GDU) vía el puerto RS-232 y la interfaz de datos serie vía comunicación de 1200 baudios (SUI-12). Luego, a través de la red GPRS, se transmiten los datos al centro de control.

Todo el equipamiento de sensorización se encuentra protegido en un gabinete metálico. Adicionalmente, los investigadores han instalado 2 ventiladores dentro del gabinete para evitar problemas de sobrecalentamiento de los dispositivos. La unidad GDU detecta si los ventiladores dejan de funcionar, en dicho caso envía automáticamente un SMS a los administradores del sistema para un mantenimiento.

Adicionalmente, la GDU detecta si se abre la puerta del gabinete y realiza la alerta inmediata correspondiente.

Los investigadores también han detectado que una falla en el suministro eléctrico puede provocar un mal funcionamiento o un daño a los equipos. Es por esto que han instalado una UPS y un estabilizador de tensión con una autonomía de al menos 24 horas sin suministro eléctrico.

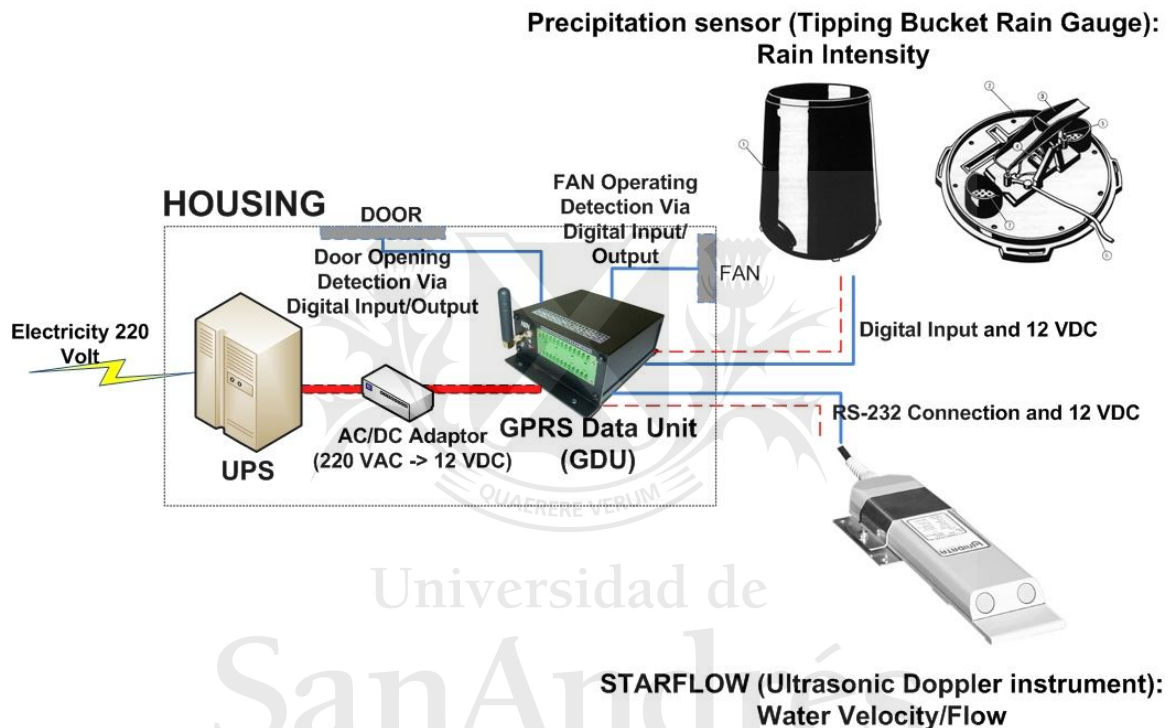


Figura 25. Diagrama de implementación de una estación de sensores inalámbricos.

Cada GDU puede ser actualizada vía el modem GPRS de manera remota. Con lo cual, la actualización del firmware de los sensores puede realizarse desde una PC conectada a la red de monitoreo.



Figura 26. Foto del Gabinete instalado.

El fabricante del GDU dispone una librería (APIs) que permite realizar programación y utilizar servicios preexistentes. El Centro de Monitoreo utiliza estas librerías para conectarse al GDU. Debajo se muestra como se realiza la comunicación de cada unidad de sensores hasta el Centro de Control. A grandes rasgos, cada gabinete tiene asignado un puerto que es escuchado desde el servidor instalado en el Centro de Control.

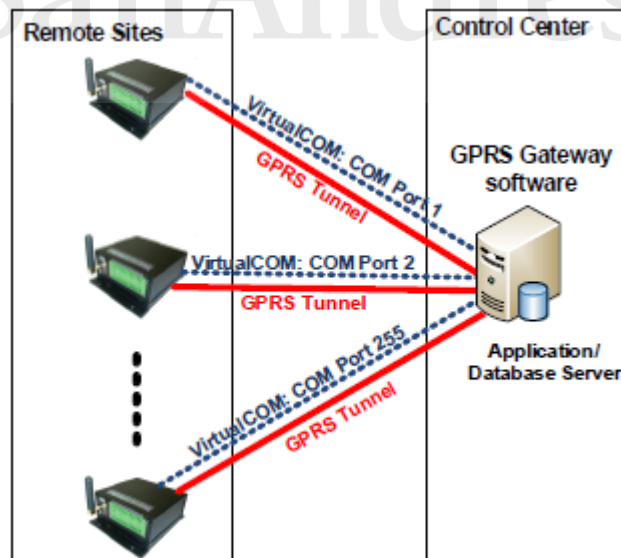


Figura 27. Estructura de comunicación entre cada Gabinete y el Centro de Control.

En el Centro de Control, el servidor de aplicaciones procesa las lecturas de los sensores cada 10 minutos. Y la información es procesada y publicada a través de una página web y vía el protocolo WAP para celulares.

Por otro lado, los investigadores han confeccionado un módulo de predicción de las condiciones de los ríos en 24 horas. Utilizando los datos recabados y un modelo de redes neuronales, los investigadores disparan alarmas vía SMS, Fax y mail en caso de detectar un evento meteorológico severo acercándose. De todas maneras, este módulo de predicción está aún en desarrollo y será el objeto de una investigación futura.

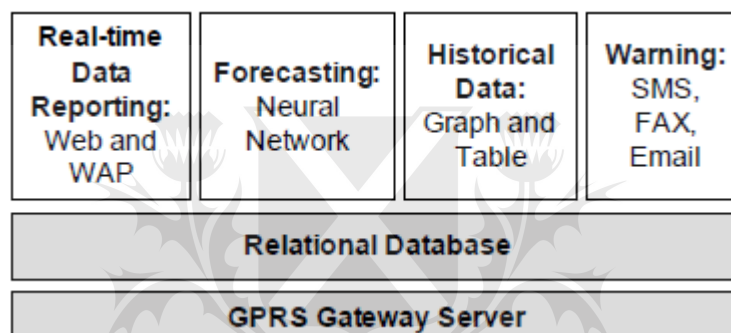


Figura 28. Arquitectura del sistema de procesamiento de datos.

El Sistema utilizado en el Centro de Monitoreo procesa la información de los sensores y grafica el estado de los flujos de agua de manera visual. Debajo se muestra las condiciones sensorizadas por 1 Gabinete:

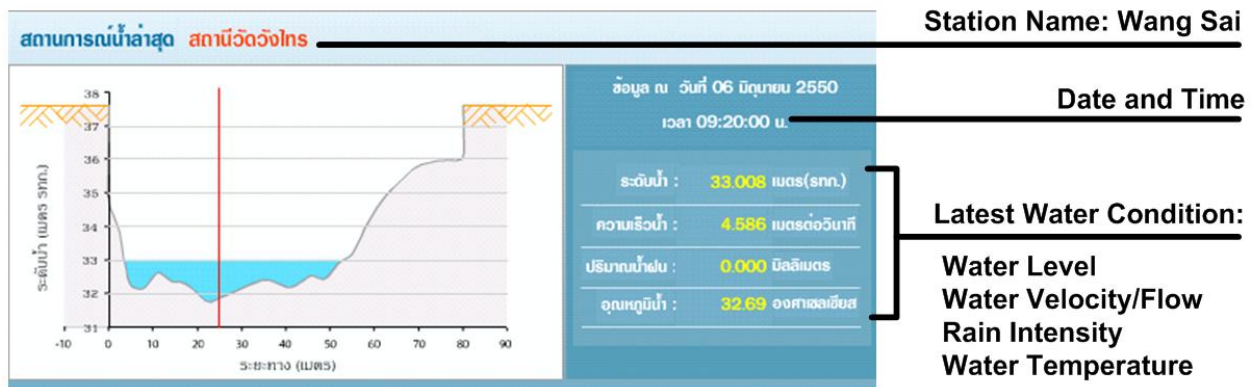


Figura 29. Últimas condiciones relevadas en la estación “Wang Sai”

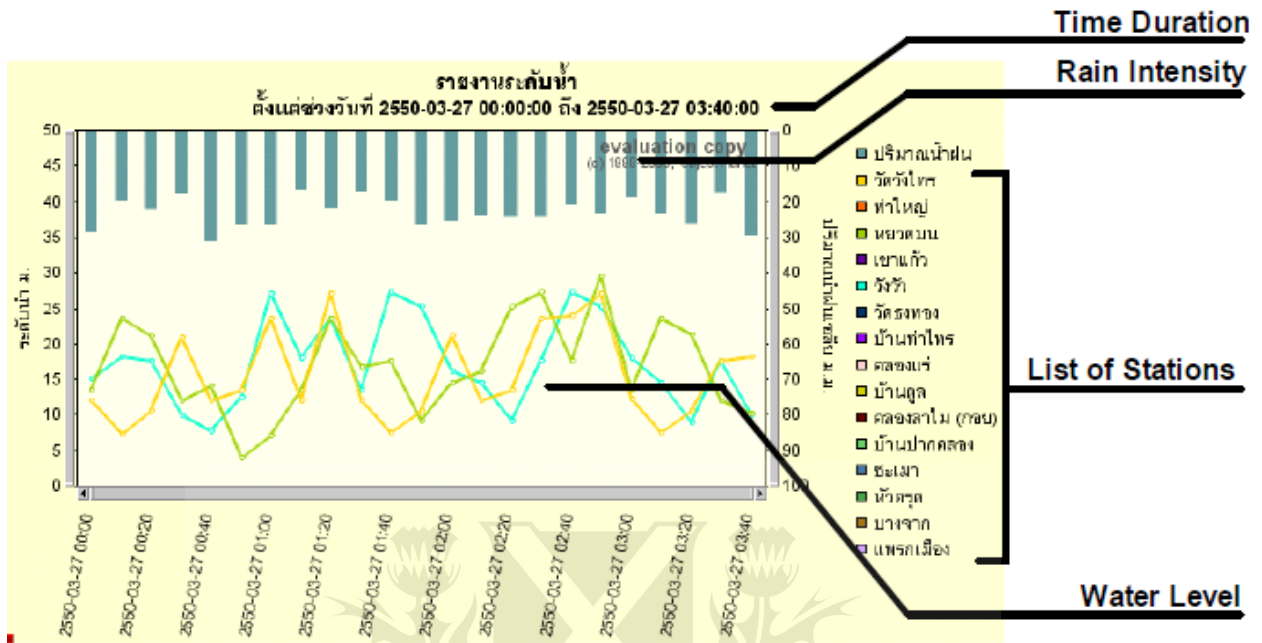


Figura 30. Gráfico de datos históricos de las condiciones relevadas



Figura 31. Información disponible vía WAP para celulares.

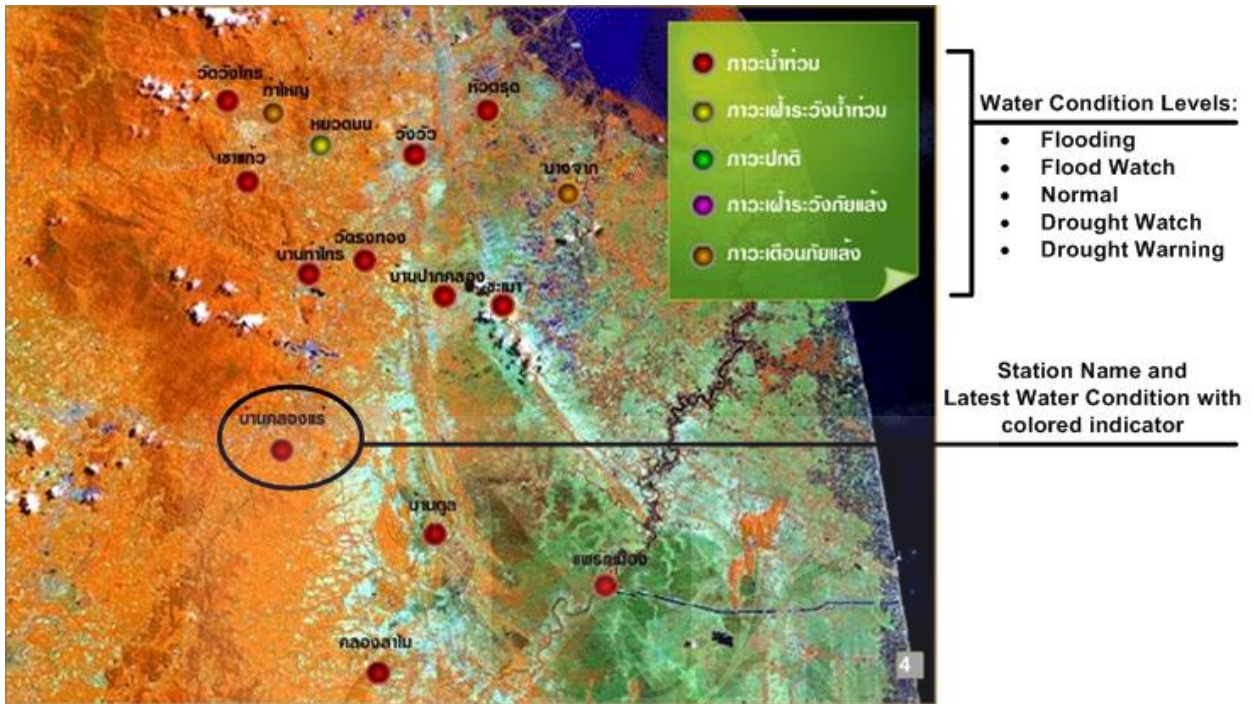


Figura 32. Vista Satelital del área estudiada (Nakhon Si Thammarat) y la ubicación de los 15 gabinetes con sensores.

d. Experiencia de detección de inundaciones en Mauritania

En el paper del investigador Khedo, de la Universidad de Mauricio (KHEDO, 2014) se muestra el resultado de la investigación sobre el Monitoreo de flujos de agua. Una vez más, el objetivo es anticipar las inundaciones para poder actuar en consecuencia sobre la población que será afectada.

La isla de Mauricio, de acuerdo al Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible local (Development, 2011), ha experimentado una reducción en los días de lluvia al año. Sin embargo, al mismo tiempo las grandes tormentas acompañadas con inundaciones repentinas se han incrementado.

Para dar un contexto, la investigación en Mauricio fue disparada luego de un evento extremo ocurrido el 26 de Marzo del 2008. Allá por los años 2007-2008, una gran sequía afectó la isla, y luego dio lugar a una gran tormenta anegando una gran extensión del norte y este de la isla. Las lamentables consecuencias fueron las pérdidas de vidas de 4 personas, 22 vehículos destruidos por las inundaciones y aproximadamente 2000 rescates de personas afectadas.



Figura 33. Región Mont Goût al Norte de Mauritania. Cauce de agua desbordado.

Posteriormente, el 30 de marzo del 2013 otro evento meteorológico extremo se cobró 11 vidas. Cuando cayeron 152 milímetros de agua en menos de 1 hora. El evento afectó severamente la región de Port Loius, como se muestra en las fotos. Ríos de barro y escombros acabaron con gran cantidad de viviendas.



Figura 34. Zona de Port Louis en Mauricio afectada por las inundaciones. Personas dejan los autos y caminan en busca de refugio.



Figura 35. Inundaciones frente a flujos del agua en Marzo del 2013.



Figura 36. Autos apilados por las corrientes de agua. Marzo del 2013.

Actualmente no hay un sistema automatizado de monitoreo del agua para detectar inundaciones en Mauritania. El organismo local “Comité de Ciclones y Otros Desastres Naturales” utiliza una regla básica. La regla consiste a grandes rasgos en lanzar un alerta si caen más de 100 mm de agua en las últimas 12 horas (DECISIONS, 2008).

Volviendo a la solución propuesta para Mauricio, el autor propone establecer una red que soporte la exposición de sus nodos a la intemperie. Que también soporte fallas y pueda ser utilizada durante largos tiempos con un mínimo consumo de energía. Así mismo, los nodos deberán soportar una comunicación que cubra grandes distancias, incluso aun cuando un evento meteorológico de gran envergadura estuviera sucediendo.

A tal efecto, se proponen los siguientes componentes tecnológicos

- 1- Plataforma de Hardware: Puede consistir en alguno de estos 2 modelos de dispositivos. Dispositivos MicaZ (System, 2016) o bien dispositivos SunSPOT (Oracle, 2016). Para cualquiera de los casos, los dispositivos deberán estar equipados con sensores de altura de agua, velocidad de caudal y sensor de lluvia. Desafortunadamente, he validado que el dispositivo que sugiere el autor “SunSPOT” se ha discontinuado. Con lo cual la única opción vigente es la utilización del Dispositivo MicaZ.



Figura 37. Dispositivo MicaZ 2.4Ghz



Figura 38. SunSPOT Java Development Kit (discontinuado).

- 2- Gateway: El nodo Gateway funcionará como un puente entre la red de sensores y la red de acceso de datos. Permitirá el intercambio de información entre sensores y luego hacia la red de datos.
- 3- Oficina Central de Monitoreo: Esta oficina alojará el servidor de aplicaciones y de base de datos. Permitirá a los usuarios observar datos sobre los niveles de agua en tiempo real. Y también permitirá acceder a información histórica.

Para el ejercicio del equipo de investigación, se utilizó como flujo de agua objetivo el “Rivière du Rempart” en el Noreste de Mauricio. En la página siguiente se muestra en el mapa cómo han sido desplegados los elementos de hardware sobre el río objetivo.

Para mayor detalle del dispositivo **MicaZ**, el único actualmente disponible en el mercado de las 2 alternativas planteadas por el equipo de investigación, favor de encontrar las especificaciones técnicas debajo:

- Memoria Flash de 128KB
- Compatible con el estándar IEEE 802.15.4/ZigBee
- Radio transceiver Wireless RF (250kbps de velocidad de transferencia, 100 metros de alcance máximo)
- Alimentación: 2 baterías AA.
- Sensores conectados de temperatura, luz entre otros. Se conectan vía un conector de 51 pines. El conector soporta entradas analógicas, Digitales I/O, I2C, SPI e interfaces UART. A mayor cantidad de interfaces compatibles, mayor cantidad de sensores de terceros que pueden ser utilizados.
- Seguridad de hardware AES-128.
- El dispositivo corre un Sistema Operativo TinyOS. Este SO está desarrollado para utilizarse con sensores en red.

Para el ejercicio se utilizaron 3 sensores: altura de agua, agua caída y sensores de flujo de agua.

El sensor de altura de agua utiliza un sensor de nivel hidrostático. Este sensor funciona midiendo la presión creada por un líquido. Y, a través de componentes de software, este sensor disparará un alerta cuando el nivel del agua se acerque al nivel de desborde del río.

El sensor de agua caída realizará mediciones utilizando un switch magnético. Generando una interrupción cada 1mm de agua caída.

Por último, el sensor de flujo de agua será sumergible. El sensor se sella para poder soportar que este sumergido durante largos períodos de tiempo.

Así mismo, para el ejercicio se han utilizado 14 sensores MicaZ y 8 sensores SunSPOT. Los mismos fueron desplegados a lo largo de 2 kilómetros del flujo de agua. Los sensores se agruparon en 3 clusters, para poder disponer de agrupación de sensores que compartan una plataforma de comunicación con el Centro de Monitoreo.



Figura 39. Sitio de despliegue de hardware sobre el curso de agua “Rivière du Rempart”. 3 Clusters agrupando los dispositivos de medición.

Los nodos Gateway recibirán los datos de los sensores instalados. Actúan como un registro de datos (data logger) y tramiten las lecturas de los sensores a la oficina Central de Monitoreo (CMO).

Cada dispositivo transmite los datos recolectados por sus sensores cada 15 minutos al nodo Gateway.

Luego de que los datos son recolectados, estos son procesados por una aplicación que contiene un algoritmo de predicción de inundaciones basados en el algoritmo del equipo de investigación de Bell (V.A. Bell, 2007). Y en caso de detectar una inundación inminente, alertas serán publicadas a través de una página web y vía SMS.

Finamente, los datos de los sensores viajan hacia el Gateway y de allí hasta el servidor de aplicaciones vía la red GSM. Como hemos visto en otras experiencias, la red GSM no es la mejor alternativa de comunicación dado sus puntos de fallos en caso de un evento meteorológico extremo.

7. Arquitectura de solución y flujo de información entre sensores

De acuerdo a lo descrito en el paper presentado por Pasi y Bave, numerosas aplicaciones toman ventaja de nuevos y pequeños sensores IoT de bajo costo para detectar y monitorear eventos climáticos. Los recientes avances han permitido que estos sensores de bajo costo y de bajo consumo de energía puedan estar ubicados bajo el agua (Bhave, 2015, February).

Los autores presentan una solución compuesta de 3 módulos principales: sensores, observación, y “transponder” (“transmitter” y “responder”)

Con respecto a los sensores, varios de ellos se suelen congregan en una misma estación operacional soportados en una fuente de alimentación de energía externa. Algunos de los sensores IoT se colocan en el agua y comienzan a realizar mediciones periódicas de variables. Al final de un período de tiempo, se envía la información a una central de procesamiento y en ocasiones realizan una serie de pasos de procesamiento predefinidos.

Los USWN (Underwater Sensor Networks) están basados en nodos operados a batería que tienen la capacidad de transmitir información. Estos nodos tienen la capacidad de transmitir de manera Wireless los unos con los otros para la operación. Estos nodos pueden ser:

- Nodos con sensores para la recolección de datos
- Nodos de transporte de datos
- Nodos Mix (con funciones de sensores y retransmisión de datos)

En las redes USWN, los nodos transmiten constantemente información, generando un alto consumo de energía en los nodos.

Los autores proponen una arquitectura de estrella para el envío de información. Sobre todo para solucionar la limitante de la distancia de envío de información que un sensor puede operar. Para esto definen nodos sensores (recolección de datos) y nodos clusters (transporte de datos)

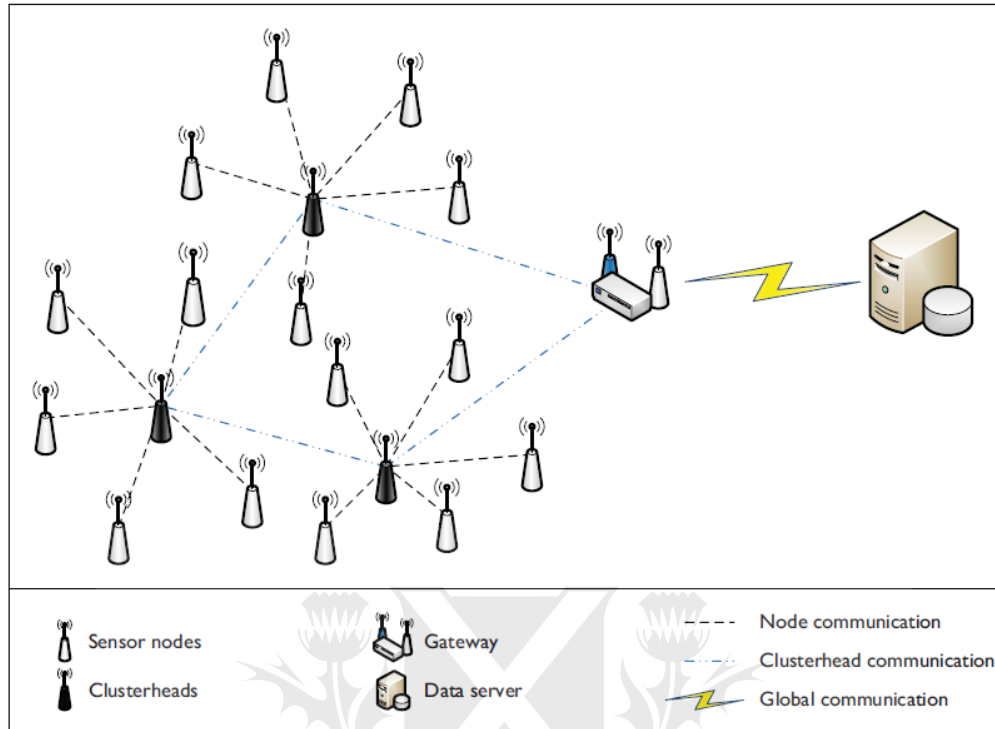


Figura 40. Arquitectura de nodos (sensores y retransmisión).

Los nodos que proponen los autores tienen la capacidad de transmitir por acústica y por radio frecuencia.

Así mismo, proponen una serie de pasos para determinar los valores de flujo de agua normales. Y poder así disparar alarmas cuando las mediciones de flujo de agua superen la velocidad normal (ver diagrama a continuación).

Los autores sugieren implementar este algoritmo embebido en cada sensor. De manera de que puedan lanzar alarmas independientes y requiriendo implícitamente que los sensores tengan capacidad de procesamiento.

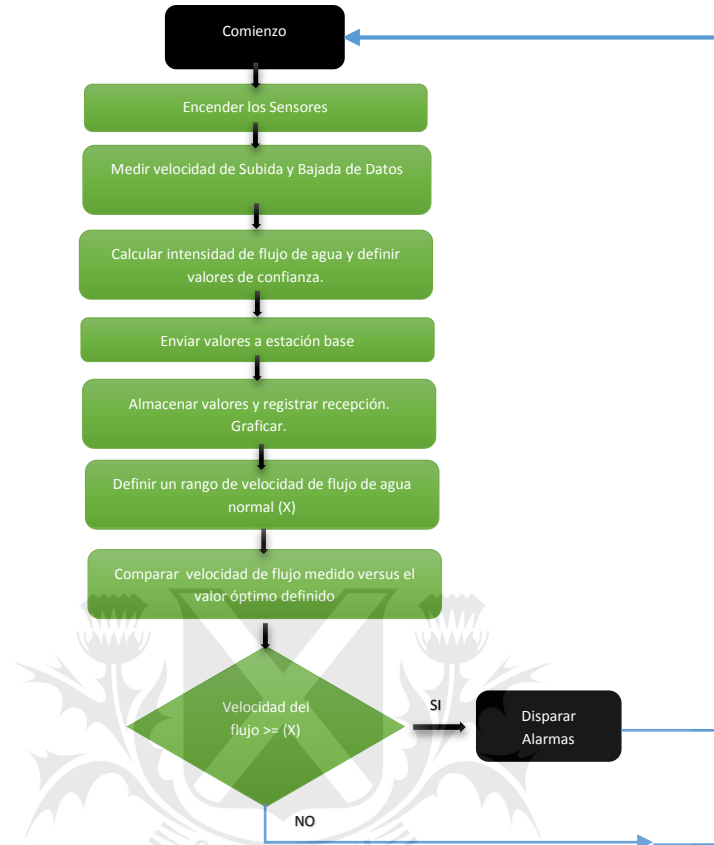


Figura 41. Algoritmo de disparo de alarma por medición en nodo.

La alarma que se disparará dependerá a su vez de diferentes rangos. A mayor velocidad de flujo de agua, mayor será la gravedad de la alarma. Los autores proponen dividir las alarmas en 4 niveles. Y debajo ajusté la propuesta de los autores para optimizar el llamado de alarmas para el caso de mayor severidad:

Si (Velocidad del Flujo \geq Categoría 4)

Entonces Disparar Riesgo "Catástrofe"

Si (Velocidad del Flujo \geq Categoría 3)

Entonces Disparar Riesgo "Crítico"

Si (Velocidad del Flujo \geq Categoría 2)

Entonces Disparar Riesgo "Marginal"

Si (Velocidad del Flujo \geq Categoría 1)

Entonces Disparar Riesgo "Depreciable" (Negligible)

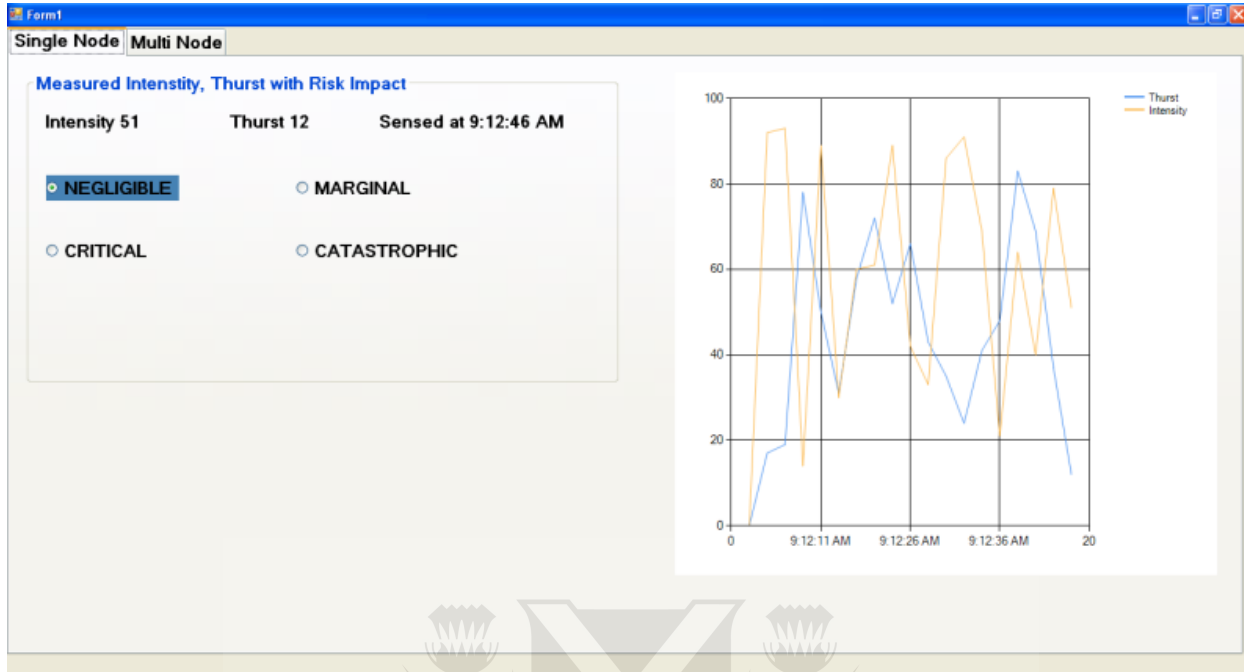


Figura 42. Simulación muestra un nivel de alarma correspondiente a la primer categoría “Depreciable” (negligible).

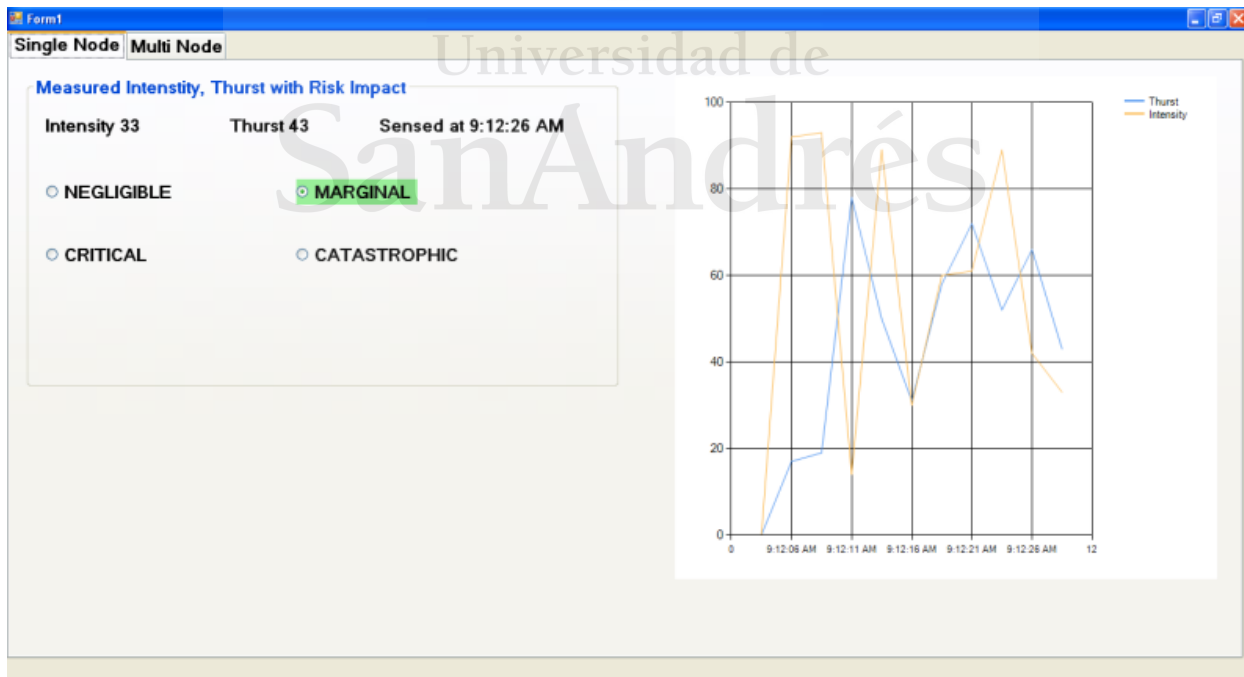


Figura 43. Simulación muestra un nivel de alarma correspondiente a la primer categoría “Marginal”.

Con respecto a la observación, los autores han concluido lo siguiente:

Densidad de nodos: A mayor densidad de nodos en el sistema, se aumenta su eficiencia y las demoras en el envío de la transmisión disminuye considerablemente. Dado que un mayor número de nodos facilitarían alternativas rutas de comunicación.

Errores de localización: El identificar erróneamente la posición de un nodo puede generar un mal entendimiento del comportamiento del flujo de agua y por ende del sistema en sí.

Nivel de despliegue: El nivel de despliegue asegura tener nodos cubriendo las distancias adecuadas para recibir datos de lugares alejados.

Los autores concluyen que una arquitectura básica para desarrollar un sistema en tiempo real de monitoreo de inundaciones y sistema de alarmas para una región costera debe emplear:

- 1- Red de sensores
- 2- Módulos de transmisión y procesamiento
- 3- Base de datos y servidor de base

La infraestructura de red será clave a la hora del despliegue de los nodos. Dado que permitirá o no el envío de información de sectores alejados. Las redes de sensores para monitoreo del suelo en tiempo real se puede ver en detalle en la investigación realizada por Microsoft (E. R. Musaloiy, 2006). Otra aplicación de redes de sensores inalámbricos puede encontrarse en la investigación realizada para la predicción de Ciclones en el paper del “Innovative Journal” (Nanda, Dinda, Rath, & Pradhan, 2011)

Así mismo, es importante poder complementar la presente solución con Sistemas de Información Geográfica (GIS). Esta integración permitirá conocer mejor las áreas afectadas por las inundaciones a través del procesamiento de imágenes en combinación con la información recibida por los sensores.

Por otro lado, las investigaciones realizadas en el paper de Predicción de Sequías y Sistemas de Alertas (Kung, Hua, & Chen, 2010) han propuesto y desarrollado un sistema de comunicación móvil para alertar a los usuarios ante el disparo de alarmas.

8. Redes de comunicaciones para el envío de datos

En el paper del equipo de Anthone Andrade (Anthone Andrade, 2014) se describe una red vía SMS, que será alternativa a los medios de comunicación más comunes que suelen no estar disponibles en situación de desastre. Esto ocurrió luego del Tsunami en Japón en Marzo del 2011, donde el 95% de las redes estuvieron sin servicio por varios días en las zonas más afectadas. Las redes móviles suelen presentar

inconvenientes durante los períodos de desastre: Global System for Mobile Communication (GSM), Universal Mobile Telecommunications System (UMTS) o Long-Term Evolution (LTE).

Así los autores proponen enviar mensajes de hasta 7 bits sobre redes “Wireless Mesh Sensor Network” (WMSNs) VIA “Short Message Service” (SMS). El objetivo es unir las redes WSN en las áreas de desastre con las redes móviles clásicas en zonas seguras.

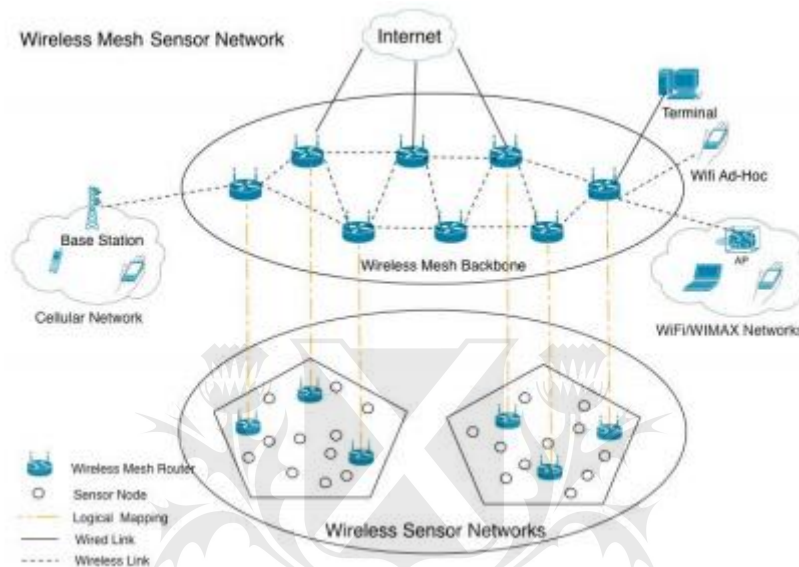


Figura 44. Arquitectura de red Wireless Mesh con múltiples nodos de acceso.

La red WSN se convierte en un medio para transportar información hacia zonas no afectadas. Y podría ser utilizada no solo por los sensores IoT, sino por la población afectada por el evento climático.

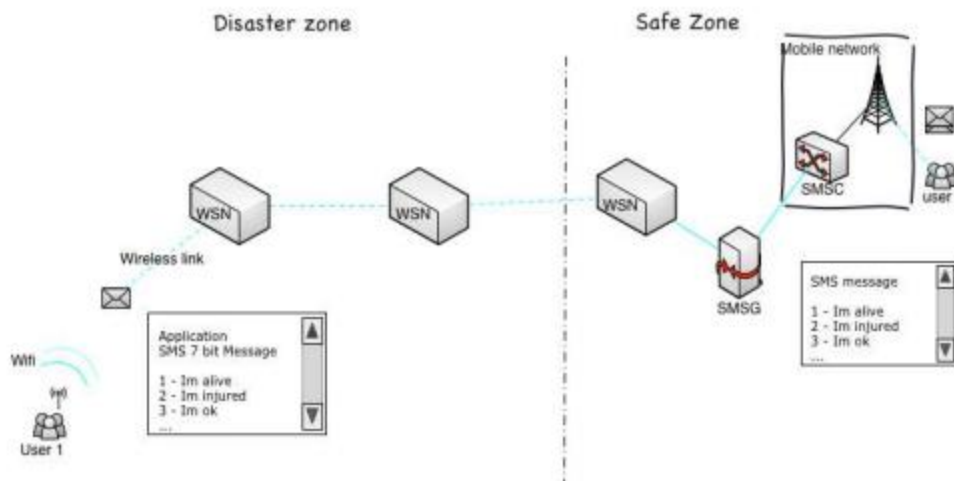


Figura 45. Comunicaciones entre una zona de desastre y una zona segura.

9. Sistemas de alertas

El equipo de investigación liderado por Mauricio Castillo-Effen (Mauricio Castillo-Effen, 2004), presentó su trabajo en progreso realizado para alertar a la población de la región Andina de Venezuela sobre inundaciones repentinas. El sistema utiliza comunicaciones Wireless y tecnología IT para su funcionamiento. Y como hemos vistos de otras experiencias, también utiliza una red de sensores inalámbricos (WSN) para monitorear el ambiente y realizar el seguimiento de los desastres cuando se desencadenan.

Los investigadores diseñaron un sistema de alarmas basado en la identificación y por sobre todo la predicción de inundaciones severas. El ciclo de generación de una inundación puede ser asociado a diferentes niveles de alarma. A mayor nivel de alarma, se indica una situación de mayor criticidad que desencadenará una inminente inundación.

Adicionalmente, los investigadores utilizaron un Sistema de Información Geográfico (Geographical Information System). El sistema permite implementar un complejo modelo ambiental para la generación de mensajes asociada a eventos geolocalizados. Adicionalmente, el sistema GIS implementado permite publicar información en internet (generando código HTML) facilitando la comunicación de los eventos.

En complemento, otro equipo de investigación prosiguió investigando como anticipar las inundaciones. En el paper presentado por el equipo encabezado por Gustavo Furquim, (Gustavo Furquim, 2014) se estudió la anticipación de los eventos mediante técnicas de “Machine Learning” (ML). Al detectar el comienzo de una inundación, se generan alarmas a los pobladores y autoridades locales.

Los investigadores colocaron 3 sensores en el río Monjolinho, en el barrio de Sao Carlos (San Pablo, Brazil). Luego de tomar muestras de la altura del río durante 1 semana con 1 solo sensor, por intervalos de 1 minuto, bajaron la información a una base de datos para su análisis.

SanAndrés

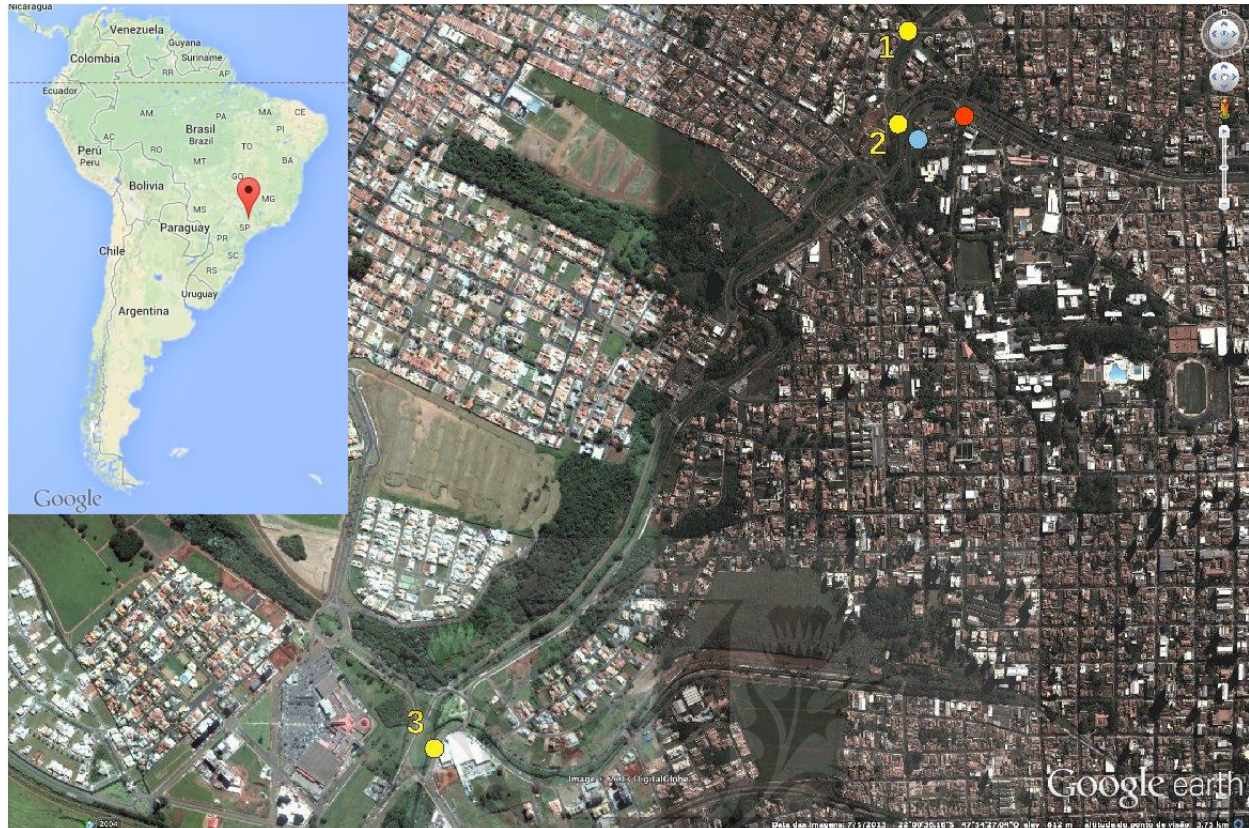


Figura 46. 3 Sensores instalados en el río Monjolinho de San Pablo (amarillo). Estación de procesamiento en celeste. Router de datos en rojo.

Los investigadores clasificaron el comportamiento del río en 5 categorías:

- Estable
- Subida Moderada
- Baja Moderada
- Gran Subida
- Gran Bajada

Luego, utilizaron las técnicas de Machine Learning para anticipar los movimientos del río: Árboles de decisión J448, Random Forest, BFTree, Simple Cart, un tipo de red neuronal artificial (Multilayer Perceptron – MLP) y un tipo de “Bayesian Learning” (Bays Net). El ambiente de Machine Learning utilizado para procesar la información fue WEKA.

Al detectar una futura “Gran Subida”, alarmas automáticas son disparadas a los pobladores y autoridades.

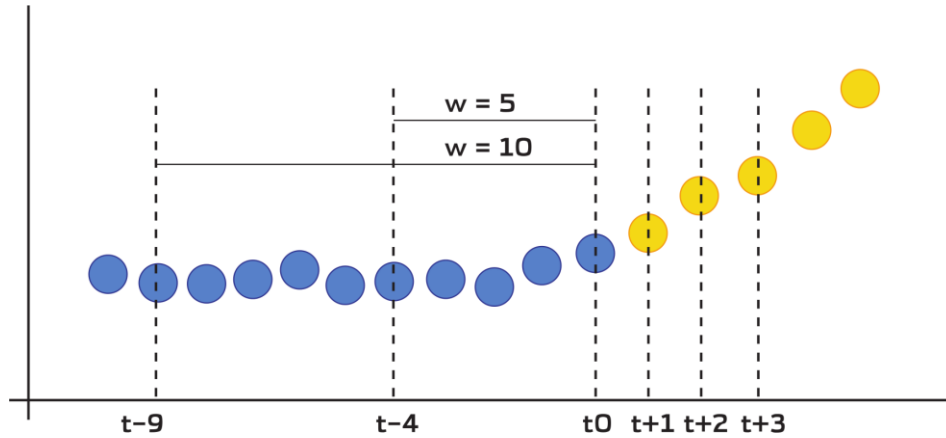


Figura 47. Ejemplos de valores tomados por los sensores en azul. Y luego la predicción futura de la altura del río utilizando técnicas de Machine Learning en amarillo.



Figura 48. Foto del río Monjolinho en el barrio Sao Carlos, cerca del Sensor 3. San Pablo. Brazil.

Por otro lado, otro equipo de investigación liderado por Joel T. de Castro (Joel T. de Castro, 2013) investigó la mejor manera de implementar un sistema de alertas para las inundaciones que se dan en Filipinas. En dicho país, ocurre 1 gran evento de inundaciones cada 4 años que es devastador para la población.

Los investigadores realizaron un sistema de alarmas por SMS, que se activa una vez que un algoritmo de predicción detecta parámetros en línea con una próxima inundación. Los SMS son enviados a una serie de personas y organismos definidas previamente.

El sistema de alarma está soportado en un servidor, el cual lee pedidos de suscripción al sistema de alarmas (via SMS) y responde con la confirmación del alta.



Figura 49. Sistema de alarma de inundación via SMS. Filipinas.

Los SMSs son activados una vez que el sistema de predicción de inundaciones detecta una alarma. El sistema de alarma se alimenta de los datos recolectados por los sensores. A estos datos les aplica un modelo de predicción (empírico, en base a experiencias pasadas) y genera un nivel de alerta. En base a parámetros predefinidos y dependiendo el nivel de alerta generado, las alarmas se pueden disparar.

Los sensores leen tanto la velocidad del caudal de agua como la profundidad del río.

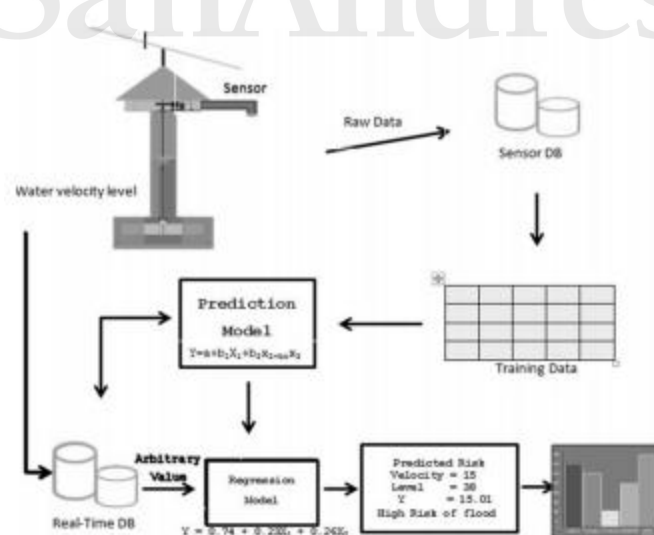


Figura 50. Modelo de predicción utilizado por el sistema de alarmas.

Finalmente, un equipo de investigación de India propone una solución similar de alertas, pero además de la comunicación del alerta por SMS, permite la posibilidad de que los niveles de los sensores puedan ser accedidos vía dispositivos móviles con Android. (Mokashi, December 2014)

Los investigadores diagramaron el siguiente proceso para tanto la toma de datos de los sensores, como su análisis para el potencial disparo de alarmas:



Figura 51. Algoritmo de disparo de alarma por medición en nodo.

Los sensores utilizados por el equipo indio son de temperatura, humedad, nivel de agua y vibración del terreno.

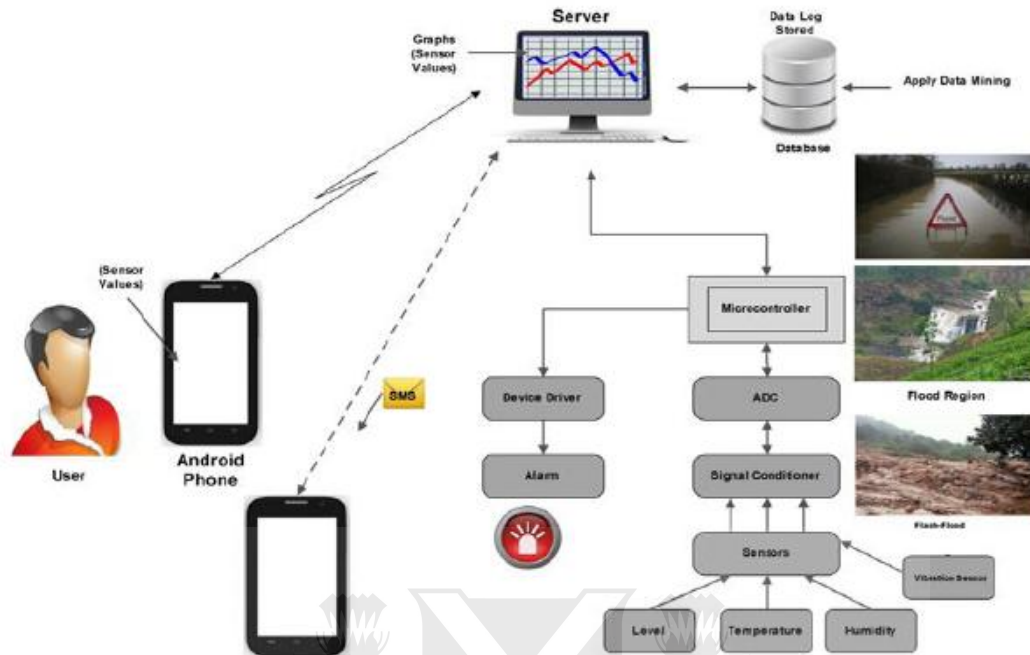


Figura 52. Arquitectura del sistema de alarmas diseñado por equipo de investigación de India.

Así mismo, existe otro trabajo similar, también de un equipo de investigación de India, que detalla los pasos para crear un similar sistema de predicción de crecidas de ríos (Victor Seal, 2012)

Finalmente, he detectado dos investigaciones anteriores en el tiempo que han sido referencia de trabajos más actuales. Los equipos de investigación de Bell (V.A. Bell, 2007) y Moore (Robert J. Moore, 2006) son utilizados para medir la caída de lluvia y predecir inundaciones.

La principal entrada del modelo predictivo es la precipitación y la principal salida es la estimación del flujo de la cuenca. El flujo del agua se utiliza para estimar la propagación del agua en cuadrantes grid diagramados a lo largo del curso del río.

a. Caso Centro Regional Andino, Argentina (INA)

El INA-Centro Regional Andino opera desde 1975 una red de estaciones hidrometeorológicas en el área pedemontaña en la Precordillera, al Oeste de la Provincia de Mendoza. En el año 1982 la red fue automatizada, utilizando un sistema de transmisión de datos por eventos. Esta información fue recolectada del libro "Inundaciones Urbanas en Argentina", organizado por Juan Carlos Bertoni (Bertoni, 2004)

A través de este sistema, se comparte información de precipitaciones y escurrimiento del agua a una central de recepción y procesamiento de los datos.

Como las tormentas que suceden en la montaña suelen ser de alta intensidad y localizadas en un sector pequeño, al tener el terreno una pendiente elevada y poca protección vegetal, el agua escurre muy rápidamente. Es por esto que a diario se realiza un monitoreo del pronóstico del tiempo y, en caso de detectar un evento meteorológico potencialmente intenso, se monta un operativo de PREALERTA en conjunto con la Dirección de Lucha Antigranizo, que pone a disposición sus radares meteorológicos ubicados en la ciudad de San Martín. En caso de identificar un frente de nubes de alta reflectividad, se emite un alerta que contiene la ubicación de las nubes involucradas para su monitoreo.

Si la lluvia se dispara sobre una o más estaciones de la red, se transmite automáticamente los valores de mm acumulados junto con la identificación de la estación. Así mismo, para cada estación se define un nivel de alerta en términos de intensidad (mm/hora) y duración (minutos) en relación con la capacidad de escurrimiento de la cuenta afectada y su grado de control y peligrosidad. De dispararse un alerta por la actividad en una estación, el operador del centro de monitoreo realiza llamadas a una lista de personas preestablecidas dependiente de cada estación.

b. Caso Centro de Investigaciones de la Región Semiárida, Argentina (INA)

El INA-Centro de Investigaciones de la Región Semiárida (CIRSA) opera desde 1986 una red telemática para pronósticos hidrológicos en tiempo real. Los fines son tanto la investigación de los recursos hídricos como la provisión de servicios de alerta hidrológica a la ciudad de Villa Carlos Paz.

El sistema de pronóstico tiene como eje la cuenca del río San Antonio. Quien es el mayor afluente del lago San Roque. El río San Antonio junto a sus propios afluentes (río Icho Cruz y río Malambo) forman una cuenca de 500 km². Sobre esta cuenca se producen durante el período estival grandes tormentas, que provocan importantes crecidas en pocas horas.

Sobre la cuenca se han instalado 10 estaciones de medición, que transmiten datos sobre el estado del río en tiempo real al centro de monitoreo CIRSA en la ciudad de Villa Carlos Paz. Los datos son procesados por un servidor que genera un informe numérico y diferentes gráficos sobre el estado de la cuenca. Y esta información es analizada por un equipo de profesionales y técnicos en hidrología, quienes pueden estimar el nivel y caudal del río. Para estimar los momentos del pico de la crecida y su duración, se utilizan diferentes modelos matemáticos. Y desde 1987, se puso en marcha un plan de alertas de crecidas con gran éxito.

CIRSA trabaja con un esquema de guardias pasivas y activas, que tiene a cargo el monitoreo de la información. Y en caso de detectar una crecida, se emite un aviso vía radio y/o telefónica a Defensa Civil. Luego, Defensa Civil decide en base a la magnitud del evento si informa al Cuerpo de Bomberos, Unidad Regional de la Policía, etc. en Villa Carlos Paz y localidades aledañas.

Finalmente, este sistema de adquisición de datos en tiempo real para la Cuenca del Río San Antonio tiene los siguientes objetivos científicos y operativos:

- Investigar técnicas modernas de adquisición de datos, procesamiento y disponibilidad en tiempo real.
- Formación y capacitación del personal
- Conocimientos de aportes hídricos al embalse del Lago San Roque. Del cual depende la provisión de agua para la Ciudad de Córdoba y el agua de riego para el cinturón verde de la misma.
- Investigar algunos procesos hidrológicos como evaporación, sedimentación, etc.
- Ampliar el área de cobertura del monitoreo. De acuerdo a los estándares de transmisión que permite el sistema VHF. Al disponer de una central repetidora ubicada en el Cerro Lisos, en cercanías del macizo de Los Gigantes (2300 metros sobre el nivel del mar) se puede llegar a cubrir un área de aproximadamente 104.000 km²

Por otro lado, ya se ha instalado una estación repetidora en el departamento Pocho, en el Oeste Cordobés, ampliando lograr la cobertura antes mencionada en un 35%. El sistema CIRSA cuenta con diferentes tipos de radioenlaces dependiendo la ubicación de la estación remota.

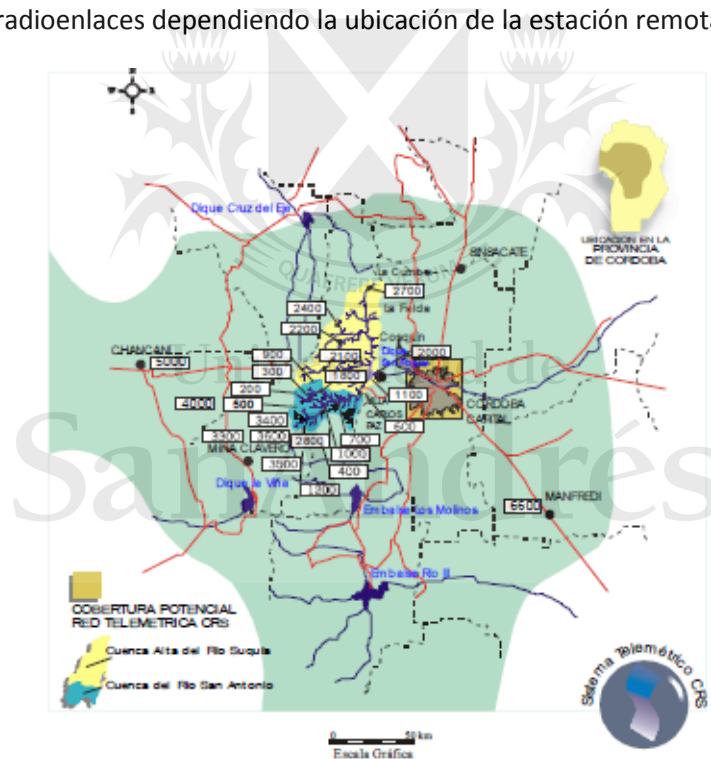


Figura 53. Red telemétrica del río San Antonio para el sistema de alerta de la ciudad de Villa Carlos Paz (Pcia. de Córdoba).

10. Caso de la Ciudad de Buenos Aires: entrevista y observación en el campo.

Entrevistado:

1. Pablo Poza. Head de Planificación y Marketing Estratégico, BGH Tech Partner.
2. José Nicolas Paura. Pre Sales Engineer, BGH Tech Partner.

Lugar: BGH Tech Partner. Brasil 731.

Fecha: 6 de enero 2016, 9.30 horas

Entrevistador: Guillermo Jacobi

Duración: 2 horas



Figura 54. Foto con Pablo Poza, BGH.



Figura 55. Foto con José Nicolás Paura. BGH.



Universidad de
SanAndrés

Preguntas:

1. ¿Cuánto tiempo llevó el proyecto de implementación de un sistema de alerta temprana de inundaciones?

Fueron 10 meses de proyecto divididos en 5 etapas.

2. Mayores desafíos del proyecto?

Los dispositivos conectados pueden funcionar de manera errónea y generar datos “basura”. La correcta identificación de las fallas en los elementos que conforman el sistema junto con la identificación de datos erróneos es vital para la confiabilidad de la instalación.

3. Costo del proyecto? No puede suministrar esta información

4. Recursos necesarios para elaborar el proyecto? (humanos, tecnológicos, ...)

Recursos humanos:

- Ingeniero hidráulicos

- Meteorólogos
- Defensa Civil
- Emergencias
- Desarrollo Urbano
- Medio Ambiente
- Pluviales

Recursos Tecnológicos:

Sensores:

- Nivel de Agua (BGH)
- Flujo de Agua (BGH)
- Altura (BGH)
- Pluviómetro (BGH)
- Integrados con ultrasónico y radar (Marsh McBirney): dirección del viento, rayos UV, radiación solar, humedad relativa y absoluta, presión atmosférica.
- Aguas en Nubes (Radiometer)

5. Dispositivos utilizados para mediciones?

- Inmografo: Mide la presión del agua, para saber cuántos metros de agua hay inundados por encima del dispositivo.
- Caudalimetro (caudal de agua transportado): Tiene 2 maneras de medir. Por radar, cuando se encuentra por encima del nivel del agua. Por ultrasonido, cuando queda sumergido en el agua. Estas estaciones tienen un costo de usd40.000 y son alemanas. Hay muy pocas instaladas y solo en lugares críticos.
- 13 Viejas estaciones meteorológicas: Era material de rezago de anterior proyecto frustrado (miden ruido y contaminación del aire). Las 13 estaciones estaban nuevas sin utilización. Debieron ser recalibradas y comenzaron a utilizar una como piloto. Luego del exitoso piloto, calibraron las 12 restantes.
Se debió construir un driver de telecomunicaciones para poder transmitir la información que generaban estas estaciones vía GPRS.

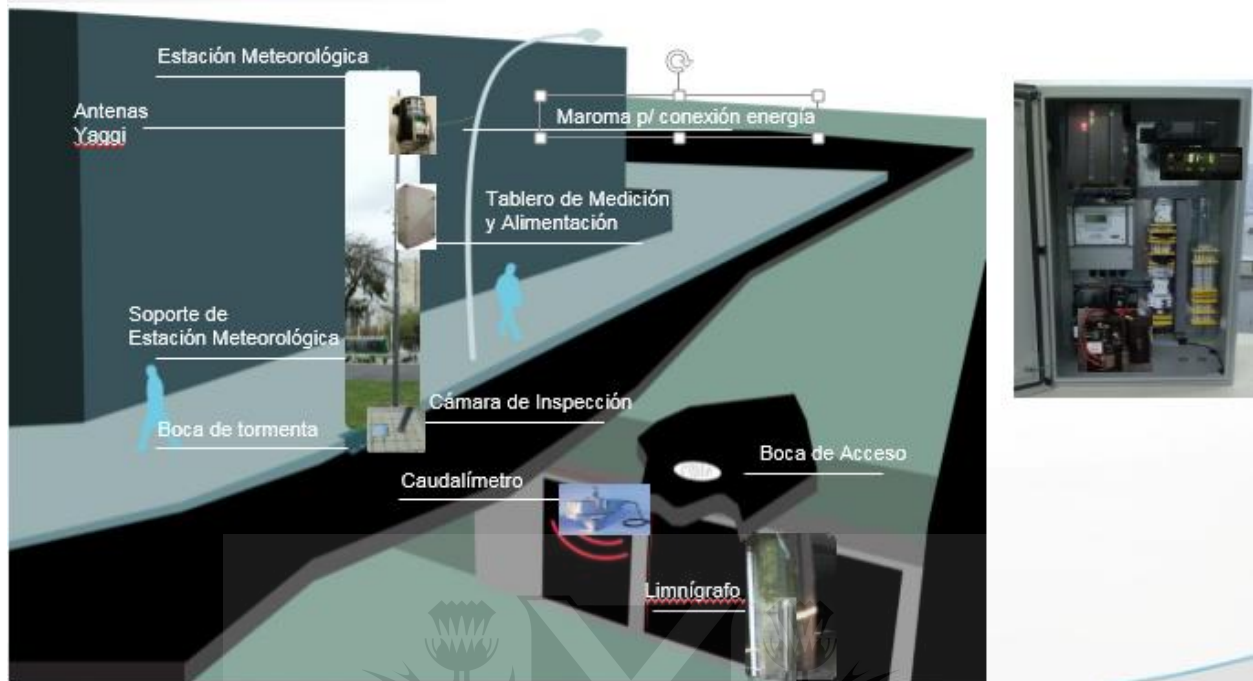


Figura 56. Diseño de estación de sensores. Sobre y bajo la tierra. BGH.

6. Costo de mantenimiento

No se puede compartir esta información.

7. Próximos pasos?

- Están desarrollando un algoritmo matemático para predecir anegamientos en la Ciudad. Se utilizará la base de datos ya generada a través del relevamiento de los sensores. Se está esperando a tener información confiable a lo largo de 1 año entero para comenzar el desarrollo del algoritmo. Se están realizando tareas de depuración de datos (eliminando datos “basura” que fueron recolectados por sensores fuera de servicio o mal calibrados)
- Se lanzará el proyecto “Sivigila”, que será financiado por el Banco Mundial. El proyecto consistirá en la instalación de un radar meteorológico en Ituzaingo, Provincia de Buenos Aires, para permitir una nueva variable en el alerta temprana de eventos meteorológicos severos. Se podrá calcular cuándo y dónde va a llover. Y se analizarán el tipo y la cantidad de nubes, para determinar el volumen de agua en suspensión.
- Trabajar en conjunto con Apra, agencia de protección medioambiental. E instalar nuevos sensores para monitorear la contaminación ambiental de la atmosfera y la calidad del agua.

- Continuar con el desarrollo de la sensorización hacia la Provincia de Buenos Aires. Dado que el nuevo Director de Infraestructura de la Provincia de Buenos Aires trabajó anteriormente en la Ciudad de Buenos Aires. La Provincia de Buenos Aires tiene 56 cuencas hídricas. Se realizarán canales aliviadores y se instalarán bombas para extraer aguas de zonas bajas. Hay 3 cuencas (Reconquista, Riachuelo/Matanza y la cuenca del Salado) que ya tienen un proyecto con financiación aprobada del Banco Mundial.

8. En qué consiste el centro de monitoreo?

La ciudad de Buenos Aires se encuentra atravesada por 7 cuencas (ríos). En las cuencas más críticas (donde se sufren anegamientos) se determinaron 39 puntos de sensorización que emiten información.

La información recolectada por estos sensores es enviada cada 2 minutos a un centro de monitoreo a través de la red de comunicación de la policía metropolitana (red tetra, similar a la utilizada por los handies de Motorola)

La información suministrada alimenta un panel de control que disponibiliza la información en tiempo real. Detectando alarmas en base a parámetros de medición esperados o por fuera del rango normal.

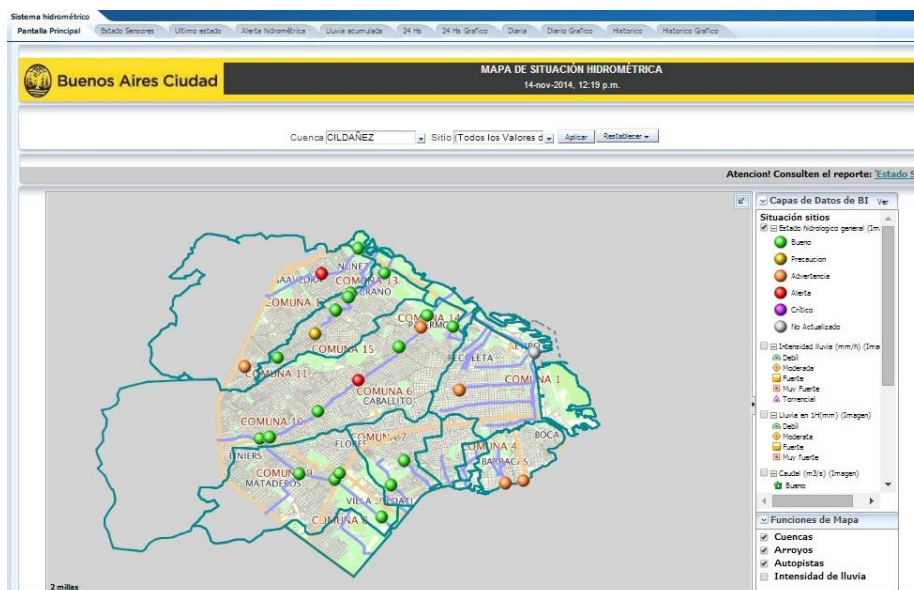
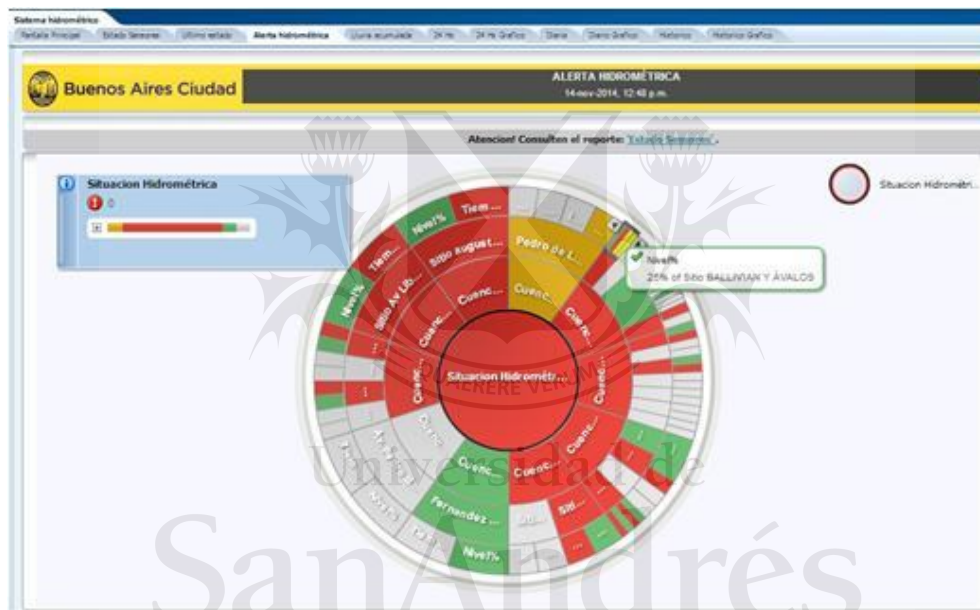
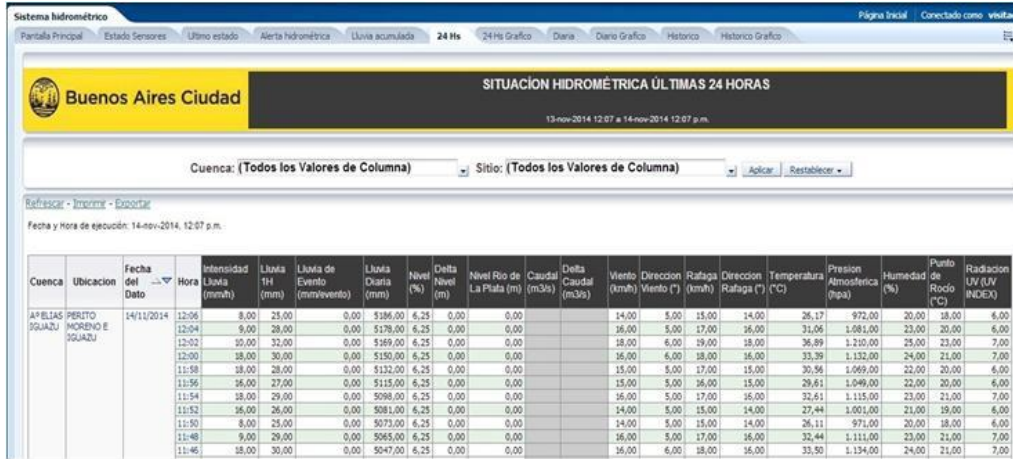
Las cuencas que ingresan a CABA arrancan en 20 metros sobre el nivel del mar, a una distancia de 20 kilómetros de la costa es donde comienzan las mediciones. Y los ductos instalados tienen una caída positiva hasta llegar al nivel cero en el río. Cada 200 metros en la ciudad de Buenos Aires, hay una tacha de punto de referencia que indica la altura frente al nivel del mar (cero).

El agua tarda en escurrirse por los ductos, dada la resistencia mecánica que ofrece la superficie del ducto. Esto implica que el agua tarde en desplazarse y en arribar a la ciudad, lo que permite anticiparse a una inundación que comienza en la Provincia de Buenos Aires.

Ahora bien, la Ciudad de Buenos Aires tiene la particularidad de sufrir eventos de Sudestada. Que hace que el Río de la Plata crezca su altura sobre el nivel del mar. Con lo cual dificulta el escurrimiento de las cuencas que atraviesan la Ciudad.

En los últimos 5 años, a través de un crédito del Banco Mundial, se realizó un canal aliviador del Maldonado, de unos 6 metros de ancho. Este canal va desde la altura de Avenida Córdoba y Juan B Justo hasta el Río de la Plata.

También se realizó el aliviador del Arroyo Vega. El Vega era una obra muy antigua, y tenía un ducto de un diámetro de 1,5 metros. A raíz de esto, se realizó un aliviador con un diámetro de 3 metros. Durante las obras, se encontraron bajo una plaza en Av Monroe con una pared del año 1922. Al romperla, encontraron un ducto ya construido que iba desde la plaza hasta el Río de la Plata a lo largo de 500 metros. Era un viejo ducto que no había sido utilizado. Así que fue adaptado, le agregaron sumideros y actualmente cruza la nueva estación de trenes Ciudad Universitaria y está siendo utilizado.





Figuras 57, 58, 59 y 60. Extractos de pantalla del Sistema de Monitoreo de Sensores de la Ciudad de Buenos Aires. BGH.

9. Qué se utilizó para la conectividad de los sensores?

Para la conectividad de los sensores no se utilizó el wifi. Debido a que muchos sensores son críticos y necesitaban una conectividad funcionando el 100% del tiempo. Es por esto que se optó por utilizar la red TETRA Terrestrial Trunked Radio (Wikipedia, Terrestrial Trunked Radio, s.f.)

La red TETRA suele utilizarse por servicios de emergencias (policía, bomberos, ambulancias), agencias gubernamentales, transportes públicos y militares. Esta red utiliza un transceiver de 2 direcciones (coloquialmente conocido como “walkie talkie”).

La red TETRA utiliza “Time Division Multiple Access” (TDMA) con 4 canales en una portante de radio y 25Khz de espacio entre las portantes.

Las ventajas de las redes TETRA sobre otras tecnologías como la del GSM es que permite tener un mayor rango de alcance, debido a utilizar frecuencias bajas para su funcionamiento. Además, las comunicaciones no son interrumpidas si se cae la antena que está siendo utilizada, y se mueve automáticamente a otra celda permitiendo redundancia y alta confiabilidad para su utilización en situación de criticidad. También permite la encriptación de los datos.

Ahora bien, la desventaja de este tipo de red es que permite realizar la transferencia de datos a una velocidad baja. Pero como contrapartida permite enviar datos a grandes distancias.

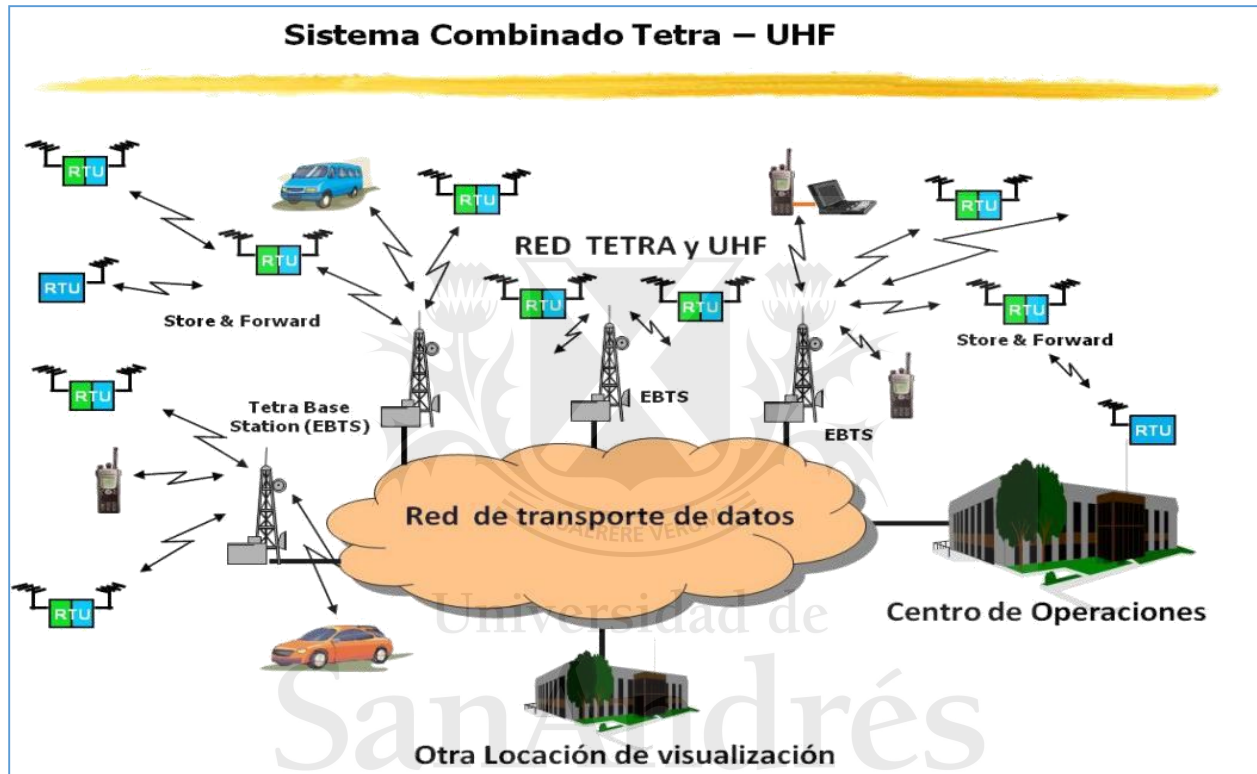


Figura 61. Diseño de red de comunicaciones utilizada por Sensores en la Ciudad de Buenos Aires. BGH.

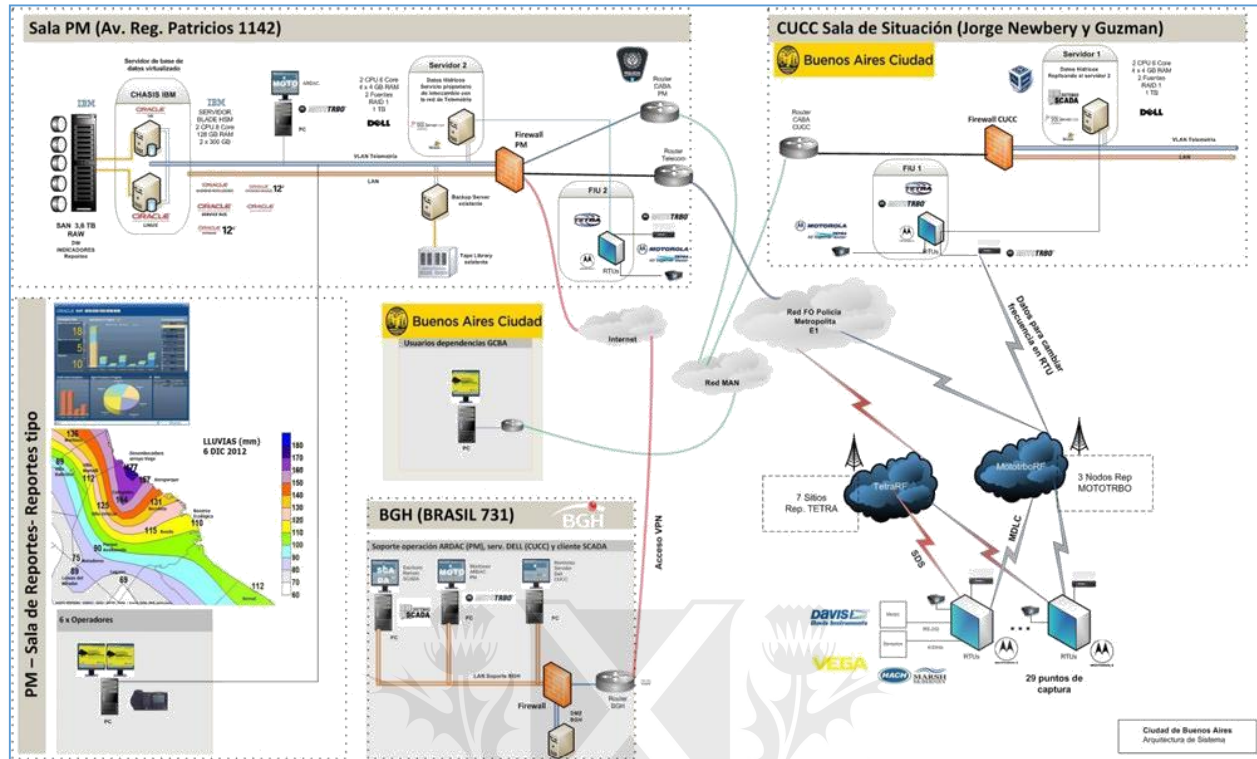


Figura 62. Estructura de enlaces entre edificios que forman parte de la solución de sensores Ciudad de Buenos Aires. BGH.

11. Caso del Municipio de Mercedes (Provincia de Buenos Aires): entrevista y observación en el campo.

Entrevistado:

1. Maximiliano Chisnerman. SubSecretario de Reforma y Modernización del Estado del Municipio de Mercedes.

Lugar: Palacio Municipal de Mercedes. Mercedes, Provincia de Buenos Aires.

Fecha: 7 de abril 2016, 9.00 horas

Entrevistador: Guillermo Jacobi

Duración: 2 horas



Figura 63. Foto con Maximiliano Chisnerman, Municipio de Mercedes.



Figura 64. Plano Municipio de Mercedes. A la izquierda se muestra el flujo de agua sensorizado.



Figura 65. Edificio Municipalidad de Mercedes.

Universidad de
SanAndrés

Preguntas:

1. ¿Cuánto tiempo llevó el proyecto de implementación de un sistema de alerta temprana de inundaciones?

Esta iniciativa se dio en el marco de un gran proyecto de sensorización del Municipio de Mercedes. No comenzó como un proyecto, sino como un proceso permanente de evolución de sensorización. El proceso comenzó en Agosto del 2014 y continua hasta hoy día.

2. Mayores desafíos del proyecto?

Los mayores desafíos fueron quizás dos. El primero, los múltiples cuestionamientos sobre el proyecto por parte del partido opositor con múltiples pedidos de informes sobre los costos. Y el segundo, los diferentes imponderables que fueron surgiendo en el día a día con los sensores. Algunos sensores fueron vandalizados, otros sensores fueron arruinados por el accionar de la naturaleza, y otros presentaron falencias de índole técnica relacionados a la tensión eléctrica por ejemplo.

3. Costo del proyecto?

El proyecto en sí tiene muy bajo costo.

Los sensores fueron comprados con partes de China (cuando la importación de estos elementos estaba abierta) y otras de Argentina. Un sensor completo para la medición de un punto del río tiene un costo aproximado actual de AR\$1.000. Los sensores fueron confeccionados sobre procesadores Arduino, utilizando software libre.

El equipo de trabajo está conformado por 2 programadores (encargados de la programación de los aplicativos para relevar y explotar la información de los sensores) y 1 técnico electrónico (encargado del armado de los sensores y de realizar la tarea de campo)

4. Recursos necesarios para elaborar el proyecto? (humanos, tecnológicos, ...)

Recursos humanos:

- 1 Técnico Electrónico
- 1 Líder de Proyecto
- 2 Programadores

Recursos Tecnológicos:

Sensores:

- Nivel de Agua
- Pluviómetro
- Equipo Arduino
- Energía eléctrica de red (principal)
- Panel Solar (backup)

5. Dispositivos utilizados para mediciones?

- Sensor de escalas hidrométricas: Sensor conectado al dispositivo arduino para medir el nivel del agua. Debe tener una referencia de niveles previamente establecida.
- Pluviómetro: volumen de agua de lluvia caída.

6. Costo de mantenimiento

En el costo de mantenimiento hay que considerar una reserva para el reemplazo de los sensores, ya sea por mal funcionamiento o bien por vandalismo.

Los sensores tienen una vida útil aproximada de 1 año y medio. Y a un costo aproximado de \$1.000 por sensor y considerando los 2 sensores actualmente instalados, se debe considerar un costo mensual aproximado de \$133 mensuales.

A este costo, hay que sumarle un costo mensual por la mano de obra para el mantenimiento de los servicios web que explotan y publican la información (1 analista programador part time, \$4.000 mensuales). Así como también el hosting de la aplicación web (\$100 por mes, en GoDaddy Argentina).

Elemento de Costo	Costo Mensual	Fuente
Depreciación Sensores (vida útil ó vandalismo)	\$133	Municipio de Mercedes, sobre la base de un costo de \$1000 por sensor y la utilización de 2 sensores.
Mantenimiento solución web y lectura de sensores	\$4000	Municipio de Mercedes. Programador part time.
Hosting de aplicación web	\$100	GoDaddy hosting
Total mensual	\$4233	

7. Próximos pasos?

El proyecto de sensorización del río forma parte de un proyecto mayor, que abarca la sensorización de diferentes elementos dentro del Municipio.

Se está progresando realizando un relevamiento de los árboles del municipio. Y también realizando la instalación de paneles táctiles para que los ciudadanos puedan explotar la información. Y se está instalando cartelería led para mostrar en tiempo real información a la comunidad.

Más recientemente, se ha presentado un proyecto para sensorizar el transporte público de pasajeros. De manera de monitorear la ubicación de las unidades de transporte, y que los ciudadanos en la parada o en sus dispositivos móviles puedan saber cuánta demora tienen para realizar su viaje.

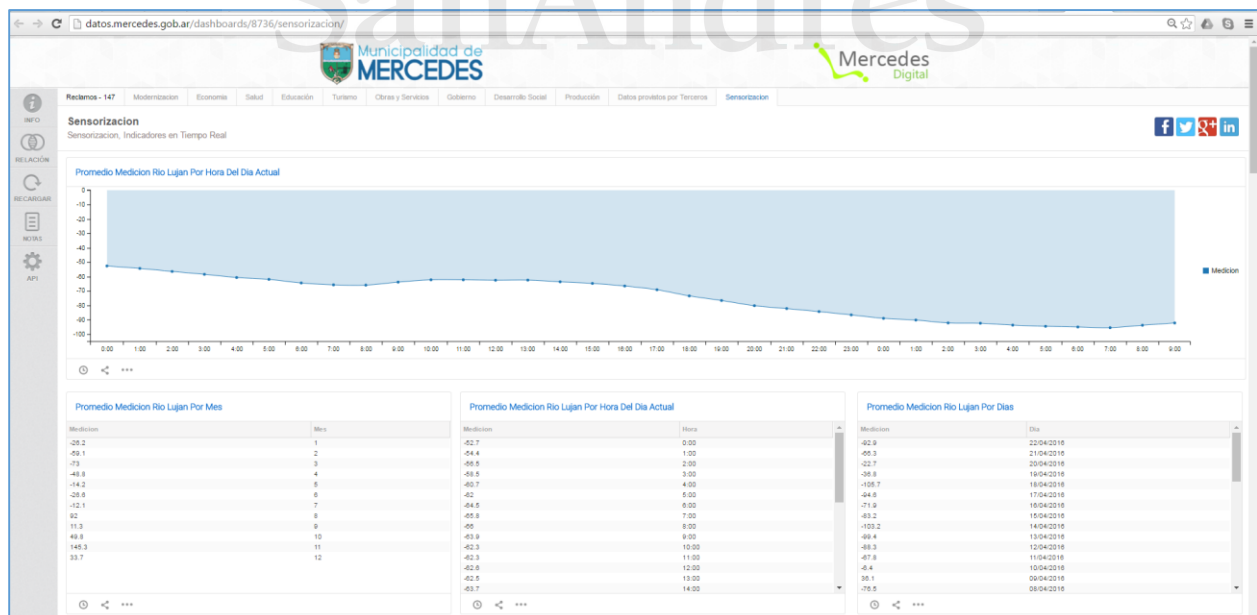
Por otro lado, también se presentó un proyecto para la realización de botones de pánico para los ciudadanos.

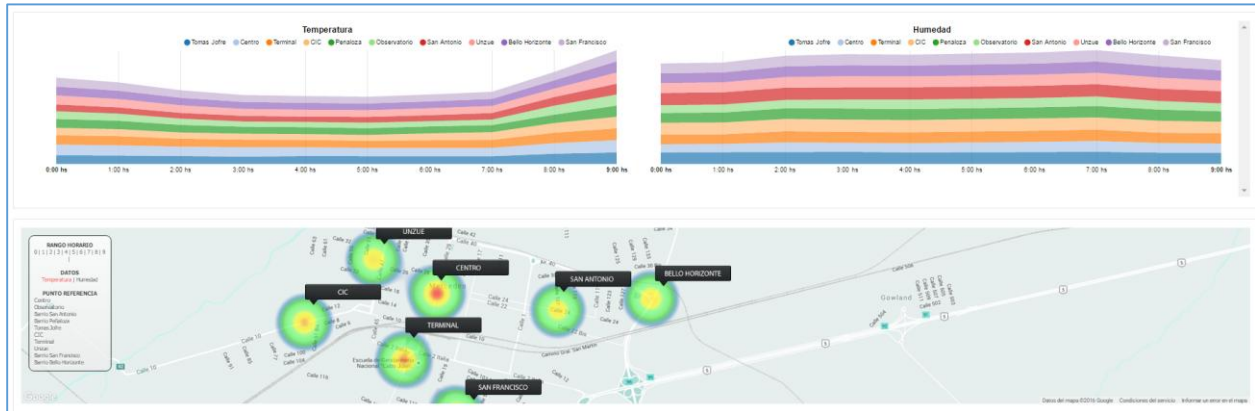
Finalmente, se planea a mediano plazo sensorizar tanto la calidad del agua como la calidad del aire del Municipio. Y también se va a colaborar con la instalación de sensores para monitoreo del nivel de la cuenca del río Lujan en otros municipios vecinos (Suipacha, Lujan, General Rodriguez, Moreno, San Andrés de Giles, Escobar, Exaltación de la Cruz y Tigre) (HoyMercedes.com, 2016) (Obarrio, 2016).

8. En qué consiste el centro de monitoreo?

El municipio tiene un sistema de monitoreo automatizado. Los datos recolectados por los sensores son recibidos en un servidor de aplicaciones. Y luego la información se muestra en una página web y en una aplicación móvil para los ciudadanos.

Debajo se pueden observar las pantallas del Portal de Datos Abierto del Municipio de Mercedes (Mercedes Digital, 2016).





Figuras 66, 67, 68 y 69. Extractos de pantalla Sistema de Monitoreo de Sensores de Mercedes, Provincia de Buenos Aires.

9. Qué se utilizó para la conectividad de los sensores?

Para la conectividad de los sensores no se utilizó la red de datos de celulares al igual que la Ciudad de Buenos Aires. Dado que no quisieron depender de una red que pudiera ser afectada por los anegamientos o problemas meteorológicos que pudiera acarrear un evento crítico.

Es por esto que también aquí se utiliza la existente red MAN del Municipio (Wikipedia MAN, s.f.) para la transmisión de los datos. La red MAN conecta redes cercanas LAN dentro de un rango de hasta 50 kilómetros.

Los sensores están conectados a la red eléctrica del municipio. Y tienen paneles solares con baterías como suministro de energía para contingencia que pueden dar potencia durante 7 días.

12. Últimos avances en sensores de agua para monitoreo

Las redes de sensores inalámbricas “WSN” (Picco, 2015) son sistemas distribuidos típicamente compuestos de sistemas embebidos que contienen:

- Unidad de procesamiento
- Interfaz de comunicación inalámbrica
- Sensores

En general, es más frecuente tener pequeñas baterías anexadas a los dispositivos para que puedan trabajar sin estar conectados a una red eléctrica. Y así proporcionar una solución de bajo costo que pueda ser conectada a un servidor remoto.

Más recientemente, investigadores han estado enfocados en analizar cómo un evento de inundación puede ser anticipado utilizando GIS (Geographical Information System). Y también algunos investigadores han estado analizando cuál sería el costo eventual en pérdidas ante un evento de inundación en determinadas regiones (Naveed Ahmad, 2013).

Teledetección, imágenes satelitales y técnicas de modelado matemático son utilizadas en conjunto con GIS para monitorear los cursos de agua. Sensores inteligentes de bajo consumo de energía contienen la habilidad para registrar información del agua y transmitirla utilizando redes de comunicaciones existentes.

Modelos matemáticos han sido construidos para el análisis de inundaciones y para predecirlas. De esta manera, basado en el monitoreo del clima, podemos predecir un evento de inundación. Los indicadores clave para ser medidos del ambiente y utilizados en el modelo matemático son:

- a. Temperatura del aire
- b. Nivel de humedad
- c. Presión del aire
- d. Velocidad del viento
- e. Precipitación caída

En paralelo al desarrollo de Redes de Sensores Inalámbricas (WSN), hay experiencias donde los ciudadanos están conectados durante eventos de inundaciones utilizando nueva tecnología digital (Vitaveska Lanfranchi, 2014). Experiencias utilizando una plataforma llamada “WeSenseIt” han tomado lugar en el Reino Unido, Holanda e Italia.

La idea es abrir los datos recolectados, a través de los sensores de bajo costo sobre los niveles de agua, para que dichos datos sean publicados mediante una aplicación móvil. Así, los ciudadanos

puedes revisar la información en tiempo real, actuando consecuentemente y pudiendo colaborar unos con otros.

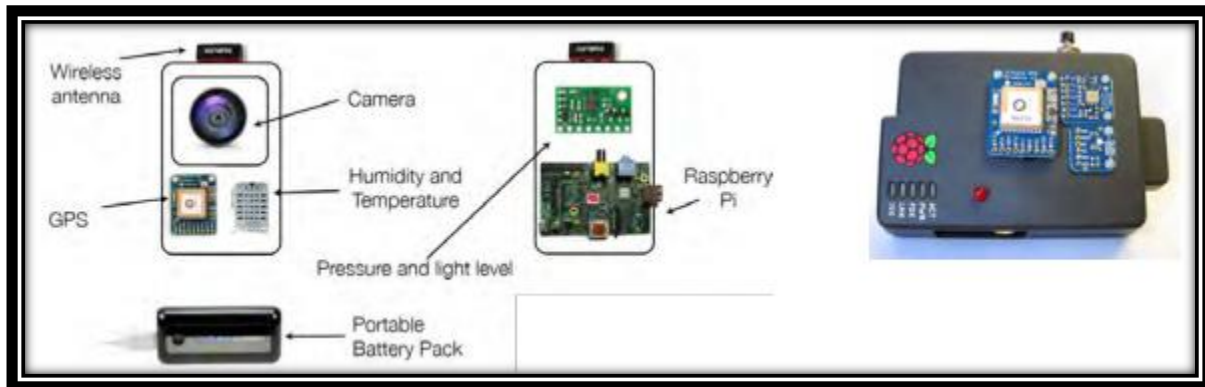


Figura 70: Un sensor Raspberry Pi para fluidos de agua y altura. A la izquierda se muestra cómo se construye el sensor. Y a la derecha cómo luce el modelo terminado.

Las principales funcionalidades de las aplicaciones “WeSenselt” son:

1. Reportes automáticos y lectura de sensores
2. Discusiones entre vecinos ubicados por geolocalización
3. Pedidos de información
4. Funcionalidades de alertas
5. Plan interactivo ante inundaciones. Checklist de pasos a seguir y elementos de prevención.

Para facilitar la participación de los ciudadanos en el reporte de eventos de inundaciones, identificar lugares peligrosos al tránsito y situaciones críticas se han desarrollado procesos para estimar el nivel de peligro y comunicar a ambos, ciudadanos y autoridades, sobre la situación.

Se está avanzando con el despliegue de un gran número de sensores de bajo costo basados en el procesador Raspberry Pi. Lo que permite ampliar fácilmente la cobertura de los sensores a un bajo costo. Y, si bien estos sensores no tienen la precisión de los sensores más costosos, el rango de errores es depreciable y cumplen el objetivo del monitoreo.

Adicionalmente, cerca de los sensores el equipo de proyecto colocó carteles para informar sobre la iniciativa de “WeSenselt”. Y así difundir información sobre la aplicación disponible y el objetivo del proyecto. En este sentido, han colocado un código QR visible cercano a los sensores, para que rápidamente a través de la lectura del código los ciudadanos puedan informar sobre los acontecimientos en las cercanías al sensor y compartir sus impresiones.

Un segundo tipo de sensores ha sido desarrollado para aquellas personas que quiera participar más activamente de la sensorización. Además de los sensores instalados en lugares fijos, se han creado unos sensores pequeños y transportables basados en el procesador Raspberry Pi. Estos sensores pueden ser tomados por voluntarios y así registrar temperatura, presión atmosférica, valores de luz y estimar la velocidad del flujo de agua sin necesidad de sumergirlos. Además de los datos detallados, con cada toma se asocia una coordenada de GPS. Lo cual permite luego enviar la información vía cualquier red WiFi al repositorio central de datos.

Para explotar toda la información recolectada, y permitir una interacción social de los ciudadanos, se han desarrollado dos aplicaciones. Una aplicación para dispositivos móviles y otra aplicación web.

La aplicación para dispositivos móviles permite acceder a chat entre vecinos, reportar incidentes meteorológicos y acceder al listado de locaciones anegadas entre otras funciones:



Figura 71. Capturas de pantalla de la Aplicación Móvil “WeSenseIt”

Por otro lado, la aplicación web llamada “Kite” es el punto de acceso principal a la información de WeSenseIt. La aplicación posee 2 niveles de permisos: ciudadanos y profesionales del clima. “Kite” recolecta la información de múltiples sensores y la consolida para su reporte. Los datos son mostrados a través de diferentes “widget” como ser mapas (de ríos, sensores, ciudades, etc).

La aplicación permite ver en los mapas la información recolectada por sensores profesionales y también permite agregar las lecturas de los sensores de bajo costo.

A continuación el mapa suministrado por la aplicación “Kite”, marcando la ubicación de alguno de los sensores:

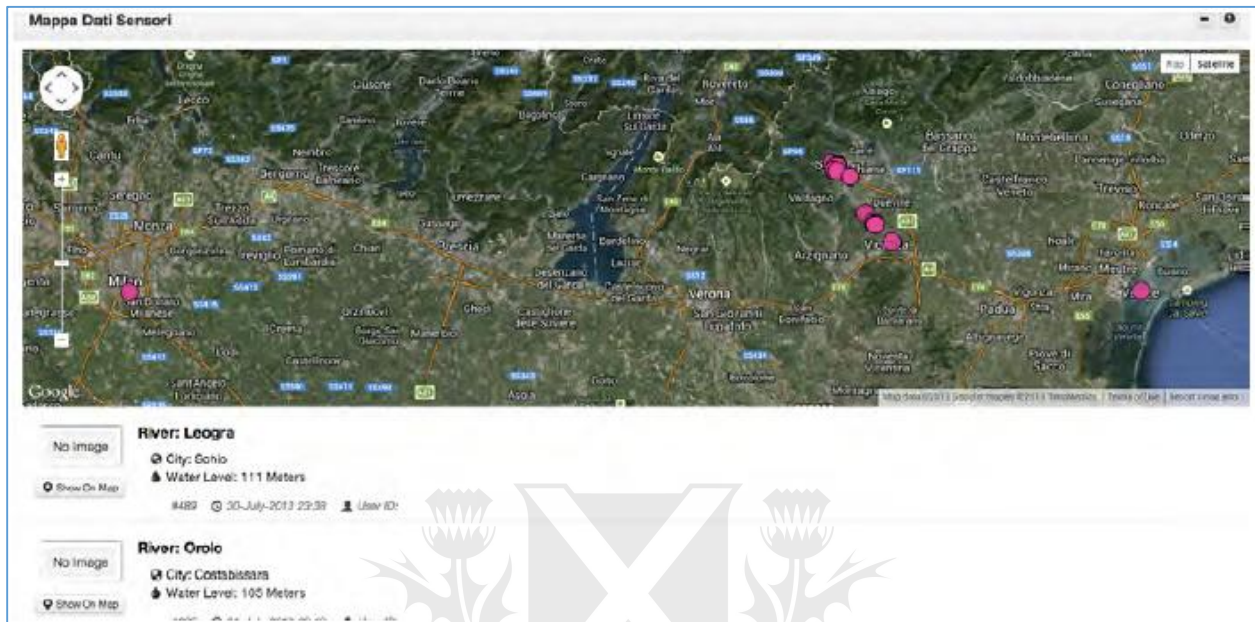


Figura 72. Mapa suministrado por la aplicación “Kite” con la ubicación de los sensores.

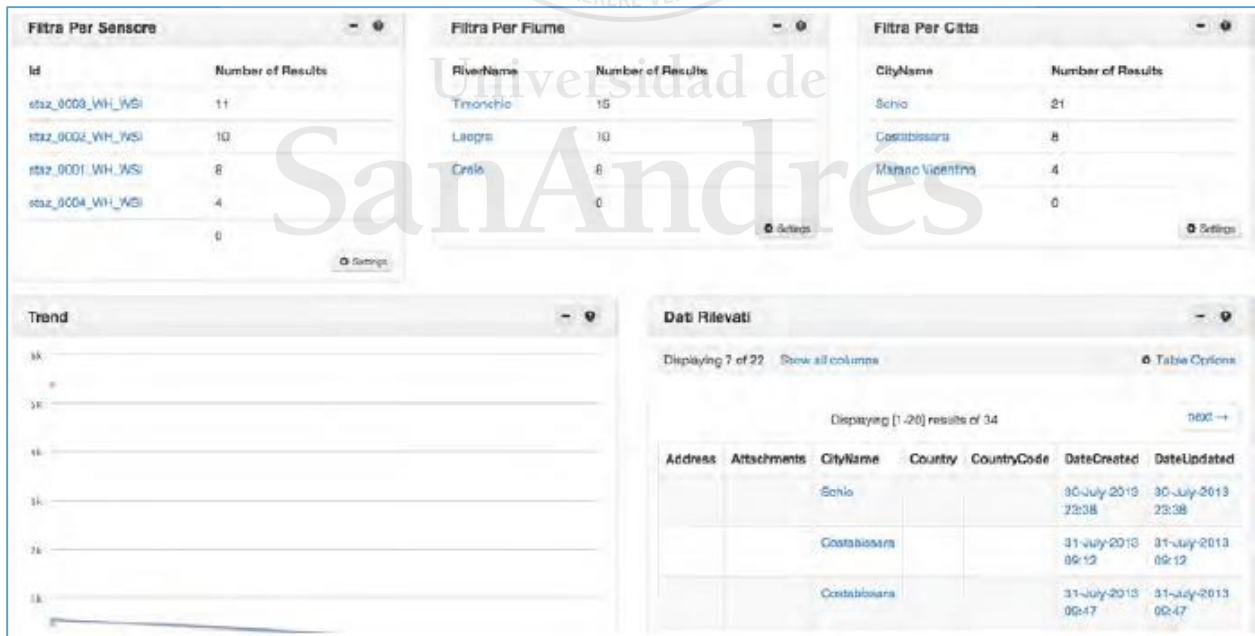


Figura 73. Filtros y reportes para explotar la información vía web.



Figura 74. Modelo de Observación propuesto por "WeSenseIt"

Finalmente, el modelo de observación ciudadana no solo integra a las personas que colaboran realizando mediciones a través de dispositivos propios, sino que también utiliza las redes sociales como medio de comunicación y difusión de los eventos meteorológicos. Genera un espacio para el intercambio de información que permite hacer crecer la red de manera colaborativa.

13. Conclusiones

Luego de haber investigado en 2 ciudades de Argentina sobre los sistemas implementados de sensores de agua IoT, y de haber analizado múltiples investigaciones sobre sistemas de monitoreo fluvial, puedo concluir que un sistema de monitoreo de agua es viable de implementarse en ciudades de Argentina. Especialmente dada la información recolectada en el Municipio de Mercedes y en experiencias realizadas en Italia e Inglaterra utilizando procesadores de bajo costo.

Así mismo, luego de relevar diferentes sistemas de alertas ante inundaciones, puedo confirmar que es posible anticipar eventos meteorológicos extremos gracias a la sensorización de los flujos de agua.

Existe tecnología de bajo costo que permite implementar sensores de tecnología estándar para la medición de los cauces de agua. Estas tecnologías se basan en sistemas abiertos, que permiten reutilizar avances tecnológicos tanto en hardware como en software a precios accesibles.

Para la construcción de sensores recomiendo utilizar alguna de las siguientes soluciones de hardware relevadas en este trabajo:

- Raspberry Pi 3 (Kit 32GB Edition, usd75) (Pi, 2016)
- Arduino (Vilros Uno Ethernet Ultimate Kit, usd70) (Kit, 2016)

Ambas soluciones proveen la capacidad de procesamiento de una pequeña PC. Y permiten la lectura de sensores de temperatura, humedad, nivel y velocidad del agua. Estos sensores son conectados por cable a la unidad de procesamiento.

Así mismo, ambas soluciones proveen conectividad ya sea infrarroja, bluetooth o wifi. Con lo cual permiten el envío de información vía una red WAN del Municipio. Por otro lado, y tal fue evidenciado en el relevamiento en la ciudad de Mercedes, estos dispositivos permiten la utilización de paneles de energía solar como fuentes de poder alternativo. Y el almacenamiento de energía de contingencia en baterías para su contingente utilización.

Por otro lado, es indispensable la utilización de una red con excelente calidad de servicio a la hora de transmitir los datos. Y que tengan disponibilidad aún en casos de condiciones meteorológicas altamente adversas. La recomendación es entonces reutilizar las redes locales que ya poseen los servicios de emergencias. La red tetra utilizada por la Ciudad de Buenos Aires es una excelente opción, pero se tendrá que analizar en cada Municipio la mejor alternativa disponible.

Finalmente, es necesario la construcción de un aplicativo web para poder recolectar los datos, analizarlos, y disparar alarmas en caso de ser necesario. Este aplicativo tendrá que publicar la información en una web accesible desde una PC o un celular. Y si pudiera disponibilizarse una

aplicación en los smartphones para disparar sistemas de alarmas sería óptimo. Así mismo, el aplicativo tendría que soportar la suscripción de los ciudadanos a las futuras alarmas por crecidas inminentes del río. E incipientemente, el dotar al aplicativo con un espacio de intercambio ciudadano como se relevó en la experiencia “WeSenseIt” permitirá generar un espacio para el crecimiento de la red a través de la interacción de pares.

Por otro lado, en análisis de los valores recolectados por los sensores debe ser analizado utilizando herramientas de “machine learning”. De manera de poder identificar proactivamente las variables que anteceden a un evento meteorológico severo. Y a través de la experiencia en el análisis de eventos pasados, vislumbrar el futuro.

En el futuro inmediato, entiendo que es factible que pequeños municipios afectados por las crecidas de flujos de agua en su territorio se sumen a la sensorización. El costo de implementación como he relevado es bajo. Y permitiría tener un valioso beneficio para la población. La cuantificación del beneficio para la población es muy difícil de materializar. ¿Cuál es el beneficio económico que tendrían las familias al posibilitar huir ante una alerta temprana de inundación? ¿Cuál es el valor que tendrán las pertenencias que una familia puede salvar conociendo que el agua se avecina en unas horas? Es una pregunta que no pude responder cuantitativamente... Aunque si he recibido una respuesta que va más allá de un monto o un ratio... El Subsecretario de Reforma y Modernización del Estado en el Municipio de Mercedes, Maximiliano Chismerman, me dio una contestación que resume el valor exacto que se podría salvar para las familias afectadas por una inundación... “Daría lo que fuera por conservar las fotos de mi esposa para mis hijos antes de que venga el agua”.

En el mediano plazo, se tendría que coordinar la actividad de los municipios que comparten una cuenca hidrográfica. Por ejemplo, los Municipios que comparten la cuenca del Salado deberían comenzar a trabajar en conjunto para compartir sus mediciones y permitir de esta manera detectar las crecidas con mayor anticipación. En especial para las localidades localizadas aguas abajo. Por otro lado, se deberá comenzar a replanificar la urbanización de los habitantes en zonas que se anegan ante la crecida de los ríos. Dado que hay zonas naturalmente inundables no habitables que han sido pobladas. Por otro lado, se deberá colaborar con la limpieza de las cuencas (saneamiento), de modo de permitir la normal circulación del agua y reducir las crecidas de los ríos.

Con respecto a la limpieza de las cuencas, en la Provincia de Buenos Aires se acaba de anunciar la canalización del río Salado. Y por otro lado, se ampliará el cauce del río Lujan para 15 municipios beneficiando a 2,5 millones de personas. Sin duda que esta obra ayudará a disminuir las crecidas en la zona de Mercedes. (Obarrio, 2016)

A largo plazo, vislumbro que se podrán realizar canales aliviadores para las principales cuencas que atraviesan la Provincia de Buenos Aires. Y a través de sensores, poder manejar la apertura y el cierre de las compuertas de dichos canales aliviadores. Sin duda para alcanzar este nivel de sofisticación contingente a la crecida de los flujos de agua, se requerirá grandes obras de infraestructura. Como así también coordinar la implementación de sensores inalámbricos que puedan intercomunicarse y accionar las compuertas.

14. Definiciones

A continuación unas breves definiciones sobre terminología utilizada en la presente tesis:

IoT (Internet of Things): El “internet de las cosas” es un concepto que se refiere a la interconexión digital de objetos cotidianos con internet. (Wikipedia, IoT Definition, s.f.). Permite el intercambio de información con los dispositivos conectados.

Wireless Sensor Network (WSN): Las redes de Sensores inalámbricos son “sensores espacialmente distribuidos y autónomos para monitorear las condiciones físicas o ambientales, tales como temperatura, sonido, presión, etc. y para cooperativamente pasar sus datos a través de la red a una locación central” (Wikipedia, WSN, s.f.).

Central Monitoring Office: Oficina Central de Monitoreo. Utilizada para analizar los datos recolectados por los sensores desplegados en los flujos de agua.

Universidad de
SanAndrés

15. Material de Investigación

- Ambientales, C. d. (2004). *INFORME FINAL IAI ENSO ARGENTINA. Capitulo 2 (Análisis Nacional)*. Buenos Aires: ENSO.
- Anthone Andrade, M. V. (2014). A wireless mesh sensor network framework for river flood detection which can be used as an emergency communications network in case of disaster. *International Conference on Hydroinformatics*.
- Basha, E., & Rus, D. (2007). *Design of Early Warnings Flood Detection Systems for Developing Countries*. Cambridge, MA, USA: Massachusetts Institute of Technology.
- Bertoni, J. C. (2004). *Inundaciones Urbanas en Argentina*. Córdoba, Argentina: Global Water Partnership. Programa Asociado de Gestión de Crecidas, América del Sur. Universidad Nacional de Córdoba. Comité Permanente de los Congresos Nacionales del Agua, Arg. Red Argentina de Capacitación y Fortalecimiento de los Recursos Hídricos.
- Bhave, A. A. (2015, February). Flood Detection System Using Wireless Sensor Network. *International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering*.
- Bryson Bates, Z. K. (2008). *Climate and Change Water*. Intergovernmental Panel on Climate Change (Australia, UK, Germany and China).
- DECISIONS, C. (2008). *Fact Finding Committee [online]*. Government of Mauritania.
- Development, M. o. (2011). *The Mauritius Environment Outlook (MEO) Report*. Government of Mauritius.
- E. R. Musaloiy, A. K. (2006). *Life under your feet: A wireless soil ecology sensor networks*. Baltimore: Microsoft Research.
- Gesch, D. (2007). Topography-based Analysis of Hurricane Katrina Inundation of New Orleans. En G. S. G.S. Farris, *Science and the Storms: the USGS Response to the Hurricanes of 2005*. Virginia: US Department of the Interior. US Geological Survey.
- Gustavo Furquim, F. N. (2014). Combining Wireless Sensor Networks and Machine Learning for Flash Flood Nowcasting. *Advanced Information Networking and Applications Workshops*.
- HoyMercedes.com*. (12 de March de 2016). Obtenido de Actualidad del Municipio de Mercedes: <http://www.hoymercedes.com.ar/principal/2016/03/12/mercedes-sede-de-importante-reunion-por-la-cuenca-del-rio-lujan/>
- Hughes, D., Greenwood, P., Blair, G., Coulson, G., Pappenberger, F., Smith, P., & Beven, K. (2006). An Intelligent and Adaptable Grid-based Flood Monitoring. *UK eScience All Hands Meeting 5th*.
- Indira, P., Sahoo, K., & Mallic, C. (2015). Flood Prediction and Prevention through Wireless Sensor Networking (WSN): A Survey. *International Journal of Computer Applications*, Volume 113, No.9.

- Joel T. de Castro, G. M.-C. (2013). Flash Flood Prediction Model based on Multiple Regression Analysis for Decision Support System. *Proceedings of the World Congress on Engineering and Computer Science*, (pág. Vol 2). San Francisco.
- KHEDO, K. K. (2014). Real Time Flood Monitoring Using Wireless Sensor Networks. *THE JOURNAL OF THE INSTITUTION OF ENGINEERS MAURITIUS*.
- Kit, A. (04 de 2016). *Amazon*. Obtenido de http://www.amazon.com/Arduino-Ultimate-Starter-page-Instruction/dp/B00BT0NDB8/ref=sr_1_1?ie=UTF8&qid=1461498175&sr=8-1&keywords=arduino.
- Kung, H., Hua, J., & Chen, C. (2010). Wireless Sensor Network for Prediction of Tides using Mamdani Fuzzy Inference System". *International Journal of Computer Information Systems*, Volume 1, Number 2.
- Mauricio Castillo-Effen, D. H. (2004). Wireless Sensor Networks for Flash-Flood Alerting. Devices, Circuits and Systems. *Proceedings of the Fifth IEEE International*.
- Mercedes Digital*. (22 de 04 de 2016). Obtenido de Portal de Datos Abiertos: datos.mercedes.gob.ar
- Mokashi, S. S. (December 2014). Survey on Real-Time Flash-Flood Monitoring, Alerting and Forecasting System using Data Mining and Wireless Sensor Network. *International Journal of Advance Research in Computer Science and Management Studies*, 297-302.
- Mundial, B. (2000). *Argentina, Gestión de los recursos hídricos. Elementos de política para su desarrollo sustentable en el siglo XXI*. . Argentina: Volumen I-Informe Parcial. Informed Nro 20729-AR.
- Nanda, A., Dinda, B., Rath, R., & Pradhan, S. (2011). *Wireless Sensor Network for Super Cyclone Predicting Using Artificial Neural Network*. Orissa, India: Asian Journal of Computer Science and Information Technology.
- Naveed Ahmad, M. H. (2013). Flood Prediction and Disaster Risk Analysis using GIS based Wireless Sensor Networks, A Review. *Journal of Basic and Applied Scientific Research*, 632-643.
- NW, A. (2004). *Climage Change and global water resources*. Global Environmental Change.
- Obarrio, M. (25 de 04 de 2016). *La Nación*. Obtenido de El gobierno lanza un plan de obras para activar la economía: <http://www.lanacion.com.ar/1892497-el-gobierno-lanza-un-plan-de-obras-para-activar-la-economia>
- Ootamakorn, J. S. (2011). Real-time flood monitoring and warning system. *Songklanakarin Journal of Science and Technology*.
- Oracle. (05 de 2016). *Sun Spot Dev*. Obtenido de Sun Spots (the device is no longer manufactured): <http://sunspotdev.org/>
- Pi, R. (04 de 2016). *Amazon*. Obtenido de http://www.amazon.com/CanaKit-Raspberry-Complete-Starter-Kit/dp/B01C6Q2GSY/ref=sr_1_2?ie=UTF8&qid=1461496990&sr=8-2&keywords=raspberry+pi.

- Picco, L. M. (2015). Programming Wireless Sensor Networks: Fundamental Concepts and State of the Art. *Draft Paper. University of Trento, Italy.*
- Robert J. Moore, S. J. (2006). Issues in flood forecasting: ungauged basins, extreme floods and uncertainty. *Frontiers in Flood Research / Le point de la recherche sur les crues.*
- Rowland, J. S. (2006). *Temporal Analysis of Floodwater Volumes in New Orleans After Hurricane Katrina.* Sioux Falls: Center for Earth Resources Observation and Science (EROS Data Center).
- Stokman, H. v. (1990). *Water management and remote sensing.* Amsterdam: Netherlands organization for applied scientific research.
- System, W. M. (May de 2016). *MEMSIC INC.* Obtenido de MICAz:
http://www.memsic.com/userfiles/files/Datasheets/WSN/micaz_datasheet-t.pdf
- The National Map.* (2015). Obtenido de USGS. Science for a changing world.:
<http://viewer.nationalmap.gov/launch/>
- Unidata. (05 de 06 de 2016). *Unidata. Environmental monitoring and industrial measurement.* Obtenido de Starflow LCD Display Unit: <http://www.unidata.com.au/products/water-monitoring-modules/starflow-lcd-display-unit>
- V.A. Bell, A. K. (2007). Development of a high resolution grid-based river flow model for use with regional climate model output. *Hydrology & Earth System Sciences.*
- Verne, J. (1865). *Les enfants du Capitaine Grant.* France: Pierre-Jules Hetzel.
- Victor Seal, A. R. (2012). *A simple flood forecasting scheme using Wireless Sensor Networks.* India: International Journal of Ad hoc, Sensor & Ubiquitous Computing (IJASUC) Vol.3, No.1,.
- Vitaveska Lanfranchi, N. I. (2014). Citizens' Observatories for Situation Awareness in Flooding. *Proceedings of the 11th International ISCRAM Conference – University Park.* . Pennsylvania, USA.
- Wikipedia. (s.f.). *IoT Definition.* Obtenido de Wiki IoT:
https://es.wikipedia.org/wiki/Internet_de_las_cosas
- Wikipedia MAN.* (s.f.). Obtenido de Red de área Metropolitana:
https://es.wikipedia.org/wiki/Red_de_%C3%A1rea_metropolitana
- Wikipedia. (s.f.). *Terrestrial Trunked Radio.* Obtenido de Terrestrial Trunked Radio:
https://es.wikipedia.org/wiki/Terrestrial_Trunked_Radio
- Wikipedia, WSN.* (s.f.). Obtenido de WSN definition:
https://en.wikipedia.org/wiki/Wireless_sensor_network

16. Anexo 1: Material “Caso de éxito BGH”

BGH Tech Partner

Caso de éxito



Buenos Aires Ciudad

La Ciudad de Buenos Aires ahora cuenta con un sistema de alerta temprana para inundaciones.

El Ministerio de Ambiente y Espacio Público del Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires implementó un Sistema integrado de Captura, Administración y Gestión de datos meteorológicos y de estado de la Red de Desagües Pluviales.

Contexto

Las consecuencias de las inundaciones se han intensificado en las últimas décadas, causando un gran deterioro en las ciudades y la calidad de vida de sus habitantes, y provocando serios problemas sociales y pérdidas económicas.

En los últimos años, el nivel de lluvias y las olas de calor han superado todos los récords, y los futuros escenarios muestran un incremento en la frecuencia y la intensidad de las tormentas y, por ende, del riesgo de inundación. En abril de 2013, la ciudad de Buenos Aires alcanzó el récord de 196,4 mm de agua acumulados en 24 horas de lluvia, en una tormenta que tuvo serias consecuencias. Las pérdidas materiales superaron la cantidad de 300 millones de dólares, sumado al alto impacto sufrido en infraestructura, suministro de energía, agua y gas, y en las comunicaciones y transporte, entre otros perjuicios. Pero los mayores desafíos se relacionan con la población de menores ingresos, asentados a las orillas de los ríos, dada su limitada capacidad de recuperación material. Esto condujo a la urgente necesidad de desarrollar un plan que pudiera reducir y mitigar las consecuencias y prevenir las inundaciones, dando lugar a acciones de corto y de largo plazo.

Desafío

La Ciudad de Buenos Aires es la segunda mayor área urbana de Sudamérica y una de las principales urbes del mundo. A medida que aumenta su crecimiento, también lo hacen los desafíos para los gobiernos, que deben buscar formas inteligentes de gestión y de optimización de los recursos. Con 9 arroyos en su territorio, 40.000 sumideros y 1.800 kilómetros lineales de desagües, la Ciudad tenía el reto de diseñar e implementar un sistema integrado de captura, administración y gestión de datos meteorológicos y de estado de la red de desagües pluviales que permitiera reducir la vulnerabilidad de la ciudad frente a las inundaciones, fortaleciendo el sistema de alerta temprana y prevención de las mismas.

Sinopsis

- Con 9 arroyos, 40.000 sumideros y 1.800 kilómetros lineales de desagües, la Ciudad de Buenos Aires tenía el reto de reducir su vulnerabilidad frente a las inundaciones, fortaleciendo el sistema de alerta temprana y prevención de las mismas.

- BGH Tech Partner diseñó e implementó, en conjunto con la Subsecretaría de Mantenimiento del Espacio Público de la Ciudad, un sistema que en la actualidad permite predecir niveles de inundación con antelación para la toma de medidas de prevención y contingencia.

- La solución consistió, en una etapa inicial, en la instalación de una red de 45 sensores en 31 puntos de la Ciudad, conectados por medio de una red de comunicaciones crítica, y operados desde un tablero de control en tiempo real.

“Nosotros teníamos un problema concreto pero no encontrábamos una solución a la altura. Fue la intervención de BGH Tech Partner la que nos permitió generar una alternativa profesional, simple y concreta para una situación específica.”

Rodrigo Silveira,
Subsecretario de Mantenimiento del Ministerio de Ambiente y Espacio Público del GCBA.

Solución

BGH Tech Partner diseñó e implementó el Sistema Inteligente de Administración Meteorológica y Pluvial de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires. Esta Solución, que integró tecnología de Oracle, fue concebida como un proyecto de punta a punta que tiene por objetivo integrar la captura, administración y gestión de datos meteorológicos y de estado de la red de desagües pluviales.

Un tablero de control muestra de forma gráfica los datos recolectados y permite realizar a mediano y largo plazo estudios de lluvias y drenajes, e incorporar información histórica para realizar proyecciones. La acumulación de información y su posterior procesamiento habilita una instancia que permite además de reaccionar en situaciones de emergencia, realizar predicciones más acertadas sobre los fenómenos meteorológicos y su impacto en el sistema pluvial. Conociendo el comportamiento de las lluvias, las temperaturas, los niveles de humedad, la dirección y la velocidad del viento, y la altura de los arroyos, pueden generarse alertas confiables a la comunidad, reduciendo significativamente el nivel de vulnerabilidad, el peligro de lesiones, pérdida de vidas, y daños a la propiedad y al medioambiente.

La solución consiste, en esta primera etapa, en una red de sensores en 31 puntos de la Ciudad, ubicados en desagües pluviales y conductos de agua, conectados por medio de una red de comunicaciones crítica y redundante que no presenta cortes, por lo que la transmisión es constante. Además, se incorporó una plataforma de adquisición de datos que es flexible y escalable. A partir de los sensores se miden distintas variables que pueden ser monitoreadas al instante desde las centrales de control del Gobierno de la Ciudad.

En el subsuelo se instalaron limnógrafos y caudalímetros, que permiten medir la altura, velocidad y caudal de los arroyos. En la superficie, por su parte, se colocaron estaciones meteorológicas con pluviómetros (mediciones de cantidad de lluvia), anemómetros (recolectan información sobre la velocidad y dirección del viento) y medidores de temperatura.

Un panel interactivo en las oficinas del Gobierno de la Ciudad muestra los datos recolectados en tiempo real y presenta, de forma gráfica, el status general (marcando en rojo si hay problemas y verde si los valores son normales). En caso de presentarse situaciones que requieren de atención, el panel muestra en qué cuenca se localiza el conflicto y en qué parte específica de la misma y, finalmente, cuál es el inconveniente puntual.

Cómo funciona el sistema.



“Un ejemplo de lo que permite este tipo de tecnología es automatizar ciertas maniobras que antes eran manuales, como la activación de las bombas de acuerdo a la cantidad de agua que cae durante una lluvia. Otro es mejorar la velocidad de respuesta del sistema de emergencias ante el tiempo de llenado, que mide en cuánto tiempo el agua llegará a la superficie si las condiciones externas continúan igual.”

Rodrigo Silvosa.

Subsecretario de Mantenimiento del Ministerio de Ambiente y Espacio Público del GCBA.

Implementación

El proceso de implementación se llevó a cabo en **cinco etapas**, a lo largo de 10 meses, y en conjunto con distintas áreas del Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires.

Se comenzó por una etapa de relevamiento y planificación que tuvo por objetivo establecer las variables a medir, y la cantidad y localización de los sensores a instalar. Para ello, se conformó un equipo interdisciplinario de Ingenieros hidráulicos y meteorólogos, involucrando a su vez a profesionales de distintos sectores, como Defensa Civil, Emergencias, Desarrollo Urbano, Medio Ambiente, Pluviales, entre otros, quienes pudieron brindar información precisa acerca de las necesidades puntuales que tenía la ciudad y que debían ser contempladas por la solución. Cada una de estas áreas aportó especialistas para, en conjunto, definir la ubicación de los sensores, los índices que se deseaba obtener, y las escalas para identificar las alertas. Como resultado, se decidió comenzar, en una etapa inicial, por la instalación de 30 puntos de captura de datos con 45 sensores que funcionan como pluviómetros, anemómetros, barómetros, limnigrafos y caudalímetros.

En una **segunda etapa**, un equipo de especialistas de BGH Tech Partner trabajó en conjunto con especialistas del gobierno de la Ciudad, para definir los distintos procedimientos requeridos para la instalación de cada sensor. "Dadas las particularidades que presentaban los distintos entornos de ubicación de los sensores, las necesidades en cada caso eran distintas. Hubo que instalar sensores en veredas y terrazas, por ejemplo, y otros bajo tierra, siendo necesario para cada situación un equipamiento y una metodología diferente", explicó Jorge Harán, Vicepresidente de Producto y Soluciones de BGH Tech Partner. Y agregó: "Se necesitó, por ejemplo, vestimenta especial en algunos casos, tanques de oxígeno en otros, y hasta el apoyo de Defensa Civil".

La **tercera etapa** del proyecto consistió en integrar este equipamiento de sensores a un sistema de comunicación, que permitiera centralizar los datos capturados por los sensores en un Data Center. "Al ser un sistema de prevención crítico, debe estar en funcionamiento las 24 horas de los 7 días de la semana, por lo que se decidió utilizar el sistema de comunicaciones de la Policía Metropolitana", afirmó Harán. Sobre ese sistema de comunicaciones, hoy se transportan los datos capturados por la red de sensores.

"Dadas las particularidades que presentaban los distintos entornos de ubicación de los sensores, las necesidades en cada caso eran distintas. Se necesitó, por ejemplo, vestimenta especial en algunos casos, tanques de oxígeno en otros, y hasta el apoyo de Defensa Civil."

Jorge Harán.

Vicepresidente de Producto y Soluciones de BGH Tech Partner.



Instalación de sensores con la colaboración de defensa civil.



Instalación de sensores en desagües pluviales y conductos de agua.

La **cuarta fase** consistió en diseñar un tablero de control en tiempo real desde el cual operar el sistema. El mismo debía integrar tres funciones fundamentales para lo cual se creó un sistema de indicadores, un sistema de control y un sistema analítico de datos. "Allí cada uno de los usuarios del GCBA, implicados tanto en los mecanismos de prevención como de emergencia, y todas aquellas áreas que de alguna forma se beneficiaran de esta información, visualiza todos los datos que se van capturando para un mejor desempeño de sus tareas".

La **etapa final** fue la puesta en marcha del sistema que a su vez requirió de un gran esfuerzo de capacitación del personal que iba a hacer uso del mismo. El entrenamiento abarcó tres áreas principales: lectura e interpretación de la información arrojada por el sistema, operación del sistema en situaciones ordinarias y extraordinarias, y procedimientos básicos de mantenimiento.

"Este Sistema Integrado -enmarcado dentro de la tendencia Smart Cities- tiene por objetivo brindar servicios de información en tiempo real y, además, generar una base estadística inteligente que permita mayor eficiencia en el control y toma de decisiones para situaciones de emergencia."

Marcelo Girotti,
CEO de BGH TechPartner.

Beneficios

El sistema permite predecir niveles de inundación con antelación para la toma de medidas de contingencia, obtener información en tiempo real y automática para dar soporte a las acciones del área de emergencias, actualizar parámetros de diseño del modelo hidráulico, focalizar la inversión de las obras con las que se consiguen mejores resultados, y mantener informada a la población sobre los eventos climáticos y pronósticos.

Algunas aplicaciones relacionadas a emergencias que resultan de esta solución, y que impactan directamente sobre la capacidad de brindar respuesta a la ciudadanía para preservar su seguridad son: establecer acciones preventivas de asistencia médica y social, monitorear fenómenos meteorológicos, emitir advertencias a otras instituciones y organismos, y al público en general; operar automáticamente estaciones de bombeo y compuertas, enviar equipos de limpieza a desagües comprometidos, y generar respuestas operativas de manera temprana, previniendo mayores conflictos.

BGH Tech Partner

Acerca de BGH Tech Partner:
Expertos en integrar IT y diseñar soluciones tecnológicas innovadoras para resolver necesidades de infraestructura y optimizar procesos de negocios en los distintos segmentos del mercado.