Detección temprana de contaminantes en el agua potable

PISANI, Cesar Adrián
Profesora: Ana Darcacha
Fecha de Presentación: 25/06/2024

***Resumen* — Las ciudades cuentan con plantas potabilizadoras donde se trata el agua para que sea apta para el consumo, y también realizan controles para verificar que así sea. ¿Pero se puede asegurar que el agua que sale de las canillas de los hogares es segura? En este trabajo se analiza cómo se pueden prevenir enfermedades a partir de un control del agua justo antes de ser bebida. También se explican métodos para que los gobiernos y/o entes reguladores del agua puedan actuar proactivamente en la detección de zonas con agua no apta para su consumo, previniendo enfermedades, liberando hospitales y aumentando la calidad de vida de los ciudadanos.**

I. PALABRAS CLAVE

Agua potable – Contaminantes – *ROSALIND* – Sensores RGB – Internet de las Cosas (IoT) – Base de datos geográfica – Sistemas de Información Geográficos (SIG)

II. INTRODUCCIÓN

Cuando se mencionan problemas con el agua potable, se suele pensar en zonas de bajos recursos, lugares alejados de la ciudad, o en personas que no tienen acceso a ella. Y se descarta el agua potable de las ciudades. Tener acceso a ella no significa que esté libre de contaminantes, los cuales pueden causar enfermedades a corto y largo plazo, enfermedades con consecuencias muy severas para la salud y que incluso pueden causar la muerte. Actualmente, los controles sobre el agua potable en las ciudades se realizan en las distribuidoras, pero desde ese punto hasta que sale por las canillas de los hogares, el agua puede volverse no apta para el consumo.

Que el agua potable no posea la calidad necesaria para poder ser bebida es un problema muy distinto a no tener acceso a ella y, por lo tanto, se deben resolver de formas distintas. Existen dispositivos que permiten evaluar si existen contaminantes en el agua de forma muy rápida y sin necesidad de incurrir en costos elevados para su desarrollo o implementación. En el marco de este trabajo se explica cómo se pueden implementar dichos dispositivos en las casas, cómo se pueden conectar a internet para informar los resultados obtenidos, y la forma de recolectar y unificar dichos datos, para que los gobiernos de las ciudades y/o entes reguladores del agua dispongan de ellos y los utilicen para detectar proactivamente zonas de la ciudad con agua contaminada, lo que permitirá advertir a los habitantes y, por ende, prevenir enfermedades.

III. JUSTIFICACIÓN

En la antigüedad, las personas que se instalaban en nuevas tierras, lo hacían cerca de una fuente de agua. Es la principal fuente de vida, pero también puede ser una fuente de infecciones. Desde el siglo XVIII se conoce la relación entre la calidad del agua y las enfermedades. Se sabe que consumir agua contaminada puede producir diarrea, síntoma que ocurre en todo el mundo y provoca el 4% de todas las muertes. Otra consecuencia son las infecciones gastrointestinales, que matan a unas 2,2 millones personas en todo el mundo cada año, en su mayoría chicos en países en desarrollo [1]. Las aguas estancadas y contaminadas también contribuyen a los casos de tracoma [1] (infección ocular que afecta ambos ojos, y es la principal causa de ceguera infecciosa del mundo [2]). También hay estudios donde se analiza la asociación entre la exposición a largo plazo a los nitratos del agua potable y el riesgo de cáncer colorrectal (CCR). Los nitratos pueden provenir, por ejemplo, de los fertilizantes utilizados en los cultivos [3]. Otro ejemplo es el estudio que revisa cómo el agua potable se puede convertir en una fuente de exposición al plomo. El plomo puede ingresar al agua potable desde las tuberías antiguas, que eran de este material, y tiene efectos negativos en el desarrollo neurológico en los niños, incluso a niveles bajos de exposición [4].

En zonas donde hay agua potable, el último punto de control sobre ella se realiza en las distribuidoras, pero esto no asegura que el agua que se consume esté libre de contaminación. Un ejemplo de esto fue lo ocurrido en Caucete, una ciudad de 45 mil habitantes de la Provincia de San Juan, Argentina. En 2017 se intoxicaron 400 personas por una falla en la planta potabilizadora [5]. Y existen factores que no están medidos, pero que también se consideran fuentes de contaminación, como puede ser la infraestructura de los edificios con cañería antigua, o incluso que la red de distribución de agua potable no sea óptima. Esto último es lo que sucedió en 2014 en Flint, Michigan, Estados Unidos. Se comenzó a utilizar agua del río Flint para abastecer al pueblo, la cual era apta para beber. Sin embargo, al ser un agua más dura y corrosiva, produjo que se desprendiera plomo de las tuberías, causando una de las crisis sanitarias más importantes de Estados Unidos. Fueron afectadas aproximadamente 30 mil personas, un tercio de la población de Flint, y se estima que 8 mil chicos menores de cinco años pudieron llegar a sufrir secuelas irreversibles [10].

Por eso se requiere de un sistema que permita medir fácilmente la calidad del agua que sale de la canilla en los

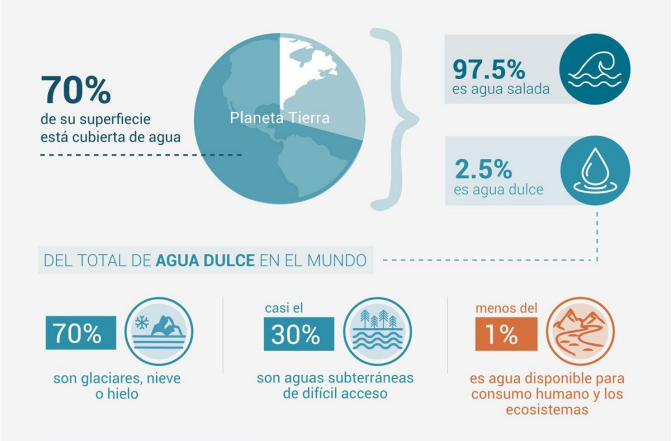
hogares y, además, que centralice esa información y permita identificar de forma proactiva zonas de riesgo. Un sistema que detecte y alerte posibles áreas donde el agua esté contaminada, para poner en aviso a los residentes y evitar intoxicaciones. Prevenir estos incidentes aliviará la carga de los hospitales y recursos de los mismos, reflejándose en un ahorro económico. Al fin de cuentas, es una mejora directa en la calidad de vida de los habitantes.

IV. MARCO TEÓRICO

A. Factores que afectan la calidad del agua

El Consejo Nacional de Defensa de los Recursos (*NRDC* de sus siglas en inglés) define la contaminación del agua de la siguiente forma: "La contaminación del agua ocurre cuando sustancias nocivas (a menudo químicos o microorganismos) contaminan un arroyo, río, lago, océano, acuífero u otro cuerpo de agua, degradando la calidad del agua y volviéndola tóxica para los humanos o el medio ambiente" [16].

El agua es esencial para la vida, pero es un recurso limitado. El 70% de la superficie del planeta Tierra está cubierto de agua, pero solo el 2,5% de agua es dulce, es decir, es bebible. Y de ese pequeño porcentaje, menos del 1% está disponible para el consumo humano y su utilización (agropecuario, recreativo, etc.), ya que se estima que el 99% restante no es accesible directamente por estar congelada en los glaciares o en acuíferos demasiados profundos y de difícil acceso [7].



El agua en el planeta Tierra [7].

Sin embargo, tampoco se puede asegurar que este pequeño porcentaje de agua disponible sea bebible, porque la cantidad y calidad del agua potable a la que las personas tienen acceso depende de múltiples factores, los cuales se describen a continuación [6].

- *Las inundaciones y las sequías consecuencias del cambio climático.* El cambio climático ha provocado que los fenómenos meteorológicos extremos sean cada vez más frecuentes y potentes. Esto se debe a que, al aumentar la temperatura a nivel mundial, la atmósfera es capaz de contener más humedad, cuyo resultado son tormentas y lluvias torrenciales, pero también periodos de sequía más largos e intensos. Para el siglo XXI, se prevé que habrá zonas del planeta con mayores tormentas, provocando inundaciones, y otras zonas con sequías más extremas. Desde el año 2000, y en comparación con los veinte años anteriores, los desastres relacionados con inundaciones aumentaron un 134%, y las sequías aumentaron un 29% [8]. Y si se toman los últimos 50 años, las inundaciones y sequías encabezan la lista de desastres naturales en lo que respecta a pérdidas humanas y económicas, representando el 50% de todas las catástrofes y provocando el 45% de las muertes registradas [9]. Y por cada grado que aumenta la temperatura global, los riesgos de inundaciones y sequías aumentarán. Todos estos problemas afectan la calidad del agua, ya que influyen directamente en el aumento de su contaminación, desde sedimentos hasta patógenos y pesticidas [8].
- *La deforestación.* Ocurre en todas partes del planeta, viéndose mayormente afectadas las zonas tropicales y subtropicales, como por ejemplo el Amazonas, la región del Congo en África o las selvas de Borneo. Esta actividad tiene impacto directo en el cambio climático y, por ende, en las inundaciones y las sequías. Por un lado, los árboles son una forma natural de procesar el CO^2 (dióxido de carbono), el principal responsable del calentamiento global. Casi un tercio de la superficie del planeta está cubierta por árboles, el cual nutre el 75% de las fuentes de agua dulce, sin mencionar la gran diversidad de plantas y animales que viven en ellas [12]. Los bosques tropicales tienen un papel fundamental en sus ecosistemas. Por ejemplo, el Amazonas regula el agua de gran parte de Sudamérica, ya que "recarga" el aire de humedad y genera lluvias en zonas distantes. Sin la selva, las zonas alimentadas por estas lluvias serías áreas más secas y áridas. Además, los bosques funcionan como un almacenador de agua, cumpliendo dos funciones: regular el caudal de los ríos mitigando las crecientes y, por otro lado, liberando agua almacenada durante las épocas más secas [13].
- *La expansión urbana.* Las urbanizaciones producen grandes cantidades de residuos que muchas veces son arrastrados a las cuencas urbanas ("área drenada donde los arroyos y los ríos son reemplazados por un sistema de alcantarillado y saneamiento que también puede estar influenciada por los patrones de consumo de agua de los habitantes de la ciudad" [14]) y, posteriormente, a los ríos durante el proceso de precipitación y escorrentía del ciclo del agua. Este proceso aumenta los contaminantes de los ríos, como sedimentos, metales, aceites, pesticidas, patógenos, etc. Además, la escorrentía sobre las superficies impermeables aumenta la temperatura del agua entre 2,5 y 4,1 grados centígrados, impactando en la temperatura del agua de los ríos [15]. Las ciudades también generan grandes cantidades de aguas residuales. Según las Naciones Unidas, a nivel mundial, más del 80% de estas aguas regresan al medio ambiente sin ser tratadas ni reutilizadas [16].

- *Las actividades humanas de origen urbano, industrial o agrícola.* El sector agrícola es el que más agua potable consume, un 70% de los suministros superficiales del planeta y, además, el más contaminante. Con las lluvias, los pesticidas, los fertilizantes y los desechos animales de las granjas y las operaciones ganaderas arrastran nutrientes y patógenos (como bacterias y virus) a las vías fluviales. La contaminación por nutrientes, como por ejemplo el exceso de nitrógeno y fósforo en el agua o el aire, es la principal amenaza para la calidad del agua en todo el mundo y puede provocar la proliferación de algas verdeazuladas (o cianobacterias) [16], como sucedió en Argentina en 2022, donde el Ministerio de Salud emitió un comunicado por la presencia de dichas algas en aguas recreativas en Buenos Aires, Santa Fe, Entre Ríos y Córdoba. Las cianobacterias liberan toxinas y pueden provocar desde irritaciones en la piel y ojos hasta infecciones gastrointestinales, respiratorias y neurológicas [17].

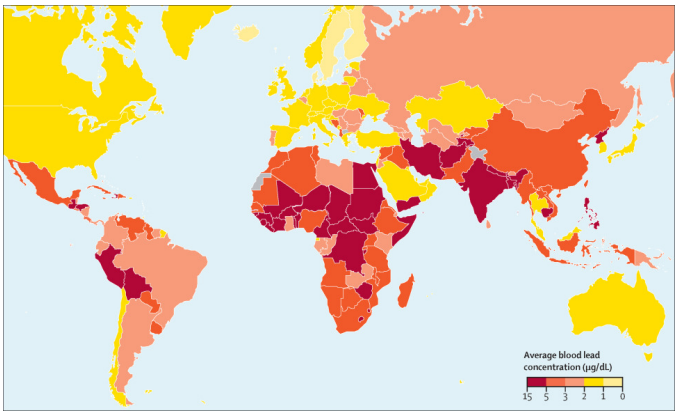
Estos son los casos que tienen mayor visibilidad debido a su enorme impacto, ya que podrían conducir a la degradación de la calidad del agua superficial como consecuencia directa e indirecta. Sin embargo, existe un factor adicional que no suele considerarse pero que también genera pérdidas humanas y económicas, y se vincula a las fallas que se puedan producir en las plantas potabilizadoras y/o la infraestructura de las ciudades. Hay muchos países que aún conservan infraestructura antigua, es decir, caños de plomo. Un ejemplo es Estados Unidos, que en 2023 comenzó a definir un plan cuyo objetivo es eliminar todas las cañerías de plomo del país, un trabajo que demorará 10 años en finalizarse. Y fue justamente en un pueblo de Estados Unidos (Flint, Michigan) donde ocurrió una de las mayores crisis sanitarias del país. En 2014, para ahorrar costos, el alcalde de la ciudad decidió cambiar la fuente de agua que recibía de Detroit por agua del río Flint. A pesar que se trató el agua para ser bebible, era más dura y corrosiva, lo que provocó que se desprendiera plomo de las cañerías e intoxicara a aproximadamente 30 mil personas, lo que representaba un tercio de la población de la ciudad. Se estimó que hasta 8 mil niños menores de cinco años fueron expuestos, pudiendo sufrir daños cerebrales irreversibles. En 2021, la justicia otorgó una indemnización a las familias de 626 millones de dólares [10]. Otro ejemplo es el mencionado anteriormente en Caucete, San Juan, Argentina.

B. Consecuencias del consumo de agua contaminada

El agua contaminada puede producir muchas enfermedades. Se estima que enferma a mil millones de personas en todo el mundo todos los años [16]. Pero también mata. Un estudio realizado por The Lancet [18] indica que desde 2015, mueren 9 millones de personas por año debido a la contaminación, lo que corresponde a una de cada seis muertes en el mundo. Y las muertes por factores de contaminación modernos, consecuencia de la industrialización y la urbanización, han aumentado un 7% desde 2015 y más de un 66% desde 2000.

Los patógenos transmitidos por el agua, en forma de bacterias y virus que causan enfermedades a partir de desechos humanos y animales, son una de las principales causas de afecciones derivadas del agua potable contaminada, como por ejemplo el cólera o la fiebre tifoidea (enfermedad infecciosa potencialmente mortal causada por la bacteria Salmonella). Las emisiones accidentales o ilegales de las instalaciones de tratamiento de aguas residuales, así como la escorrentía de granjas y áreas urbanas, contribuyen con patógenos dañinos a las vías fluviales. Cada año, miles de personas en todo Estados Unidos contraen la enfermedad del legionario (una forma grave de neumonía ocasionada por una bacteria que se encuentra en el agua corriente) [16].

Son muchos los contaminantes que enferman a las personas, dentro de los cuales se encuentra el plomo, que tiene un mayor impacto en los chicos. Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), este metal afecta el desarrollo del cerebro en los niños, lo que causa que tengan un bajo coeficiente intelectual, déficit de atención, problemas de aprendizaje y comportamiento antisocial. Adicionalmente, el plomo también causa anemia, hipertensión, insuficiencia renal e intoxicación de los órganos reproductivos. La OMS afirma que los efectos del plomo son irreversibles [11]. En la siguiente imagen, se puede observar un mapa con la exposición infantil al plomo representada por la concentración promedio de plomo en sangre (µg/dL - microgramo por decilitro) en 2019. Hasta 2021, la concentración de intervención establecida por los Centros para el Control y la Prevención de Enfermedades de Estados Unidos (*CDC* de sus siglas en inglés) era de 5,0 µg/dL. Esta concentración se redujo a 3,5 µg/dL.



Exposición infantil al plomo representada por la concentración promedio de plomo en sangre (µg/dL) en 2019 [18].

Los niños con concentraciones de plomo en sangre iguales a 5,0 µg/dL o superiores, podrían obtener entre 3 y 5 puntos menos en pruebas de inteligencia respecto a los niños con concentraciones de plomo en sangre inferiores a 5,0 µg/dL. A pesar de lo perjudicial que es para ellos, se estima que más de 800 millones de chicos tienen concentraciones de plomo en sangre que exceden 5,0 µg/dL [18].

Otro contaminante muy peligroso para la salud es el arsénico. Se lo asocia, entre otras enfermedades, a la aparición de distintos tipos de cáncer (de piel, pulmón, vesícula y riñón),

enfermedades neurológicas y cardiovasculares, además de problemas durante el embarazo. Un estudio realizado en Argentina en 2016 [19], reveló que aproximadamente 4 millones de argentinos vivían en zonas con altos porcentajes de arsénico en el agua para consumo. Las muestras de agua fueron obtenidas de las provincias de Buenos Aires, Córdoba, Chaco, Mendoza, San Juan, San Luis, Santiago del Estero y Santa Fe. En Buenos Aires, los partidos más comprometidos fueron Junín, Baradero, Tornquist, Suipacha, 9 de Julio y Chacabuco. La mayor parte del agua de la corteza terrestre de esta provincia supera el límite de arsénico de 10 µg/L (microgramo por litro), lo que la convierte en agua no apta para el consumo. Y al norte de la provincia, en localidades como Suipacha, 9 de Julio y Chacabuco, se detectaron concentraciones de más de 50 µg/L de arsénico.

Solo se mencionan algunos pocos de los contaminantes que puede tener el agua potable, pero que tienen impactos catastróficos en la salud de las personas que la beben. Sustancias químicas como el plomo y arsénico, antes mencionadas, el cadmio, mercurio, pesticidas, disolventes orgánicos, entre otros, son tóxicos para las personas, y muchas de estas sustancias químicas están muy extendidas y son utilizadas diariamente, incluso pueden encontrarse en la naturaleza. Y los niños son particularmente susceptibles a sus efectos: incluso las exposiciones en dosis bajas durante períodos clave del desarrollo en la vida fetal y posnatal tienen efectos más graves en la salud que las exposiciones en dosis altas a las mismas sustancias químicas en adultos.

C. Dispositivo de control de contaminantes en el agua

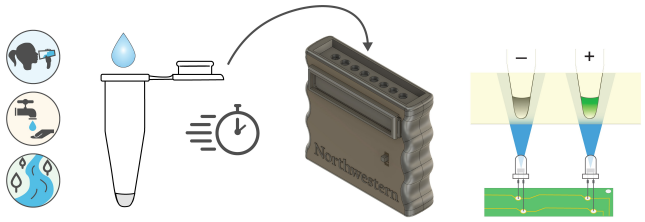
Actualmente, las pruebas para detectar contaminantes en el agua se deben realizar en laboratorios que cuentan con equipos muy costosos y requieren experiencia para operar. Enviar una muestra de agua para analizar puede costar hasta 150 dólares y tomar varias semanas para obtener resultados [20]. Sin embargo, en el año 2020, un equipo liderado por biólogos de la Universidad Northwestern, Illinois, Estados Unidos, desarrolló un dispositivo portátil llamado ROSALIND, que permite detectar contaminantes en el agua en muy pocos minutos, de una forma muy simple, y con un costo de 1 dólar por unidad [20] [21].



Prototipo de ROSALIND [21].

El dispositivo es un biosensor sintético (instrumento que permite medir parámetros biológicos o químicos) que consta de ocho pequeños tubos de ensayo, los cuales se iluminan en verde cuando detecta un contaminante. La cantidad de tubos que brillan dependerá de la concentración de contaminantes del agua analizada. Si se ilumina solo un tubo, entonces la muestra de agua tiene un nivel mínimo. Por el contrario, si los ocho tubos brillan, entonces el agua tiene una alta concentración. ROSALIND puede detectar más de 17 contaminantes diferentes en una sola gota de agua, como cobre, plomo, zinc, cadmio, arsénico, varios tipos de antibióticos e incluso elementos presentes en maquillaje [20].

Julius Lucks, profesor de Ingeniería Química y Biológica, y líder del equipo, explicó de forma simple su funcionamiento: "Descubrimos cómo las bacterias 'saborean' naturalmente las cosas en el agua. Lo hacen con pequeñas 'papilas gustativas' a nivel molecular. La biología sintética sin células nos permite extraer esas pequeñas papilas gustativas moleculares y colocarlas en un tubo de ensayo. Luego podemos 're-cablearlos' para producir una señal visual. Se ilumina para permitir al usuario ver rápida y fácilmente si hay un contaminante en el agua" [20].



Funcionamiento de ROSALIND [34].

Las pruebas sobre el dispositivo fueron exhaustivas, verificando los suministros de agua municipales y comparando sus resultados con análisis de laboratorio [22].

D. Dispositivos inteligentes (IoT)

Cada vez se utiliza más el término IoT (Internet of Things, *Internet de las Cosas* en español), que crece a un ritmo acelerado con nuevos dispositivos que se van conectando a internet y que traen nuevas experiencias a la vida diaria de las personas, como por ejemplo, electrodomésticos para los hogares, domótica (automatización de tareas relacionadas con la seguridad, el bienestar y el confort mediante un sistema inteligente instalado en una vivienda o edificio [23]), salud, vigilancia del medio ambiente o ciudades inteligentes [24].

El término Internet de las Cosas se refiere a la interconexión de objetos (sensores, motores, electrodomésticos, etc.) por medio de una red que funciona incluso sin la intervención de las personas [25]. Estos objetos, que pueden ser llamados "dispositivos inteligentes", encuentran en la tecnología inalámbrica la vía fundamental para comunicarse entre ellos y hacia internet, para aprovechar los servicios que esta ofrece en relación con la monitorización y control de dichos dispositivos [24]. Y aquí se encuentra la

principal ventaja de Internet de las Cosas: tiene la capacidad de recopilar, analizar y monitorear cualquier dato que, reunidos, se convierten en información y conocimiento [26].

Y hay dos componentes que son de gran importancia para "darle inteligencia" a un dispositivo: Raspberry Pi y Arduino. Raspberry Pi es una placa computadora de bajo costo, se podría decir que es un ordenador de tamaño reducido, del orden de una tarjeta de crédito. A pesar de que esta mini computadora fue creada con fines educativos, ha revolucionado el campo de los sistemas embebidos (sistemas de computación basados en un microprocesador o un microcontrolador diseñado para realizar una o algunas pocas funciones dedicadas [27]), y gracias a su versatilidad se implementó en áreas ajenas a la educación, como por ejemplo la agricultura. Por otro lado, está Arduino, que es una plataforma de prototipos electrónica de código abierto (open-source) basada en hardware y software flexibles, y fáciles de usar. Arduino puede "sentir" el entorno mediante la recepción de entradas desde una variedad de sensores y puede afectar a su alrededor mediante el control de luces, motores y otros artefactos. Los proyectos de Arduino pueden ser autónomos o se pueden comunicar con software en ejecución en una computadora [28].

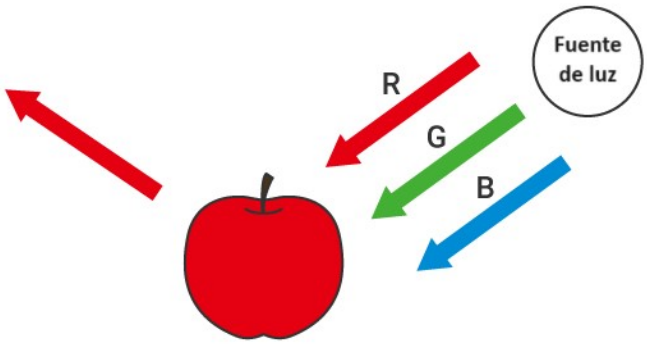
Si bien ambos componentes soy muy flexibles y pueden utilizarse en una gran cantidad de proyectos, son dos conceptos diferentes, lo que hace que cada uno sea mejor para ciertas aplicaciones respecto al otro. Por ejemplo, Raspberry Pi tiene una mayor potencia de cálculo, pero Arduino es mucho más flexible a la hora de conectarse a otros dispositivos como sensores. Sin embargo, a pesar de tener sus diferencias, también pueden utilizarse conjuntamente y aprovechar lo mejor de cada uno [33]. Con estos dos componentes se pueden crear verdaderas computadoras en miniatura, que permiten convertir dispositivos "normales" en "inteligentes".

E. Sensores fotoeléctricos o RGB

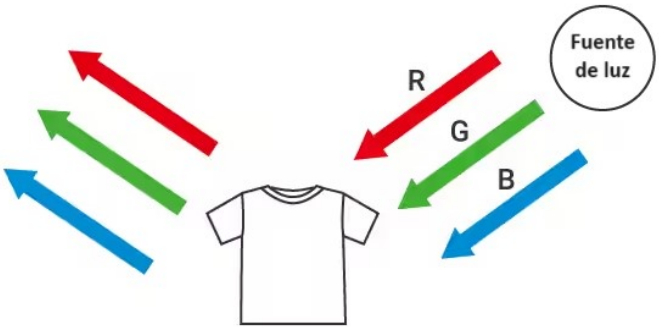
Los sensores son dispositivos diseñados para detectar y responder a algún tipo de información de su entorno físico. Cuando un sensor detecta un cambio en su ambiente, altera sus propiedades eléctricas. Es por esa razón que la mayoría de estos dispositivos dependen de sistemas electrónicos (es decir, una computadora) para capturar, analizar y transmitir información. Existe una amplia variedad de sensores, como por ejemplo de proximidad, presión, temperatura, fotoeléctricos, magnéticos, flujo, ultrasónicos, entre otros, y cada uno de ellos tiene aplicaciones específicas [29].

Los sensores fotoeléctricos o sensores RGB (Red Green Blue) responden a los cambios en la intensidad de la luz, y están diseñados especialmente para la detección, clasificación y posicionamiento de objetos, así como también para detectar formas, colores y diferencias de superficie, incluso bajo condiciones ambientales extremas. Los sensores tienen dos componentes principales: un emisor que genera luz (la cual se refleja en el objeto de detección) y un receptor que percibe la luz reflejada [29] [30].

Existen dos tipos de sensores RGB, aunque su funcionamiento es similar. El primero ilumina el objeto con una luz de longitud de onda amplia. El segundo tipo de sensor ilumina el objeto con tres tipos de luz (roja, azul y verde) de forma independiente. En ambos casos, el receptor detecta la intensidad de luz recibida del color rojo, azul y verde, y calcula la relación entre estos tres colores [30]. En las siguientes ilustraciones se ejemplifica el concepto explicado.

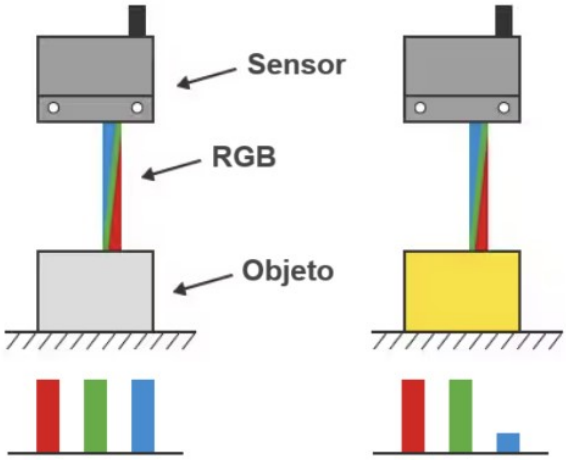


Si se dirige un haz de luz que contiene las longitudes de onda roja, verde y azul a un objeto rojo, solo se reflejará la luz roja [30].



Si se dirige un haz de luz que contiene las longitudes de onda roja, verde y azul a un objeto blanco, se reflejarán los tres colores [30].

El sensor fotoeléctrico calcula la relación de la intensidad de la luz roja, verde y azul que recibe reflejada, y de esta forma distingue las diferencias en el color o el aspecto del objeto [30].



Izquierda: Relación de la luz recibida 1:1:1
Derecha: Relación de la luz recibida 4:4:1 [30]

F. Base de datos y Sistemas de Información Geográficos

Una base de datos es una recopilación organizada de información o datos estructurados que se almacenan electrónicamente. Normalmente, una base de datos está controlada por un Sistema de Gestión de Bases de Datos (DBMS, del inglés *DataBase Management System*), que sirve como interfaz entre la base de datos y sus programas o usuarios finales, permitiendo a éstos recuperar, actualizar y gestionar cómo se organiza y se optimiza la información. Un DBMS también facilita la supervisión y el control de las bases de datos, lo que permite una variedad de operaciones administrativas como el monitoreo del rendimiento, el ajuste, la copia de seguridad y la recuperación [31].

Existen muchos tipos de base de datos, las cuales se diferencian principalmente en la forma de almacenar y recuperar la información. Las relacionales son las más comunes, donde los datos se organizan como un conjunto de tablas con columnas y filas. También existen las orientadas a objetos, donde la información se representa en forma de objetos. Además, se pueden encontrar las bases de datos de documentos/JSON, las cuales están diseñadas para almacenar, recuperar y gestionar información estructurada como documentos. Estas bases almacenan la información en formato JSON en lugar de hacerlo en filas y columnas.

Las bases de datos también varían según su objetivo específico, por ejemplo, las OLTP están diseñadas para que muchos usuarios realicen un gran número de transacciones simultáneamente, mientras que las bases OLAP están diseñadas para que se realicen consultas de grandes cantidades de información y obtener respuestas rápidas [31].

Si bien solo se mencionan algunas, existe una gran diversidad de bases de datos, y su aplicación también varía según sus características. Por ejemplo, las bases de datos geográficas contienen datos geográficos organizados de forma tal que permiten analizar y gestionar territorios dentro de los Sistemas de Información Geográfica (SIG). Un SIG es un sistema diseñado para trabajar con datos referenciados mediante coordenadas espaciales o geográficas [35], es decir, que permite almacenar, organizar, manipular, modelizar y analizar grandes cantidades de información procedentes del mundo real. Los SIG constan de tres componentes principales:

- El subsistema de datos, es decir, la base de datos geográfica que se encarga de almacenar y gestionar los datos que se utilizarán en el SIG.
- El subsistema de visualización y creación cartográfica, cuyo objetivo es generar los mapas a partir de los datos. También es el que permite modificar los datos almacenados.
- El subsistema de análisis, que permite analizar los datos geográficos [35].

Los SIG, además de generar mapas, permiten agregar cualquier tipo de información adicional, convirtiéndolos en un gran aliado en áreas como las investigaciones científicas, planificación urbana, cartografía, logística, etc. Brindan la posibilidad de analizar información que se referencia geográficamente, permitiendo detectar patrones o realizar predicciones. Para ello, los datos geográficos almacenados en las bases de datos cuentan con cuatro características principales: la posición, los atributos (qué es esa información, qué representa), las relaciones espaciales (con lo que se determina cómo se relaciona con el espacio) y el momento o etapa temporal [36].

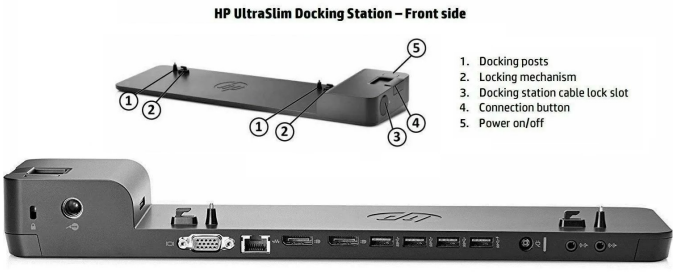
V. DESARROLLO

A. Propuesta de mejora de ROSALIND

Si todos los hogares de una ciudad tuviesen un dispositivo ROSALIND con el que realicen pruebas de la calidad del agua periódicamente, se estaría generando una gran cantidad de información que, administrada correctamente, puede prevenir muchos incidentes (como algunos de los comentados anteriormente en Caucete, Argentina o en Flint, Estados Unidos), brindando al gobierno de la ciudad y/o ente regulador una mayor capacidad de reacción, e incluso permitiría actuar proactivamente, detectando incidentes de forma temprana.

Una forma de lograrlo sería convirtiendo a ROSALIND en un dispositivo inteligente, para que pueda conectarse a internet y reportar los resultados de los análisis que se van realizando. Sin embargo, este dispositivo es de un solo uso, por lo que se debe desechar luego de realizar una prueba y utilizar uno nuevo cada vez que se realice un control. Por eso, convertir a ROSALIND en un dispositivo inteligente aumentaría su costo notablemente. Para evitarlo, se puede crear un docking station (o *estación de acoplamiento* en español) con tres funciones principales: en primer lugar, identificar el resultado del análisis. En segundo lugar, traducir esos resultados a números concretos. Y, por último, comunicar ese resultado a una central que recolecte la información de todos los dispositivos de la ciudad.

Un docking station es un accesorio que se utiliza para "convertir" una notebook en una computadora de escritorio. Ofrece la misma conectividad que una PC de escritorio (cable de red, puertos USB, HDMI, etc.), permitiendo conectar monitores, mouse, teclados y demás dispositivos. Esto permite trabajar más cómodamente (por ejemplo, con mouse o un teclado más grande) e incluso trae algunas funcionalidades adicionales, como tener doble monitor. Y aquí se puede aplicar una lógica similar: crear un docking station donde se acople ROSALIND y sea el docking station el dispositivo que tenga la inteligencia necesaria para capturar los datos de la medición y comunicarlos para que se centralicen.



Ejemplo de docking station de una notebook HP.

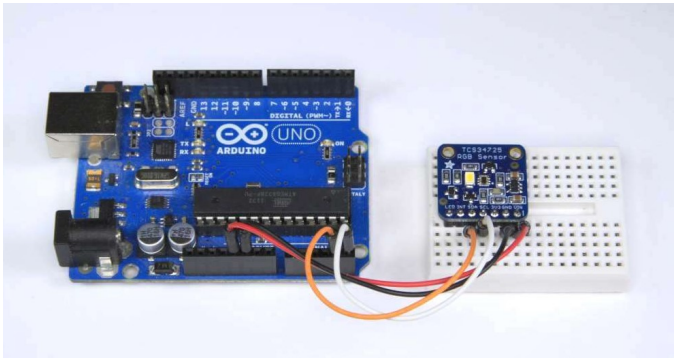
El proceso de uso sería simple. El usuario pone unas gotas de agua en ROSALIND y lo conecta al docking station, el cual leerá el resultado de la prueba y lo enviará a través de internet al ente encargado de la centralización y revisión de los datos. Y una vez que se haya comunicado el resultado, el dispositivo ROSALIND se desacopla y se desecha, dejando el docking station listo para utilizar en la siguiente prueba. De esta forma, no se incrementa el costo de ROSALIND (apenas habría que adaptar un poco el diseño de la carcasa para que pueda fijarse a la base) y solo habría que adquirir una sola vez el docking station.

B. Desarrollo del docking station

Como se mencionó anteriormente, el docking station tendrá tres funcionalidades principales: identificar el resultado obtenido por ROSALIND, convertir esos resultados en información numérica, cuantificable. Y, por último, comunicar dichos resultados a través de internet. Se podría decir que el docking station va a ser una mini computadora con un objetivo concreto.

ROSALIND da un resultado del análisis del agua a través de sus tubos de ensayo. Estos se iluminarán en verde de acuerdo a si existen o no contaminantes en el agua, y se iluminarán más tubos a media que detecte una mayor concentración de contaminantes: más tubos de ensayo encendidos significa mayor concentración; menos tubos encendidos, menos concentración. Para poder reconocer si un tubo de ensayo se ilumina o no, se necesitará un sensor RGB. Estos sensores pueden detectar la luz e incluso identificar los colores de los objetos. Por ello, el docking station dispondrá de ocho sensores RGB, uno por cada tubo de ensayo, los cuales detectarán si su correspondiente tubo está encendido o no. De esta forma, el docking station sabrá si hay tubos iluminados y, de haberlos, cuántos de ellos lo están.

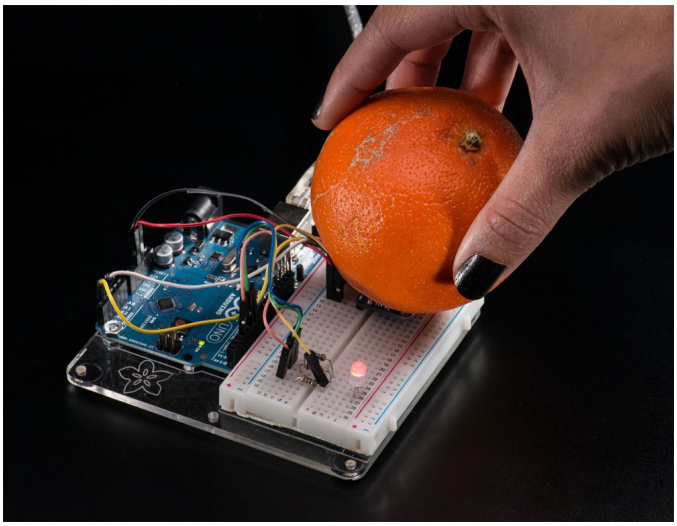
La segunda función del docking station será convertir la información detectada por el sensor en información cuantificable, lo que permitirá hacer una lectura concreta del resultado de la medición de la calidad del agua. Para ello, los sensores estarán conectados a una placa Arduino o Raspberry Pi, que será la encargada de recibir la información de los sensores e interpretará los resultados.



Sensor RGB conectado a una placa Arduino [32].

Los fabricantes de los sensores suelen publicar librerías de programación (código realizado previamente que pueden utilizar los programadores para desarrollar de forma más rápida) para que los desarrolladores puedan crear programas que “entiendan” la información enviada por los sensores. El programa a desarrollar tendrá tres tareas principales:

1. Leer los valores resultados de las lecturas realizadas por el sensor.
2. A partir de las lecturas, se determinará el color que detectaron los sensores. Para ello también se pueden utilizar librerías de programación que ya tienen predefinidos los rangos de cada color. Si el color detectado es verde, significa que hay contaminantes. En caso que el dispositivo ROSALIND siga evolucionando, por ejemplo, cambiando de colores según el contaminante, este sistema seguirá siendo útil, ya que también detectará otros colores y los informará para que sean interpretados.
3. Por último, se envía al ente regulador toda la información recabada.



El LED se prende del mismo color que el objeto mostrado al sensor fotoeléctrico [32].

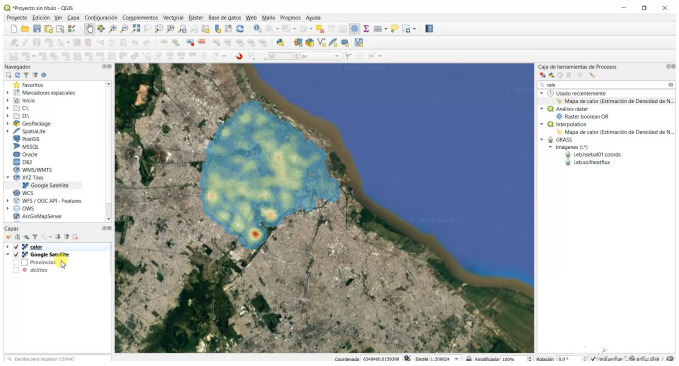
Los dispositivos Raspberry Pi tienen conectividad Ethernet (cable de red) y WiFi nativamente, mientras que los dispositivos Arduino necesitan un complemento adicional para conectar a internet. Cualquiera sea el caso, el dispositivo estará listo para conectarse a internet y enviar la información. Además, contará con una memoria flash (memoria que se utiliza por ejemplo en pendrives) que permitirá guardar la información y enviarla posteriormente en caso que no se disponga de conexión a internet en el momento en que se realiza el análisis de agua.

C. Centralización y explotación de la información

Todas las pruebas que se realicen con los dispositivos ROSALIND se informarán a una central, que recopilará la información recibida, entre la que se encontrarán los datos de la muestra en sí (cantidad de tubos de ensayo que se iluminaron), fecha del análisis y la ubicación geográfica de la muestra tomada. Toda esta información se almacenará en una base de datos geográfica.

Una de las primeras acciones que se realizará con la información recibida es aplicar de forma automática un cálculo para conocer el grado de concentración del contaminante. Esto se debe realizar ya que no es lo mismo que haya un tubo de ensayo encendido que los ocho tubos. Para ello se establecerán rangos. Por ejemplo, un tubo de ensayo iluminado implica encontrar entre 0,01 µg/dL y 0,15 µg/dL de concentración de contaminantes, dos tubos de ensayo entre 0,16 µg/dL y 0,35 µg/dL, etc. De esta forma, se puede comparar fácilmente las concentraciones del agua analizada versus la concentración máxima permitida.

La gran ventaja de los SIG es que los mapas se construyen con capas, por lo se pueden agregar tantas capas como análisis y controles se deseen realizar, o según la información que se desee ver. Se podría generar una capa con un mapa de calor donde se muestren las zonas según la concentración de contaminantes de la última medición realizada. Otra capa podría mostrar la información histórica, donde se vean los resultados de análisis anteriores, permitiendo detectar y resaltar aquellas zonas del mapa donde la calidad del agua se fue degradando en el tiempo. También se puede agregar datos estáticos, como por ejemplo las plantas potabilizadoras y centros de distribución del agua de la ciudad, e incluso la red de distribución del agua a los hogares. Esta información también es importante, porque desde un solo mapa se puede controlar el estado de salud de toda la red de distribución de agua potable de la ciudad.



Ejemplo de un mapa de calor aplicado a CABA.

Solo se mencionan algunas capas que se pueden utilizar, pero hay muchas más posibilidades que brindan los SIG para hacer análisis de datos. Por ejemplo, análisis muy simples como detectar hogares con altos niveles de contaminantes, u otros análisis más complejos, como obtener todos aquellos posibles afectados por una incidencia a través del análisis del vecino más próximo.

El objetivo final de centralizar toda la información, almacenarla en una base de datos geográfica y explotarla con un SIG es brindarle herramientas al ente regulador y/o el gobierno de la ciudad para detectar de forma temprana los incidentes que puedan afectar la calidad del agua potable y, por ende, la salud de la población, permitiendo actuar de forma proactiva, ya sea solucionando el problema y/o enviando alertas a los ciudadanos de las zonas afectadas para que tomen los recaudos necesarios.

VI. CONCLUSIONES

Se puede observar el gran potencial de un SIG y todos los análisis que se pueden realizar con un mismo set de datos, como, por ejemplo:

- Hogares con un nivel de contaminante alto.
- Mayor facilidad para detectar el origen de una incidencia (por disponer de trazabilidad del agua potable que llega a las casas).
- Áreas afectadas en caso de producirse un problema en alguna de las plantas de distribución de agua. O incluso prever posibles zonas afectadas.
- Detectar áreas donde se haya producido una degradación de la calidad del agua en el tiempo.

La prevención y la proactividad en lo que respecta a la calidad del agua tiene muchas aristas. Si se observa desde el punto de vista económico, en el caso mencionado anteriormente de Flint, Estados Unidos, el estado debió indemnizar a los ciudadanos con una suma total de 626 millones de dólares [10]. Además de ello, existen otros gastos indirectos, vinculados por ejemplo a la atención de los pacientes en los hospitales, utilizando más insumos, horas extras de los médicos y el personal hospitalario, etc. Lo cual trae a colación otro problema, que es el desbordamiento del sistema sanitario. En Caucete hubo 400 personas que recurrieron a los hospitales para ser atendidos, siendo significativamente menor respecto al caso de Flint, donde fueron 30 mil las personas afectadas. Y, por último, pero no menos importante, la salud de los habitantes de la ciudad. No solo se habla de personas intoxicadas, sino de secuelas que pueden generar enfermedades mucho más serias como la ceguera y el cáncer, o incluso ser devastador para el futuro de los niños, que puede afectar muy negativamente su crecimiento y generar secuelas irreversibles en su desarrollo neurológico. Y, en el peor de los casos, llevar a la muerte.

El desafío de implementar este dispositivo no radica en su desarrollo, ya que no representa una gran complejidad técnica ni tecnológica. Lo más difícil es la distribución y uso por parte de los ciudadanos. En primer lugar, todos los habitantes de la ciudad deberán tener fácil acceso a los dispositivos, de lo contrario, es posible que no se preocupen por adquirirlos. Y, por otro lado, también deben acostumbrarse a utilizarlo, no tanto por su complejidad, sino por ser conscientes que deben realizarse controles periódicamente.

En resumen, si bien se debe encontrar la mejor forma de distribuir e impulsar la utilización de ROSALIND, hacer análisis recurrentes, centralizar los resultados en una base de datos geográfica y explotar la información generada con un SIG es fundamental para realizar un control que permita la detección temprana de contaminantes en el agua. No solo para adelantarse a posibles incidentes, sino también para solucionarlos de forma rápida y actuar proactivamente, generando ahorros económicos, previniendo enfermedades en la población e incluso evitar muertes. Al fin de cuentas, mejorando la calidad de vida de los habitantes.

VII. LÍNEAS FUTURAS DE INVESTIGACIÓN

Sería muy interesante que, en próximas investigaciones, se haga foco en tres puntos. En primer lugar, atender lo mencionado anteriormente en las conclusiones, es decir, encontrar la mejor forma de distribuir y facilitar el acceso de la población a ROSALIND, impulsando su utilización. Debería evaluarse en detalle la posibilidad de distribuir este dispositivo gratuitamente o con un costo muy pequeño. Su objetivo es cuidar la salud de la población y prevenir enfermedades, por lo que toda la población debería tener acceso a ROSALIND, sin importar su situación económica. Por otro lado, hay que concientizar a todos los habitantes de la ciudad sobre la importancia de su uso e impulsarlo. Por ejemplo, desde hace años, muchas ciudades del mundo iniciaron un trabajo de concientización respecto al reciclado de los residuos, logrando que actualmente se separen entre cartón, orgánicos o reciclables. Este es un buen caso de éxito que se podría utilizar para aplicar una solución similar.

En segundo lugar, se debería hacer foco en la evolución de ROSALIND y su impacto en el dispositivo propuesto en el presente trabajo. Los investigadores de la Universidad de Northwestern están estudiando la posibilidad de incorporar más contaminantes en su análisis. Pero también se pueden evaluar mejoras como, por ejemplo, que cada contaminante genere un color distinto, o incluso adaptar el actual dispositivo ROSALIND eliminando componentes que se puedan incorporar directamente al docking station, reduciendo su costo. Un ejemplo sería eliminar las luces LED internas del dispositivo e incorporarlos al docking station.

Por último, se puede incluir al Sistema de Información Geográfico la o las fuentes de agua potable de la ciudad, que varían según la ubicación geográfica de cada una: ríos, aguas subterráneas, deshielo, lluvias, etc. Conocer su origen, qué proporción aporta cada fuente y tener presente su estado puede ayudar a prevenir situaciones como las que vivió Uruguay en 2023: una fuerte sequía y una mala gestión de obras sobre los embalses que abastecen de agua potable a la ciudad de Montevideo provocó una crisis que afectó a más de 2 millones de personas (el 60 por ciento de los habitantes del país) [37]. Incorporar esta información no tiene por objetivo revisar solamente la calidad del agua, sino uno más amplio: prever situaciones que puedan poner en peligro el suministro en el futuro, preparar planes de contingencia, adelantarse a necesidades y realizar las obras correspondientes.

VIII. REFERENCIAS

[1] "Agua y saneamiento, asunto global", *La Nación*, 2015. [Online]. Disponible en https://www.lanacion.com.ar/comunidad/agua-y-saneamientoasunto-global-nid1799445/

[2] "¿Qué es el tracoma?", *American Academy of Ophthalmology*, 2024. [Online]. Disponible en https://www.aao.org/salud-ocular/enfermedades/que-es-tracoma

[3] J. Schullehner, B. Hansen, M. Thygesen, C. B. Pedersen, and T. Sigsgaard, "Nitrate in drinking water and colorectal cancer risk: A nationwide population-based cohort study", *International journal of cancer*, vol. 143, no. 1, pp. 73–79, 2018.

[4] P. Levallois, P. Barn, M. Valcke, D. Gauvin, and T. Kosatsky, "Public health consequences of lead in drinking water", *Current environmental health reports*, vol. 5, pp. 255–262, 2018.

[5] "Por la contaminación de la red de agua, hubo unos 400 intoxicados en Caucete", *Clarín*, 2017. [Online]. Disponible en https://www.clarin.com/sociedad/contaminacion-red-agua-400-intoxicados-caucete_0_HJbcvE55x.html

[6] I. Delpla, A.V. Jung, E. Baures, M. Clement, y O. Thomas, "Impacts of climate change on surface water quality in relation to drinking water production", *Environment international*, vol. 35, no. 8, pp. 1225–1233, 2009.

[7] "¿Qué cantidad de agua hay actualmente?", *Proyecto Aguas*, 2017. [Online]. Disponible en https://proyectoaguas.es/que-cantidad-de-agua-hay-actualmente/

[8] "El agua: en el centro de la crisis climática", *Naciones Unidas*. [Online]. Disponible en https://www.un.org/es/climatechange/science/climate-issues/water

[9] "Sequías, tormentas e inundaciones: el agua y el cambio climático dominan la lista de desastres", *ONU-Habitat*, 2021. [Online]. Disponible en https://onuhabitat.org.mx/index.php/sequias-tormentas-e-inundaciones-el-agua-y-el-cambio-climatico-dominan-la-lista-de-desastres

[10] "La agencia de protección ambiental de EE UU propone sustituir todas las tuberías de plomo del país en una década", *El País*, 2023. [Online]. Disponible en https://elpais.com/sociedad/2023-12-01/la-agencia-de-proteccion-ambiental-de-ee-uu-propone-sustituir-todas-las-tuberias-de-plomo-del-pais-en-una-decada.html#

[11] "Flint, el pueblo de EE.UU. en emergencia por envenenamiento con plomo", *BBC*, 2015. [Online]. Disponible en https://www.bbc.com/mundo/noticias/2015/12/151216_internacional_flint_michigan_emergencia_contaminacion_agua_plomo_ppb

[12] "¿Qué es la deforestación y cómo afecta al medioambiente?", *BBVA*, 2024. [Online]. Disponible en https://www.bbva.com/es/sostenibilidad/que-es-la-deforestacion-y-como-afecta-al-medioambiente/

[13] "La 'deforestación del agua' en el Amazonas", *Universidad de Antioquia*, 2019. [Online]. Disponible en https://www.udea.edu.co/wps/portal/udea/web/inicio/udea-noticias/udea-noticia/!ut/p/z0/fY69DsIwDIRfhaWzQykBxooBCTEwINR6QVYbgUsS9ycgxNOTwoBYWCx_57uTAaEA9HTnMwUWTzZyifq0XK3TaZ6pndKZVrneZ_NFupkdjgq2gP8NsYGbrsMcsBIfzCNA0UofyN5qQ4mi4Zcu4sxnH-fES-CKaUjUO-25ltH1lVvTs9RcCVlHjoLp493RM74_QHvF8gWqfHHb/

[14] "Cuenca urbana", *Diccionario Español de Ingeniería*. [Online]. Disponible en https://diccionario.raing.es/es/lema/cuenca-urbana

[15] "Los impactos de la urbanización en el ciclo del agua", *iAgua*, 2016. [Online]. Disponible en https://www.iagua.es/blogs/ana-abellan/impactos-urbanizacion-ciclo-agua

[16] "Water Pollution: Everything You Need to Know", *NRDC*, 2023. [Online]. Disponible en https://www.nrdc.org/stories/water-pollution-everything-you-need-know#whatis

[17] "Salud advierte por la presencia de cianobacterias en aguas recreativas de Buenos Aires, Santa Fe, Entre Ríos y Córdoba", *Ministerio de Salud de la República Argentina*, 2022. [Online]. Disponible en https://www.argentina.gob.ar/noticias/salud-advierte-por-la-presencia-de-cianobacterias-en-aguas-recreativas-de-buenos-aires

[18] "Pollution and health: a progress update", *The Lancet, 2022*. [Online]. Disponible en https://www.thelancet.com/journals/lanplh/article/PIIS2542-5196(22)00090-0/fulltext

[19] “4 millones de argentinos viven en áreas contaminadas con arsénico, sustancia que produce cáncer y otras enfermedades”, *Instituto de Efectividad Clínica y Sanitaria (IECS)*, 2016. [Online]. Disponible en https://iecs.org.ar/4-millones-de-argentinos-viven-en-areas-contaminadas-cn-arsenico-sustancia-que-produce-cancer-y-otras-enfermedades/
[20] “New DNA Computer Assesses Water Quality”, *Northwestern University*, 2022. [Online]. Disponible en https://www.mccormick.northwestern.edu/news/articles/2022/02/new-dna-computer-assesses-water-quality/
[21] “Por 100 pesos: un biosensor portátil es capaz de detectar 15 contaminantes en el agua”, *La Nación*, 2020. [Online]. Disponible en https://www.lanacion.com.ar/tecnologia/por-100-pesos-biosensor-portatil-es-capaz-nid2397831/
[22] J. K. Jung, K. K. Alam, M. S. Verosloff, D. A. Capdevila, M. Desmau, P. R. Clauer, J. W. Lee, P. Q. Nguyen, P. A. Past´en, S. J. Matiasek et al., “Cell-free biosensors for rapid detection of water contaminants”, *Nature biotechnology*, vol. 38, no. 12, pp. 1451–1459, 2020.
[23] “Innovación e inteligencia en el hogar”, *Repsol*, 2023. [Online]. Disponible en https://www.repsol.com/es/energia-futuro/tecnologia-innovacion/que-es-la-domotica/index.cshtml
[24] A. Cama-Pinto, E. De-La-Hoz-Franco, and D. Cama-Pinto, “Las redes de sensores inalámbricos y el internet de las cosas”, *Inge Cuc*, 2012.
[25] A. M. Campoverde, D. L. Hernández, and B. E. Mazón, “Cloud computing con herramientas open-source para internet de las cosas”, *Maskana*, vol. 6, pp. 173–182, 2015.
[26] P. Sanmartín Mendoza, K. Ávila Hernández, C. Vilora Núñez, and D. Jabba Molinares, “Internet de las cosas y la salud centrada en el hogar”, *Revista Salud Uninorte*, vol. 32, no. 2, pp. 337–351, 2016.
[27] “Sistema embebido”, *Wikipedia*. [Online]. Disponible en https://es.wikipedia.org/wiki/Sistema_embebido
[28] D. C. García, G. Á. Martínez, and M. E. García, “Raspberry pi y arduino: semilleros en innovación tecnológica para la agricultura de precisión”, *Informática y Sistemas: Revista de Tecnologías de la Informática y las Comunicaciones*, vol. 2, no. 1, pp. 74–82, 2018.
[29] “¿Cómo funcionan los sensores?”, *SD Industrial*. [Online]. Disponible en https://sdindustrial.com.mx/blog/sensores/
[30] “¿Qué es un sensor de color?”, *Keyence*. [Online]. Disponible en https://www.keyence.com.mx/ss/products/sensor/sensorbasics/color/info
[31] “¿Qué es una base de datos?”, *Oracle*. [Online]. Disponible en https://www.oracle.com/es/database/what-is-database/
[32] “Adafruit Color Sensors”, *Adafruit*. [Online]. Disponible en https://learn.adafruit.com/adafruit-color-sensors
[33] “Arduino y Raspberry Pi: qué son y cuáles son sus diferencias”, *Xakata*. [Online]. Disponible en https://www.xataka.com/basics/arduino-raspberry-pi-que-cuales-sus-diferencias
[34] “ROSALIND Part 2 – Field-deployable Biosensors for Detecting Waterborne Contaminants with RNA Engineering”, *Springer Nature*. [Online]. Disponible en https://communities.springernature.com/posts/rosalind-part-2-field-deployable-biosensors-for-detecting-waterborne-contaminants-with-rna-engineering
[35] “¿Qué es un SIG, GIS o Sistema de Información Geográfica?”, *Geo Innova*. [Online]. Disponible en https://geoinnova.org/blog-territorio/que-es-un-sig-gis-o-sistema-de-informacion-geografica/
[36] “¿Qué son los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y cómo funcionan?”, *Ingeoexpert*. [Online]. Disponible en https://ingeoexpert.com/articulo/que-son-los-sistemas-de-informacion-geografica-sig-y-como-funcionan/
[37] “Montevideo se quedó sin agua dulce. ¿Pasará lo mismo en tu ciudad?”, *The New York Times*. [Online]. Disponible en https://www.nytimes.com/es/2023/07/21/espanol/opinion/uruguay-crisis-agua.html

IX. BIOGRAFÍA DEL AUTOR



Cesar Pisani nació el 8 de junio de 1985 en la provincia de Buenos Aires, Argentina, y actualmente vive en Madrid, España. Inició sus estudios de Ingeniería en Sistemas en la Universidad Tecnológica Nacional (UTN), para luego continuarlos en la carrera de Licenciatura en Tecnología de la Información en la Universidad de Palermo (UP). En paralelo a su carrera de grado, se certificó en metodologías ágiles Scrum como Scrum Master y Product Owner.

Desarrolló su carrera profesional por más de 17 años en el rubro de sistemas, tomando distintos roles a lo largo de su carrera: desarrollador, analista funcional, líder de proyecto, project manager y product owner. Inició su carrera profesional en consultoría de sistemas, para luego trabajar en empresas del rubro logístico, donde se desempeña actualmente, siempre desde el área de tecnología.