



Municipalidad
San Antonio de Areco



UNSaDA
UNIVERSIDAD NACIONAL - SAN ANTONIO DE ARECO

Plan Director para la Reducción del Riesgo por Inundaciones en el Partido de San Antonio de Areco

(PD_RRI San Antonio de Areco)

Abril/Mayo de 2026 - INFORME 3 - Versión B

Plan Director para la Reducción del Riesgo por Inundaciones en el Partido de San Antonio de Areco

(PD_RRI San Antonio de Areco)

Rev.	Fecha	Descripción	Elaboración	Revisión
A	22/04/2026	Versión de emisión.	PGR	PGR
B	22/05/2026	Versión final con incorporación conferencia del 8 de abril en el Concejo Deliberante	PGR	

Abril/Mayo de 2026 - INFORME 3 - Versión B

Ficha Técnica

1. Documento Informe técnico	2. Código 2026-3--PDRRIA_B	3. Referencia al archivo original Plan Director RRI Areco - Convenio específico - Informe 3 - Versión B - PGR.docx		
4. Título y subtítulos: Plan Director para la Reducción del Riesgo por Inundaciones en el Partido de San Antonio de Areco (PD_RRI San Antonio de Areco)		5. Fecha de publicación 22/5/2026		
		6. Tipo de documento INFORME 3 - Versión B (B - versión final)		
7. Documento realizado para: Convenio específico UNSAdA - Municipalidad de San Antonio de Areco		8. Identificación abreviada: MSAdA (Municipalidad de San Antonio de Areco) UNSAdA (Universidad de San Antonio de Areco)		
		9. Autoridades: Jerónimo Ainchil Francisco Ratto Rector Intendente		
10. Referentes del convenio: Ramón Ojeda - MSAdA Nahuel Filippini - UNSAdA		11. Refrentes técnicos Sofía Scarano - MSAdA Pablo Romanazzi - UNSAdA		
12. Cítese: "Plan Director para la Reducción del Riesgo por Inundaciones en el Partido de San Antonio de Areco - (PD_RRI San Antonio de Areco)"; INFORME 3 - Versión B; Convenio específico UNSAdA - Municipalidad de San Antonio de Areco.				
13. Síntesis: El presente Informe de Avance N° 3 desarrolla las herramientas del PD_RRI San Antonio de Areco y resume la presentación llevada adelante el 8 de abril de 2026 ante la comunidad y miembros del Concejo Deliberante de San Antonio de Areco.				
14. Palabras clave Monitoreo hidrometeorológico - Riesgo hidrológico – Inundaciones.		15. Tamaño y fecha del archivo protegido 1478,00 Kbytes 22/5/2026		
16. Confidencialidad Sujeto a cláusula 7ª de Informes y confidencialidad por Convenio específico del 22/10/2025	17. Nro. de páginas 40	18. Nro. de figuras 10	19. Nro. de tablas 1	20. Nro. de mapas -

Plan Director para la Reducción del Riesgo por Inundaciones en el Partido de San Antonio de Areco

(PD_RRI San Antonio de Areco)

INFORME 3 - Versión B

ÍNDICE DE CONTENIDOS

1	INTRODUCCIÓN	6
2	ENCUADRE CONCEPTUAL DEL PROGRAMA.....	7
3	JUSTIFICACIÓN Y NECESIDAD DEL PROGRAMA	8
4	OBJETIVO GENERAL DEL PROGRAMA	9
5	COMPONENTES PRINCIPALES DEL SISTEMA.....	10
5.1	MONITOREO	10
5.2	INVENTARIO HIDRÁULICO	10
5.3	SIMULACIÓN MATEMÁTICA	10
6	ARTICULACIÓN CON DESARROLLOS DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO DE LA UNSADA.....	11
7	PRODUCTOS CONCRETOS DEL PROGRAMA	12
7.1	PROTOCOLOS BARRIALES	12
7.2	ÍNDICES DE ALERTA	13
7.3	REFUGIO SEGURO	15
8	INTEGRACIÓN DE HERRAMIENTAS	16
9	ESTADO DE AVANCE DEL PROGRAMA	17
9.1	INFORME DE AVANCE N° 1	17
9.2	INFORME DE AVANCE N° 2	17
9.3	INFORME DE AVANCE N° 3	17
10	CONSIDERACIONES FINALES	18
11	ANEXOS	19
11.1	CONFERENCIA PÚBLICA – 8 DE ABRIL DE 2026	20
11.2	CAPÍTULO ESPECIAL - ÍNDICE DE HUMEDAD ANTECEDENTE (IHA) E ÍNDICE DE SEVERIDAD DE TORMENTAS (IST)	30

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1: Portada de la Conferencia del 8 de abril de 2026 en el CD de SAdA	6
Figura 2-1: Encuadre institucional del PD_RRI Areco.....	7
Figura 3-1: Fundamentos del PD_RRI Areco	8
Figura 4-1: Objetivos y prioridades del PD_RRI Areco	9
Figura 7-1: Dispositivo técnico del PD_RRI Areco	12
Figura 7-2: Definición de peligrosidad por inundación	13
Figura 7-3: Mecanismo primario de inundación en SAdA.....	14
Figura 7-4: Modelo conceptual del IHA en SAdA	15
Figura 7-5: Aplicación para celular “Refugio Seguro”	15
Figura 8-1: Integración de herramientas en el PD_RRI Areco.....	16

1 INTRODUCCIÓN

El presente Informe tiene por objeto desarrollar en formato narrativo e institucional los contenidos expuestos en la presentación del 8 de abril de 2026, titulada **“San Antonio de Areco frente al riesgo de inundaciones. Programa para la Reducción del Riesgo por Inundaciones”** y elaborada en el marco del convenio específico entre la **Universidad Nacional de San Antonio de Areco (UNSAaA)** y la **Municipalidad de San Antonio de Areco**.

La finalidad de este documento es dejar asentado, en un lenguaje técnico accesible y en formato de informe, el enfoque conceptual, los componentes principales, los productos previstos, el estado de avance y las próximas líneas de trabajo del programa, de modo que pueda ser presentado formalmente ante el Municipio como respaldo escrito de la exposición realizada.

El programa parte de una premisa central: la reducción del riesgo por inundaciones no puede limitarse a la observación del fenómeno hídrico una vez desatada la emergencia, sino que requiere anticipación, organización, monitoreo, capacidad de análisis y herramientas de orientación pública que permitan proteger, en primer lugar, la vida de las personas, y, en segundo término, los bienes, equipamientos y activos de valor patrimonial, social o económico presentes en el territorio.

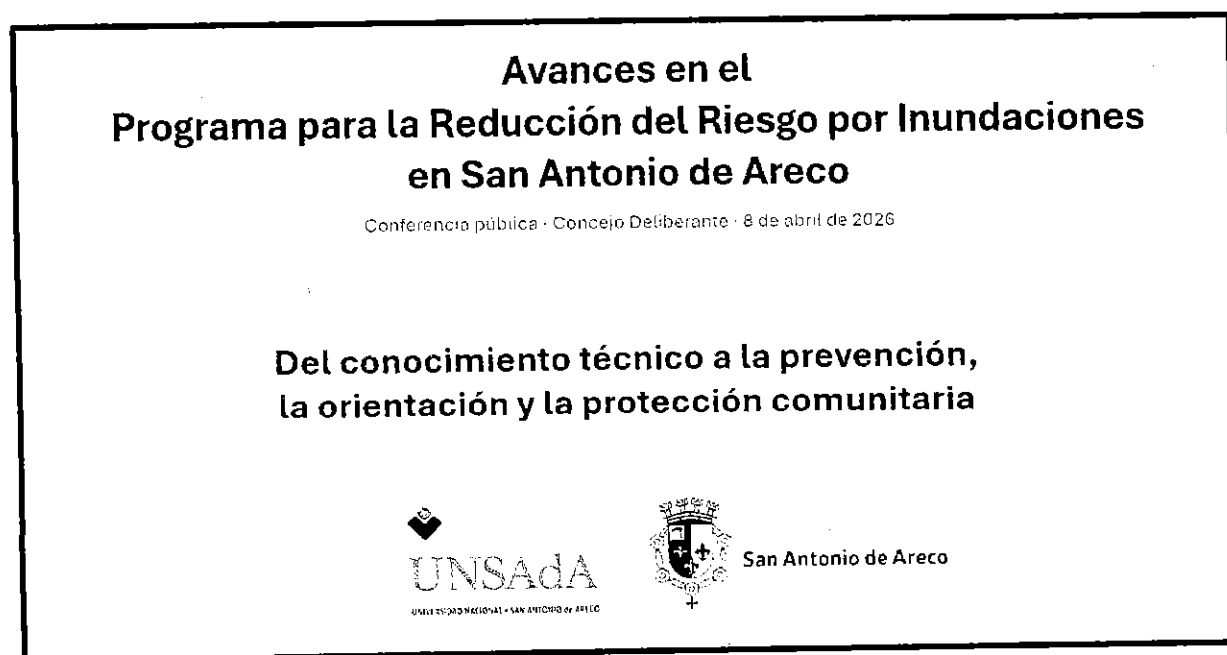


Figura 1-1: Portada de la Conferencia del 8 de abril de 2026 en el CD de SAaA

2 ENCUADRE CONCEPTUAL DEL PROGRAMA

El Programa para la Reducción del Riesgo por Inundaciones se inscribe en la denominada **componente blanda de la gestión del riesgo por inundación**, es decir, en el conjunto de medidas no estructurales orientadas a la prevención, la alerta, la preparación, la orientación pública, la organización de la respuesta y el fortalecimiento de la resiliencia territorial.

Este enfoque debe distinguirse de la componente estructural o dura, vinculada a obras hidráulicas tales como canalizaciones, ampliación de secciones de escurrimiento, defensas marginales, reservorios o intervenciones físicas sobre cursos de agua y planicies de inundación. Si bien tales obras pueden desempeñar un papel importante, presentan umbrales de diseño y límites de funcionamiento. Cuando esos umbrales son superados por eventos de magnitud mayor, no necesariamente se produce una falla física de la obra, pero sí puede producirse una falla funcional del sistema, en el sentido de que deja de brindar el nivel de protección esperado.

En ese contexto, la gestión del riesgo cobra un papel decisivo, ya que permite complementar las limitaciones de la infraestructura mediante medidas de anticipación y preparación. El trabajo que aquí se describe no tiene por objeto definir obras estructurales ni sustituir las competencias de los organismos provinciales con autoridad sobre los recursos hídricos naturales. La función del programa consiste en fortalecer, junto al Municipio, las herramientas no estructurales necesarias para disminuir la vulnerabilidad del territorio frente a eventos de inundación.

Desde este punto de vista, el programa actúa fundamentalmente sobre la **vulnerabilidad**. La amenaza natural, entendida como la posibilidad de ocurrencia de lluvias intensas, crecidas o desbordes, no puede ser eliminada por sí misma. Lo que sí puede hacerse es mejorar la preparación del territorio, reducir la exposición innecesaria, ordenar la respuesta, mejorar los mecanismos de alerta y fortalecer la resiliencia social e institucional.

La resiliencia debe entenderse aquí como la capacidad del territorio y de la comunidad para soportar, responder y recuperarse frente a un evento adverso. En consecuencia, la orientación general del programa no es simplemente estudiar inundaciones, sino **reducir el riesgo por inundaciones** mediante el uso del conocimiento técnico aplicado a la protección comunitaria.

Encuadre institucional

La gestión del riesgo por inundación como complemento de las obras

- Este programa sigue la trayectoria de las medidas no estructurales de la gestión del riesgo por inundación.
- Trabaja sobre prevención, preparación, alerta y orientación pública.
- Las obras son necesarias, pero tienen umbrales de diseño y límites de servicio.
- Cuando esos límites se superan, se vuelve decisiva la organización antes, durante y después del evento extremo.

Estamos fortaleciendo la capacidad de respuesta cuando el sistema entra en condición crítica.

Competencias institucionales

- Provincia: obras e intervención estructural sobre cursos de agua
- Municipio + UNSaA: herramientas no estructurales para reducir vulnerabilidad e incrementar la resiliencia de la comunidad.

Figura 2-1: Encuadre institucional del PD_RRI Areco

3 JUSTIFICACIÓN Y NECESIDAD DEL PROGRAMA

San Antonio de Areco posee una experiencia histórica concreta en materia de inundaciones. Se trata de una problemática incorporada a la memoria colectiva, al conocimiento local y a la percepción del riesgo de la población. Sin embargo, una de las ideas más importantes que orientan este programa es que una inundación no comienza cuando el agua ingresa en los sectores afectados, sino antes, cuando la cuenca se va cargando, el suelo se satura y el sistema fluvial comienza a responder.

Por esa razón, la gestión eficaz del riesgo no puede basarse exclusivamente en la reacción frente a la emergencia. Requiere anticipación. Y para anticiparse resulta indispensable disponer de un sistema técnico capaz de observar, comprender y traducir información compleja en señales operativas y herramientas de actuación.

En otras palabras, el programa surge de la necesidad de pasar desde una lógica predominantemente reactiva hacia una lógica preventiva, orientada a ganar tiempo para decidir mejor y a dotar al Municipio y a la comunidad de instrumentos más sólidos para actuar antes, durante y después de los eventos críticos.

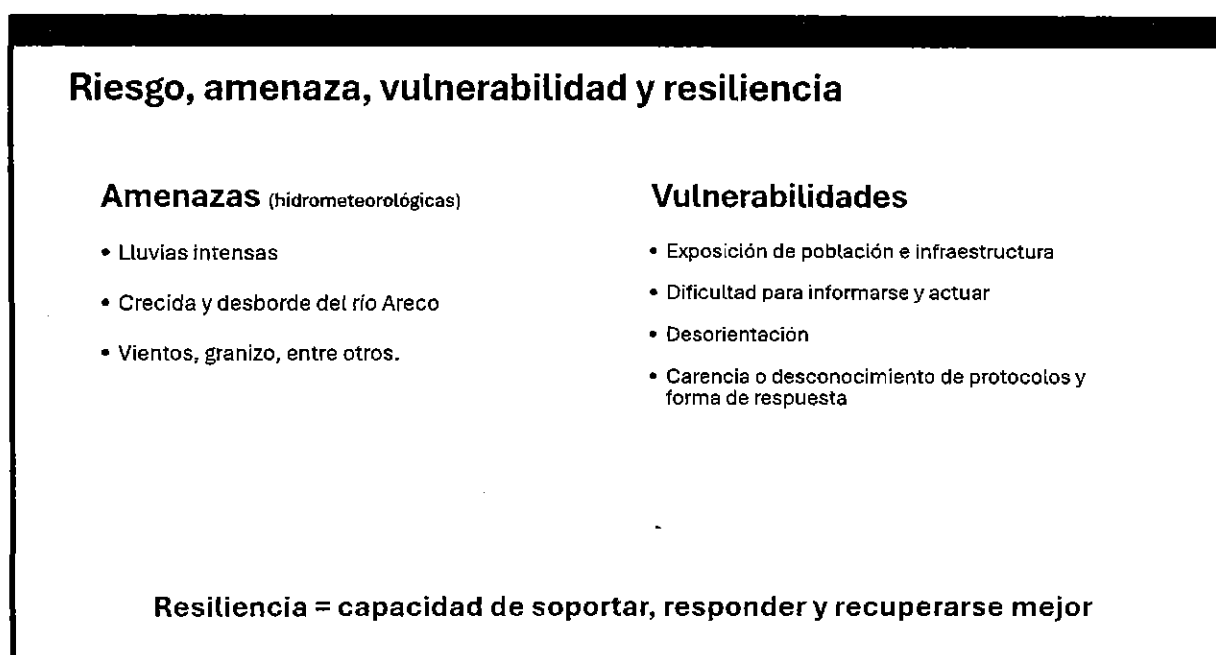


Figura 3-1: Fundamentos del PD_RRI Areco

4 OBJETIVO GENERAL DEL PROGRAMA

El programa procura responder tres preguntas fundamentales:

- ✓ qué está pasando y qué puede pasar;
- ✓ a quién puede afectar y de qué manera;
- ✓ y qué debe hacerse para reducir el peligro y orientar la actuación.

Estas preguntas ordenan todo el trabajo técnico y operativo. No se trata solamente de estudiar el comportamiento del agua, sino de traducir ese conocimiento en capacidad concreta de prevención, orientación pública y apoyo a la toma de decisiones.

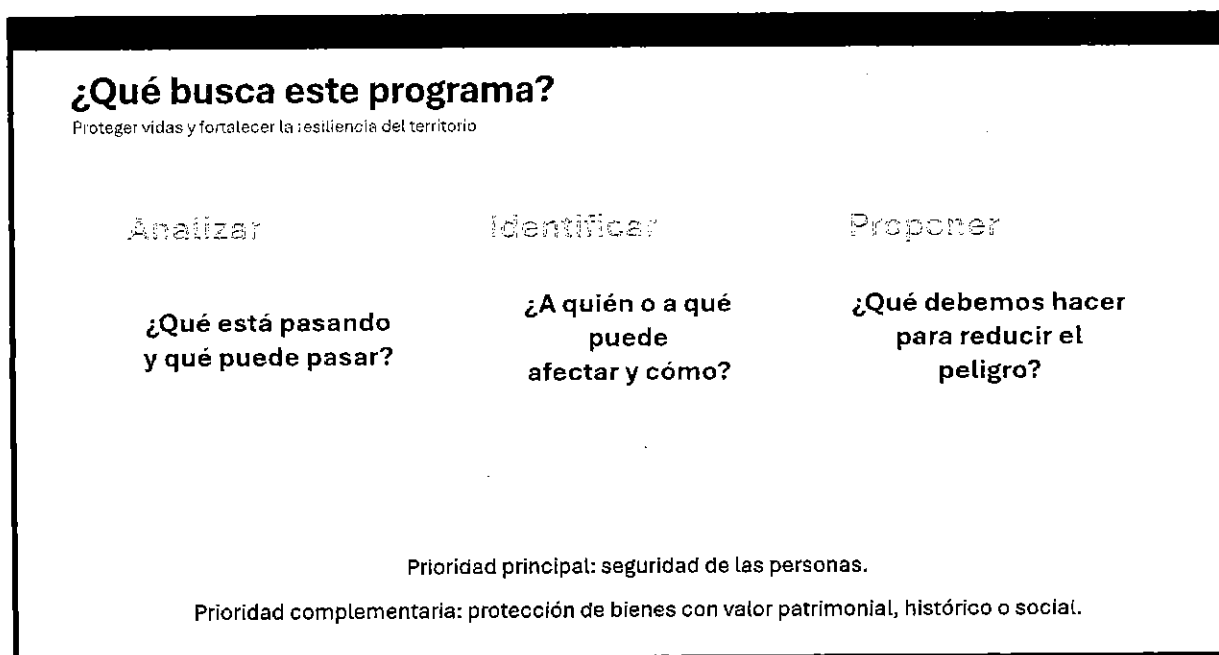


Figura 4-1: Objetivos y prioridades del PD_RRI Areco

5 COMPONENTES PRINCIPALES DEL SISTEMA

La base técnica del programa se apoya en tres componentes principales:

5.1 MONITOREO

El monitoreo consiste en la observación continua de variables relevantes para comprender el comportamiento del sistema hídrico y meteorológico. Esto incluye lluvia, acumulados, persistencia, evolución del evento, comportamiento de los cursos de agua y estado previo de la cuenca.

Su función principal es reducir la dependencia de la sorpresa y transformar una situación de incertidumbre total en una situación de incertidumbre administrable. Un sistema de monitoreo bien diseñado permite detectar tendencias, reconocer situaciones anómalas, mejorar la oportunidad de la comunicación y fortalecer la toma de decisiones. El monitoreo, por lo tanto, no es un fin en sí mismo: sirve para anticipar.

5.2 INVENTARIO HIDRÁULICO

El inventario hidráulico consiste en registrar de manera sistemática el territorio real sobre el que se mueve el agua. Incluye cursos de agua, canales, puentes, alcantarillas, cruces, zonas bajas, puntos de estrangulamiento, sectores con antecedentes de afectación, infraestructura crítica y recorridos que condicionan la seguridad.

Su importancia radica en que el agua no se desplaza en el vacío, sino sobre un territorio con formas, pendientes, obstáculos e infraestructuras que modifican su comportamiento. El inventario hidráulico permite entonces construir una lectura territorial de la vulnerabilidad, reconocer restricciones y entender cómo las características del soporte físico influyen en la peligrosidad y en la capacidad de respuesta.

5.3 SIMULACIÓN MATEMÁTICA

La simulación matemática consiste en representar escenarios probables mediante modelos que permiten anticipar qué puede ocurrir bajo diferentes combinaciones de lluvia, saturación de la cuenca, respuesta del río y comportamiento del agua en el territorio.

Su valor radica en que posibilita ensayar escenarios antes de que sucedan. Permite responder preguntas tales como qué ocurre si la cuenca ya está cargada y vuelve a llover, qué zonas se afectan primero, qué recorridos dejan de ser seguros, dónde conviene priorizar acciones y cómo puede evolucionar la emergencia.

La simulación no reemplaza el conocimiento empírico acumulado por los vecinos y por las instituciones locales, sino que lo complementa, lo organiza, lo verifica y lo proyecta hacia escenarios no vividos o de mayor severidad.

6 ARTICULACIÓN CON DESARROLLOS DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO DE LA UNSADA

Una fortaleza particular del programa es que no parte de cero. El convenio se apoya en desarrollos de investigación y desarrollo ya generados por la propia Universidad Nacional de San Antonio de Areco, que fueron puestos al servicio del programa como activos transferibles.

Esta articulación tiene un doble valor. Por un lado, institucional, porque muestra la capacidad de la Universidad para transferir conocimiento aplicado a problemas concretos del territorio. Por otro, técnico, porque permite acelerar el desarrollo del programa y mejorar su consistencia metodológica.

Entre los principales desarrollos puestos al servicio del convenio se destacan:

- **SOURCE – Sistema de Orientación Urbana ante Riesgos Climáticos Extremos**, que aporta arquitectura de tableros, lógica de comunicación y orientación al usuario;
- **CeMAH – modelo de Centro de Monitoreo de Amenazas Hidrometeorológicas**, que aporta el flujo operativo desde el dato hasta la decisión, incluyendo control de calidad, protocolos y publicaciones;
- **Pluviógrafo Digital de Pesada**, como estación base de medición y telemetría para fortalecer el monitoreo local de lluvia;
- **Limnógrafo Digital**, orientado a la medición de niveles y al seguimiento del comportamiento del sistema fluvial;
- **IST – Índice de Severidad de Tormentas**, como metodología de indexación y semaforización en tiempo real;
- **IHA – Índice de Humedad Antecedente**, como desarrollo orientado específicamente a la lógica hidrológica de Areco;
- y los **flujos de trabajo de QGIS, modelación hidrológica/hidráulica y producción cartográfica**, necesarios para la generación de mapas y escenarios.

La importancia de esta base radica en que el programa no sólo se sostiene en tareas técnicas puntuales, sino en una plataforma de conocimiento ya construida por la Universidad y ahora orientada hacia una necesidad pública concreta.

7 PRODUCTOS CONCRETOS DEL PROGRAMA

El objetivo final del sistema no es la mera producción de informes o modelos, sino la generación de herramientas concretas para la protección de la comunidad. Entre los productos principales se destacan los siguientes:

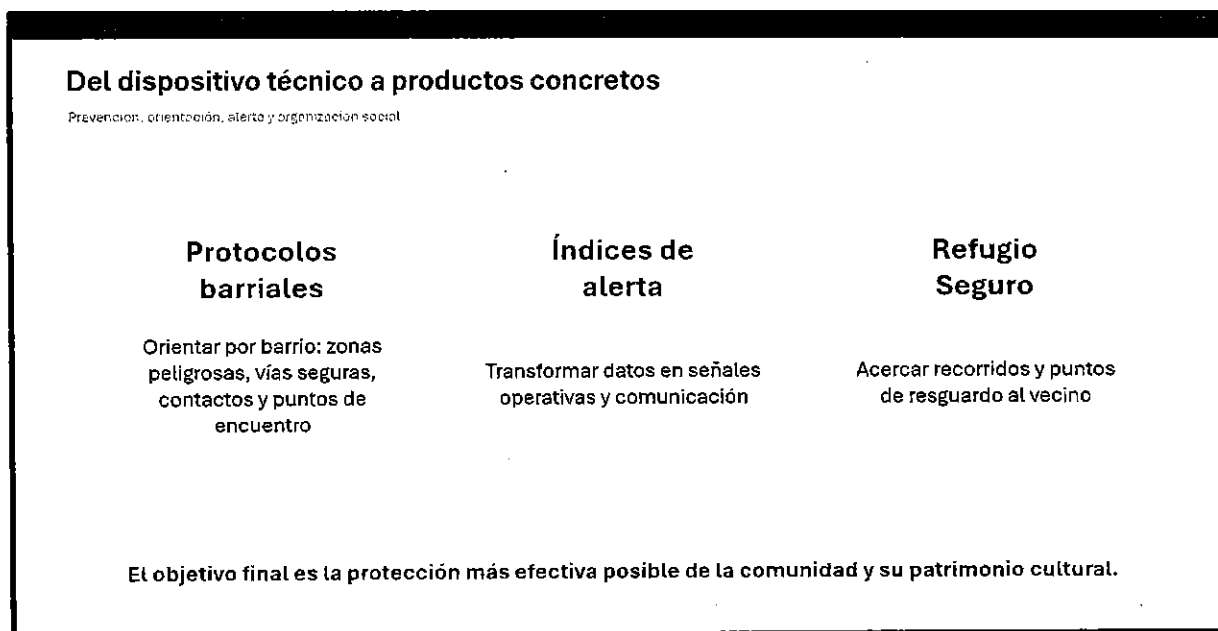


Figura 7-1: Dispositivo técnico del PD_RRI Areco

7.1 PROTOCOLOS BARRIALES

Los protocolos barriales constituyen una de las herramientas más cercanas a la vida cotidiana de la población. Se conciben como guías claras, localizadas y prácticas para cada barrio, orientadas a indicar cómo actuar frente a una situación de riesgo de inundación.

Cada protocolo barrial debe responder, como mínimo, tres preguntas básicas:

- cuáles son las zonas peligrosas;
- cuáles son las vías seguras;
- y a dónde dirigirse y con quién comunicarse en caso de emergencia.

7.1.1 Zonas peligrosas

Una de las primeras funciones del protocolo es identificar los sectores donde el peligro es mayor. No toda el área afectable presenta el mismo nivel de riesgo. Existen zonas con mayor profundidad, zonas con mayor velocidad del escurrimiento y sectores donde la combinación de ambos factores torna inseguro el paso. Identificar el peligro no tiene un fin alarmista, sino orientador.

7.1.2 Vías seguras

El protocolo debe también establecer por dónde conviene desplazarse y por dónde no. Durante una inundación, el trayecto habitual puede dejar de ser el trayecto seguro. La información proveniente de la cartografía y de la simulación se transforma aquí en orientación concreta, permitiendo definir recorridos que reduzcan el riesgo para llegar a resguardo.

7.1.3 Puntos de referencia y contactos

Finalmente, el protocolo debe indicar puntos de autoevacuación, puntos de concentración, contactos institucionales y voceros oficiales. En toda emergencia, la desorganización y la circulación de información no verificada agravan la situación. Por eso resulta fundamental contar con referencias confiables y localizadas.

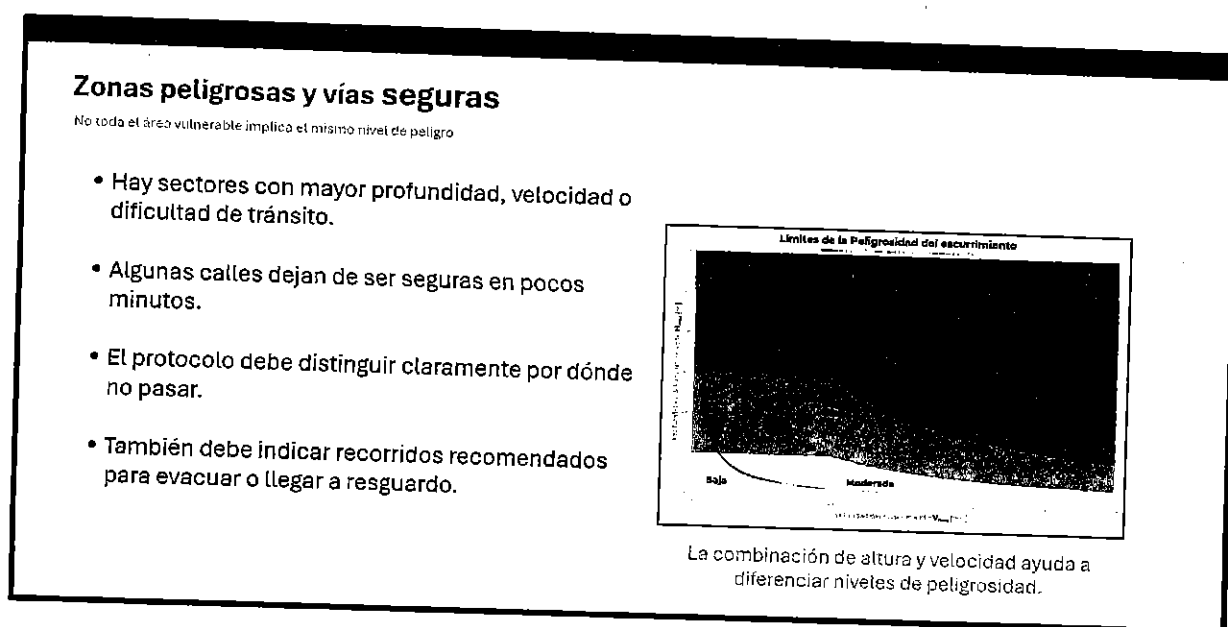


Figura 7-2: Definición de peligrosidad por inundación

7.2 ÍNDICES DE ALERTA

Un índice es una herramienta que resume una situación compleja y la transforma en una señal interpretable, útil para apoyar decisiones y comunicación pública.

Dentro del programa se consideran principalmente dos índices:

- el **Índice de Severidad de Tormentas (IST)**;
- y el **Índice de Humedad Antecedente (IHA)**.

7.2.1 IST – Índice de Severidad de Tormentas

El IST resume la intensidad y gravedad de una tormenta. Su función es detectar eventos intensos, facilitar la comunicación de severidad en tiempo real y apoyar alertas vinculadas a lluvia fuerte. En el programa cumple el papel de indicador complementario.

7.2.2 Particularidad local de Areco

En San Antonio de Areco existe una condición local que obliga a matizar el peso del IST: no alcanza con observar la tormenta del día. Muchas situaciones críticas están asociadas al estado previo de saturación de la cuenca y al potencial de desborde del río Areco. Por ello, el sistema debe incorporar no sólo la lectura del evento actual, sino también la acumulación hídrica de los días o semanas previas.

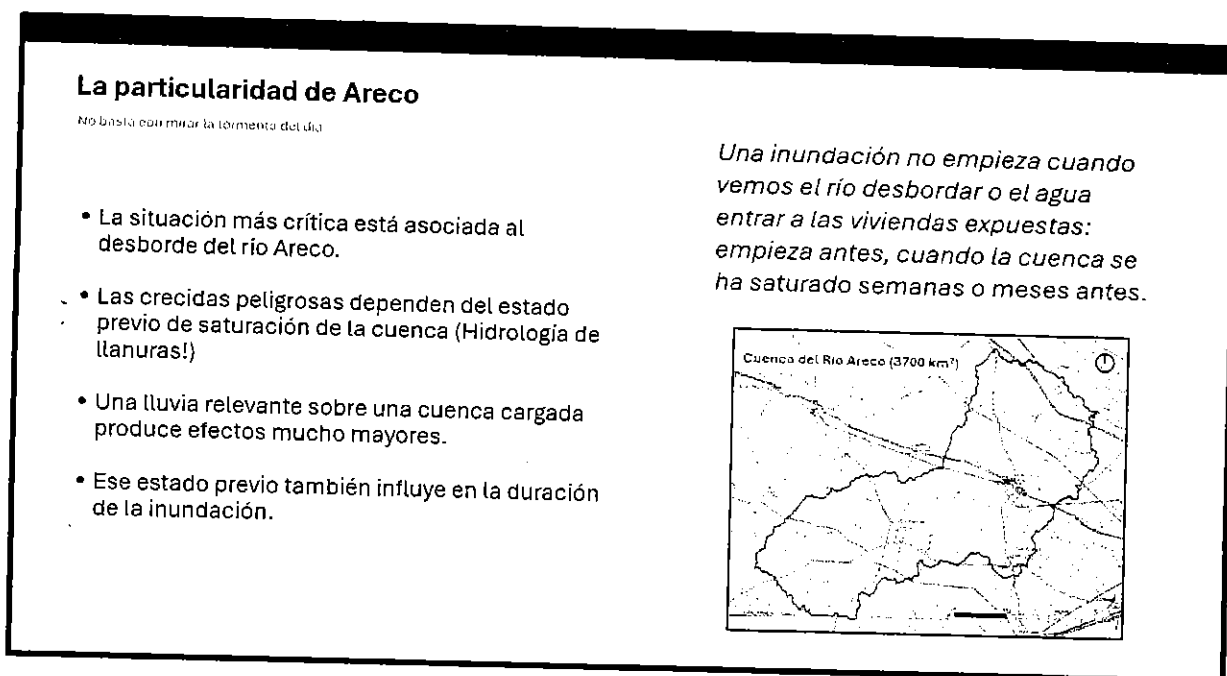


Figura 7-3: Mecanismo primario de inundación en SAdA

7.2.3 IHA – Índice de Humedad Antecedente

El IHA se orienta precisamente a responder cuánto viene cargada de agua la cuenca antes de una nueva lluvia. Si la cuenca está muy cargada, absorbe menos, escurre más y aumenta el potencial de crecida.

Su importancia radica en que permite una lectura anticipatoria del sistema. No describe sólo el evento actual, sino el estado previo de predisposición de la cuenca a responder críticamente. Para el caso de Areco, se considera el índice principal desde el punto de vista del desborde fluvial.

IHA: Índice de Humedad Antecedente

Indicador prioritario para anticipar crecidas fluviales

- Resume cuán cargada de agua está la cuenca antes de una nueva lluvia.
- Si la cuenca está muy cargada, absorbe menos y escurre más.
- Permite anticipar mejor el potencial de crecida y desborde.
- Se calibrará con lluvia antecedente, niveles, huellas de eventos y modelación.

En San Antonio de Areco, el IHA es la herramienta principal para leer la predisposición del sistema a una crecida.

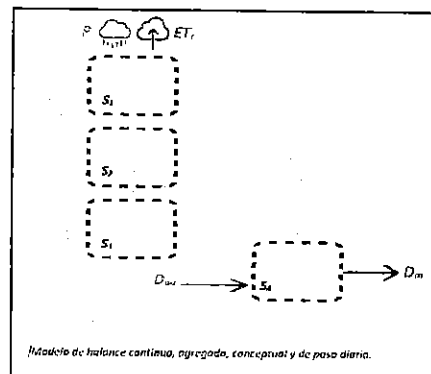


Figura 7-4: Modelo conceptual del IHA en SAdA

7.3 REFUGIO SEGURO

Otro de los productos previstos es la aplicación **Refugio Seguro**, orientada a la comunidad. Su propósito es acercar la información técnica al vecino en forma de recorridos recomendados, orientación hacia puntos de autoevacuación y ayuda para llegar a puntos de concentración.

Refugio Seguro se plantea como la interfaz social del sistema. Busca que la inteligencia técnica no quede encerrada en ámbitos especializados, sino que llegue efectivamente al usuario final, brindándole una guía concreta para la actuación en tiempo real.

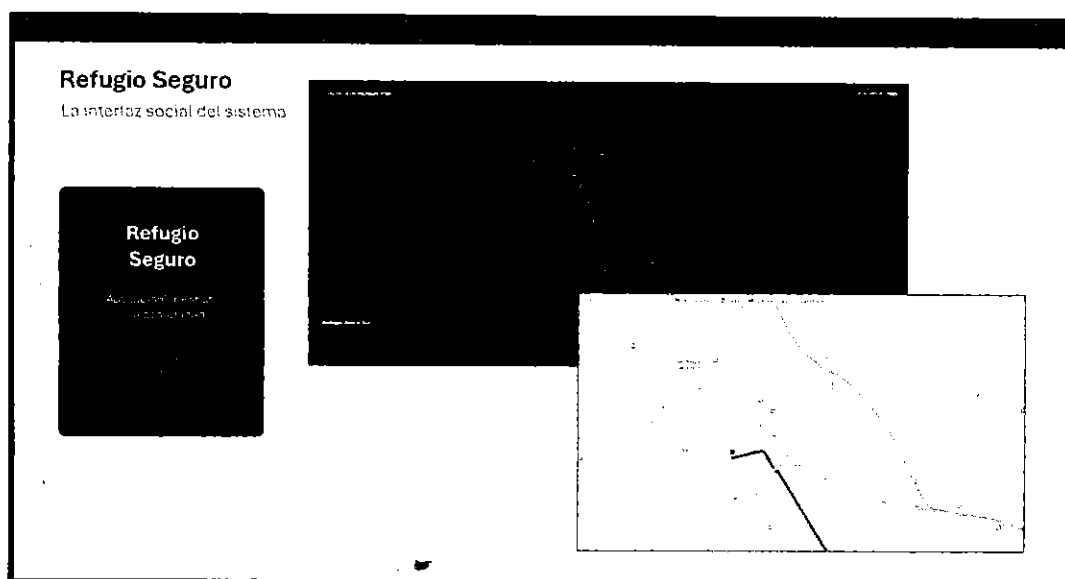


Figura 7-5: Aplicación para celular "Refugio Seguro"

8 INTEGRACIÓN DE HERRAMIENTAS

Uno de los rasgos más importantes del programa es su carácter integrado. Las herramientas no funcionan de manera aislada.

- ✓ El monitoreo alimenta a los índices de alerta.
- ✓ El inventario hidráulico y la simulación alimentan a los protocolos barriales.
- ✓ Los protocolos y los índices, a su vez, alimentan herramientas de orientación pública como Refugio Seguro.
- ✓ Todo el conjunto alimenta la capacidad de decisión pública y de protección comunitaria.

Esta integración permite pasar desde un conjunto de observaciones dispersas a un sistema coherente orientado a la prevención y a la reducción del riesgo.



Figura 8-1: Integración de herramientas en el PD_RRI Areco

9 ESTADO DE AVANCE DEL PROGRAMA

En términos sencillos, puede afirmarse que la primera etapa se centró en organizar la base de conocimiento, y la segunda en construir instrumentos que permitan transformar ese conocimiento en decisiones prácticas. La tercera etapa del programa es la más cercana a la comunidad, en la medida en que apunta a transformar la base técnica ya construida en reglas de actuación, orientación pública y herramientas de uso concreto.

De acuerdo con los informes de avance ya presentados en el marco del convenio, el estado actual del programa puede resumirse del siguiente modo:

9.1 INFORME DE AVANCE N° 1

El primer informe estuvo orientado al diagnóstico y a la construcción de las bases de información. Incluyó:

- diagnóstico preliminar;
- inventario inicial;
- base cartográfica;
- y priorización conceptual del IHA como indicador principal para la lógica local del riesgo.

9.2 INFORME DE AVANCE N° 2

El segundo informe avanzó hacia la etapa de relevamientos y modelación. Incluyó:

- relevamientos territoriales;
- escenarios de modelación;
- mapas de peligrosidad;
- formalización inicial del IHA;
- y la explicitación de la articulación con los proyectos de investigación de la UNSAdA.

9.3 INFORME DE AVANCE N° 3

Entre las líneas de trabajo previstas se destacan:

- protocolos de actuación;
- tableros operativos;
- umbrales de alerta;
- orientación pública;
- capacitación;
- y señalética inteligente.

Estas tareas constituyen la materialización operativa del trabajo realizado hasta el momento, y son las que permitirán consolidar la utilidad pública inmediata del sistema.

10 CONSIDERACIONES FINALES

El Programa para la Reducción del Riesgo por Inundaciones en San Antonio de Areco debe ser entendido como una iniciativa orientada a fortalecer la capacidad local de anticipar, orientar y proteger.

Sus tres componentes técnicos principales —monitoreo, inventario hidráulico y simulación matemática— no son un fin en sí mismos, sino la base instrumental de un sistema orientado a generar herramientas concretas para la seguridad de las personas.

A su vez, la posibilidad de articular este programa con desarrollos propios de investigación y desarrollo de la UNSAdA le otorga una fortaleza adicional, ya que permite aprovechar capacidades ya construidas y ponerlas al servicio del territorio.

En definitiva, el programa no busca únicamente comprender mejor el fenómeno de las inundaciones. Busca reducir el riesgo mediante la disminución de la vulnerabilidad, el fortalecimiento de la resiliencia, la mejora de la anticipación y la generación de herramientas concretas de actuación.

Si este proceso logra que la comunidad reciba alertas más claras, que disponga de mejores referencias para actuar, que evite trayectos peligrosos y que el Municipio cuente con instrumentos más sólidos para decidir, entonces habrá cumplido su propósito esencial

11 ANEXOS

#	Descripción del contenido
11.1	Conferencia pública – 8 de abril de 2026 Programa para la Reducción del Riesgo por Inundaciones en San Antonio de Areco Exposición realizada en la sala del Concejo Deliberante
11.2	Capítulo especial Índice de Humedad Antecedente (IHA) e Índice de Severidad de Tormentas (IST) Lineamientos conceptuales, instrumentación en la cuenca del río Areco y propuesta de desarrollo

11.1 CONFERENCIA PÚBLICA — 8 DE ABRIL DE 2026

Programa para la Reducción del Riesgo por Inundaciones en San Antonio de Areco

Exposición realizada en la sala del Concejo Deliberante de SAdA por Pablo Romanazzi.

11.1.1 Apertura

Ante todo, gracias por estar acá, por acercarse, por interesarse y por dedicarle tiempo a un tema que no es solamente técnico, sino profundamente humano. Cuando hablamos de inundaciones, no estamos hablando únicamente de agua, de lluvia, de mapas o de computadoras. Estamos hablando de la seguridad de las personas, de la tranquilidad de las familias, de la protección de las viviendas, de los recorridos cotidianos, de la posibilidad de ir y volver de un barrio sin poner en riesgo la propia vida, y también de la capacidad de una comunidad para organizarse mejor frente a situaciones críticas.

La idea de esta charla es explicar de manera muy clara en qué consiste el trabajo que estamos desarrollando en el marco del convenio entre la Universidad Nacional de San Antonio de Areco y la Municipalidad de San Antonio de Areco, cuál es su lógica, cuáles son sus herramientas principales y, sobre todo, para qué le sirve a la comunidad.

Voy a tratar de explicar todo desde lo más elemental, sin suponer conocimientos previos. Es decir: como si estuviéramos empezando desde cero. Porque justamente ese es el sentido de esta conferencia. No venimos a mostrar una caja negra técnica que sólo entienden los especialistas. Venimos a contar cómo se construye un sistema pensado para cuidar vidas.

11.1.2 Punto de partida: ¿por qué este programa es necesario?

San Antonio de Areco conoce las inundaciones. No las conoce de manera abstracta. Las conoce por experiencia. Las conoce por memoria. Las conoce porque forman parte de la historia local y porque, cada vez que ocurre un evento importante, vuelven la preocupación, la incertidumbre, la pregunta por lo que puede pasar y la necesidad de saber cómo actuar.

Pero también sabemos algo muy importante: una inundación no empieza el día en que vemos el agua entrar. En realidad, una inundación empieza antes. Empieza cuando la cuenca se va cargando de agua. Empieza cuando el suelo deja de absorber. Empieza cuando el río comienza a responder. Empieza cuando una lluvia que en otra circunstancia podría no generar grandes consecuencias, cae sobre un territorio ya saturado.

Por eso, si queremos reducir el riesgo, no alcanza con reaccionar cuando el problema ya está encima. Necesitamos anticiparnos. Y para anticiparnos necesitamos un dispositivo técnico. Un sistema. Una forma organizada de observar, comprender y actuar.

Eso es, en esencia, lo que estamos construyendo con este programa.

11.1.3 ¿Qué es el Programa para la Reducción del Riesgo por Inundaciones?

El Programa para la Reducción del Riesgo por Inundaciones no es una sola obra, ni una sola computadora, ni una sola aplicación, ni un único mapa. Es un sistema integrado de trabajo.

Un sistema que busca transformar información dispersa en herramientas concretas para la protección de las personas.

Dicho de otra manera: este programa intenta responder tres preguntas fundamentales.

- ✓ La primera pregunta es: **qué está pasando y qué puede pasar.**
- ✓ La segunda pregunta es: **a quién puede afectar y de qué manera.**
- ✓ Y la tercera pregunta es: **qué tenemos que hacer, cuándo y cómo, para reducir el peligro.**

Para responder esas preguntas, el programa se apoya en tres grandes componentes técnicos, que son la base instrumental del sistema:

- ✓ el monitoreo,
- ✓ el inventario hidráulico,
- ✓ y la simulación matemática.

Estas tres piezas trabajan juntas. No están aisladas. Y de su articulación surgen los productos finales que le sirven a la gente, a las instituciones y a quienes tienen que tomar decisiones.

11.1.4 Primer componente: el monitoreo

Voy a empezar por el monitoreo.

Monitorear significa observar en forma continua. Significa medir. Significa seguir la evolución de variables que nos permiten entender el comportamiento del sistema hídrico y meteorológico.

En términos simples, monitorear es no esperar a que alguien nos avise que el agua está entrando, sino contar con información propia, sistemática y ordenada para saber qué está ocurriendo.

¿Qué se monitorea? Se puede monitorear la lluvia, la intensidad de la tormenta, los acumulados, la duración, el comportamiento de los cursos de agua, los niveles, y también el estado previo de la cuenca. Todo esto ayuda a construir una lectura del riesgo.

El monitoreo es importante porque transforma una situación de incertidumbre total en una situación de incertidumbre administrable. Nunca se puede eliminar completamente la incertidumbre, porque los fenómenos naturales tienen variabilidad. Pero sí se puede reducir. Se puede pasar de no saber nada, a saber bastante. Y eso, en gestión del riesgo, cambia todo.

Cuando un municipio monitorea bien, tiene más tiempo para prepararse. Puede observar tendencias. Puede detectar situaciones anómalas. Puede emitir mensajes más oportunos. Puede ordenar mejor su respuesta. Puede incluso evitar que una persona tome una mala decisión por falta de información.

En nuestro caso, el monitoreo no está pensado como un fin en sí mismo. No se trata de medir por medir. Se trata de medir para alimentar un sistema de decisiones.

11.1.5 Segundo componente: el inventario hidráulico

El segundo componente es el inventario hidráulico.

Este término puede sonar técnico, pero la idea es simple. Inventariar significa registrar qué existe en el territorio y qué papel cumple frente al movimiento del agua.

Por ejemplo: puentes, alcantarillas, canales, cunetas, cruces, calles que se cortan, puntos bajos, sectores donde el agua tiende a concentrarse, lugares donde el escurrimiento se frena, obras que ayudan, obras que limitan, zonas urbanas expuestas, equipamientos sensibles, recorridos posibles y recorridos problemáticos.

¿Por qué esto es tan importante? Porque el agua se mueve sobre un territorio concreto. Y ese territorio tiene formas, pendientes, obstáculos, infraestructuras y condiciones urbanas que modifican profundamente lo que ocurre durante una inundación.

Dos lluvias parecidas pueden producir consecuencias muy distintas si cambian las condiciones del terreno o de la infraestructura. Por eso, para gestionar el riesgo, no alcanza con observar las variables atmosféricas. También hay que mirar el territorio.

El inventario hidráulico es, entonces, una especie de “mapa inteligente” del funcionamiento físico del partido frente a una situación crítica. Nos permite reconocer puntos de estrangulamiento, zonas vulnerables, áreas donde conviene intervenir primero y sectores donde una decisión equivocada puede agravar un problema.

En otras palabras: el inventario hidráulico le da cuerpo territorial al sistema de prevención.

11.1.6 Tercer componente: la simulación matemática

El tercer componente es la simulación matemática.

Y acá quiero detenerme un poco, porque muchas veces esta parte genera distancia o desconfianza en el público cuando se la presenta en forma demasiado técnica.

Simular no significa inventar. Simular significa representar matemáticamente el comportamiento probable de un fenómeno real.

Es parecido a lo que hace un simulador de vuelo. El simulador no es el avión real, pero permite anticipar cómo se comportaría el avión en determinadas condiciones. Bueno: en este caso, la simulación matemática nos permite representar cómo se comporta el agua ante determinados escenarios.

Podemos preguntarle al modelo: ¿qué pasa si la cuenca está muy húmeda y vuelve a llover? ¿Qué pasa si hay una tormenta intensa en poco tiempo? ¿Qué pasa si el río crece de determinada manera? ¿Qué zonas se ven afectadas primero? ¿Dónde aumenta la peligrosidad? ¿Qué calles podrían dejar de ser seguras? ¿Qué sectores necesitan evacuación anticipada?

La simulación es valiosa porque no nos obliga a esperar el desastre real para aprender. Nos permite ensayar escenarios antes de que ocurran. Nos permite probar hipótesis. Nos permite planificar mejor.

Y esto es central: el conocimiento técnico no reemplaza la experiencia de los vecinos. La complementa. La organiza. La verifica. La traduce en instrumentos más robustos. Muchas veces, quienes viven desde hace años en un barrio saben por experiencia dónde entra primero el agua, qué calle se corta antes, qué trayecto deja de ser conveniente. La simulación ayuda a consolidar ese conocimiento, a ponerlo en mapas, a validarlo y a extenderlo hacia escenarios futuros o más extremos.

11.1.7 De estos tres componentes surgen productos concretos

Hasta acá describí la base técnica del sistema: monitoreo, inventario hidráulico y simulación matemática.

Ahora bien, todo esto no tendría demasiado sentido si quedara encerrado en un informe técnico. El verdadero objetivo es que esa base instrumental produzca herramientas concretas para la seguridad de las personas.

Y acá aparece una idea muy importante: **el dispositivo técnico genera productos.**

¿Productos de qué tipo? Productos de prevención. Productos de orientación. Productos de alerta. Productos de organización social. Productos que sirven antes, durante y después de una emergencia.

Entre esos productos, hoy quiero destacar tres grandes conjuntos:

- ✓ los protocolos barriales,
- ✓ los índices de alerta,
- ✓ y la aplicación Refugio Seguro.

Estos tres grupos de herramientas son, en términos prácticos, la forma en que el conocimiento técnico se convierte en protección concreta para la población.

11.1.8 Primer producto: los protocolos barriales

Voy a empezar por los protocolos barriales, porque probablemente sean una de las herramientas más cercanas a la vida cotidiana de los vecinos.

¿Qué es un protocolo barrial?

Un protocolo barrial es una guía clara, localizada y comprensible sobre cómo actuar frente a una situación de riesgo de inundación en un barrio determinado.

No es un documento genérico. No es una recomendación abstracta. No es una lista universal que sirve para cualquier lugar. Al contrario: un protocolo barrial está pensado para un territorio concreto, con sus calles, sus puntos críticos, su población, sus referentes y sus posibilidades reales de salida o resguardo.

Cada protocolo barrial debe responder, de manera sencilla y práctica, al menos tres preguntas básicas.

11.1.8.1 Primera pregunta: ¿cuáles son las zonas peligrosas?

La primera pregunta es: **qué lugares son peligrosos.**

No toda el área afectada por una inundación tiene el mismo nivel de peligro. Hay sectores donde el agua puede llegar con más velocidad, con mayor profundidad o con una combinación de ambas cosas. Hay cruces que dejan de ser seguros rápidamente. Hay calles que pueden parecer transitables pero dejan de serlo en cuestión de minutos. Hay sitios donde el agua estancada o en movimiento representa una amenaza muy grande, incluso cuando visualmente no parece tan grave.

Por eso, uno de los contenidos centrales del protocolo barrial es identificar esas zonas peligrosas. No para alarmar, sino para orientar.

11.1.8.2 Segunda pregunta: ¿cuáles son los caminos o vías seguras?

La segunda pregunta es: **por dónde entrar o salir sin poner en peligro la vida.**

Esto es fundamental. Muchas veces, durante una emergencia, la gente tiende a querer volver a su casa, rescatar bienes, asistir a otra persona o moverse por trayectos habituales. Pero los trayectos habituales no siempre son los trayectos seguros.

Por eso, el protocolo barrial debe indicar caminos o vías seguras. Es decir: recorridos recomendados para evacuar, desplazarse o llegar a zonas de resguardo minimizando el riesgo.

Esta parte del protocolo es una de las más valiosas, porque traduce la simulación y la cartografía en una orientación concreta. Ya no se trata solamente de decir "acá puede inundarse", sino de decir "si ocurre esto, vaya por acá y no por allá".

11.1.8.3 Tercera pregunta: ¿a dónde dirigirme y con quién comunicarme?

La tercera pregunta es: **si debo evacuar o autoevacuarme, a dónde voy, con quién me contacto y quién comunica oficialmente.**

En toda emergencia, la desorganización agrava el daño. Por eso es indispensable que exista una referencia clara sobre:

- ✓ puntos de autoevacuación o concentración,
- ✓ lugares donde puede esperarse asistencia,
- ✓ contactos institucionales,
- ✓ voceros oficiales,
- ✓ y mecanismos de comunicación confiables.

Esto es muy importante porque en momentos críticos circula mucha información confusa, mensajes contradictorios, rumores, interpretaciones parciales o cadenas no verificadas. Un protocolo barrial ayuda a ordenar eso.

Entonces, cuando hablamos de protocolos barriales, estamos hablando de una herramienta que convierte el conocimiento técnico en instrucciones simples, útiles y localizadas para la comunidad.

11.1.9 Segundo producto: los índices de alerta

El segundo gran producto del sistema son los índices de alerta

¿Qué es un índice? Un índice es un número que resume una situación compleja y la transforma en una señal interpretable. Es una forma de condensar mucha información en una escala operativa. Por ejemplo, un índice no reemplaza a los datos. Pero ayuda a leerlos. Ayuda a decidir. Ayuda a comunicar.

En este programa estamos trabajando, principalmente, con dos índices:

- ✓ el Índice de Severidad de Tormentas,
- ✓ y el Índice de Humedad Antecedente.

Los dos son importantes, pero cumplen funciones distintas.

11.1.9.1 Índice de Severidad de Tormentas

El Índice de Severidad de Tormentas está pensado para resumir la intensidad y la gravedad de una tormenta.

Sirve para captar si estamos ante un evento que, por su intensidad, duración o comportamiento, merece una atención especial.

Es útil para la alerta rápida asociada a tormentas fuertes, especialmente cuando queremos comunicar a la población que no se trata de una lluvia común, sino de un fenómeno con potencial de producir afectaciones.

Ahora bien, en San Antonio de Areco hay una particularidad muy importante.

11.1.9.2 La particularidad de Areco: no alcanza con mirar la tormenta del día

En muchos lugares, el problema principal está vinculado casi exclusivamente a la tormenta inmediata. Es decir: cuánto llovió en poco tiempo y con qué intensidad.

Pero en Areco, por las características del río y de la cuenca, muchas de las situaciones más peligrosas no se explican solamente por la lluvia del día. Se explican por el estado previo de saturación de la cuenca.

Esto es central para entender el enfoque del programa.

El río Areco puede desbordarse en contextos donde el problema no es únicamente una tormenta aislada, sino la acumulación previa de humedad en el sistema. Cuando el suelo ya está cargado, cuando la cuenca viene recibiendo agua desde hace días, cuando ya perdió buena parte de su capacidad de absorber, entonces cualquier nueva lluvia tiene un efecto mucho mayor.

Y esto no sólo sirve para anticipar la crecida. También ayuda a entender algo que a la población le importa muchísimo: **cuánto puede durar la inundación**. Porque si el sistema está saturado, la recuperación también puede ser más lenta.

11.1.9.3 Índice de Humedad Antecedente

Por eso estamos desarrollando y priorizando, para el caso específico de San Antonio de Areco, un índice muy particular: el **Índice de Humedad Antecedente**.

Dicho de manera sencilla, este índice busca responder una pregunta clave:

¿cuán cargada de agua está la cuenca antes de que ocurra o continúe la lluvia?

Si la respuesta es “muy cargada” (técnicamente saturada o sin capacidad de aumentar el almacenamiento), entonces el riesgo de crecida por desborde del río aumenta significativamente.

Este índice es especialmente valioso porque permite pasar de una mirada puramente reactiva a una mirada anticipatoria. Ya no miramos solamente lo que está cayendo hoy, sino también lo que se acumuló en los días o semanas previas.

Eso le da al sistema una capacidad de anticipación mucho mayor.

Nos permite distinguir entre una lluvia importante sobre una cuenca relativamente descargada y una lluvia quizás no tan extraordinaria sobre una cuenca que ya está al límite.

En otras palabras: el Índice de Humedad Antecedente es una herramienta pensada específicamente para la lógica hidrológica de Areco.

11.1.10 Tercer producto: la aplicación Refugio Seguro

El tercer gran producto que quiero presentar es la aplicación **Refugio Seguro**.

Esta aplicación apunta a que toda esta inteligencia técnica no quede solamente en manos de especialistas o dentro de oficinas públicas, sino que llegue efectivamente al usuario final: al vecino, a la familia, a la persona que necesita saber qué hacer en el momento oportuno.

¿Para qué sirve Refugio Seguro? Sirve, esencialmente, para orientar a la población durante una situación de riesgo.

Su función es ayudar a indicar el recorrido que debería realizar una persona para llegar a puntos de autoevacuación o puntos de concentración donde pueda esperarse asistencia del municipio, de las fuerzas vivas o de las organizaciones intermedias de San Antonio de Areco.

Esta idea es muy poderosa, porque traduce una lógica compleja de simulación, monitoreo, cartografía y protocolos en una herramienta de uso cotidiano y directo.

Es, si se quiere, la interfaz social del sistema.

La aplicación no reemplaza la responsabilidad institucional ni la organización territorial. Pero puede convertirse en un puente muy importante entre el sistema técnico y la acción concreta de la comunidad.

Además, tiene una ventaja decisiva: puede actualizar información y mostrar orientación específica según el lugar donde se encuentre el usuario y según el estado del evento. Eso significa que la herramienta no sólo informa, sino que acompaña decisiones en tiempo real.

11.1.11 ¿Cómo se relacionan entre sí estos productos?

Es importante entender que protocolos barriales, índices de alerta y aplicación Refugio Seguro no son piezas separadas:

- ✓ Forman parte de un mismo ecosistema.
- ✓ El monitoreo alimenta a los índices.
- ✓ El inventario hidráulico y la simulación alimentan a los protocolos barriales.
- ✓ Los protocolos y los índices alimentan a la aplicación Refugio Seguro.
- ✓ Y todo eso, a su vez, alimenta la capacidad del municipio para comunicar mejor, decidir mejor y actuar mejor.

Entonces, no estamos desarrollando herramientas aisladas. Estamos construyendo un sistema de reducción del riesgo orientado a las personas.

11.1.12 ¿Qué se ha hecho hasta ahora en los dos informes de avance?

Quiero ahora vincular brevemente esta charla con el trabajo ya realizado y documentado en los dos informes de avance presentados en el marco del convenio.

En el primer informe se avanzó en el diagnóstico y en la construcción de las bases de información. Allí se sistematizaron antecedentes, se organizó el inventario inicial de infraestructura hidráulica y drenaje, se estructuraron bases de datos hidrometeorológicas y cartografía temática, y se estableció como prioridad conceptual el desarrollo de un Índice de Humedad Antecedente para el caso local, manteniendo al Índice de Severidad de Tormentas como complemento. También se integraron criterios metodológicos provenientes del sistema SOURCE y del esquema de centro de monitoreo, pensando ya en la futura operación del sistema.

En el segundo informe se dio un paso decisivo: se pasó desde la organización de la información hacia la construcción de herramientas de simulación y apoyo a decisiones. Se trabajó en relevamientos, preparación de insumos topográficos y cartográficos, modelación hidrológica e hidráulica, producción de mapas de peligrosidad y formalización inicial del IHA como métrica operativa principal para anticipar crecidas del río Areco. También se consolidó la idea de que el programa debe desembocar en protocolos, tableros operativos, señalética inteligente, orientación pública y capacitación.

Dicho de manera muy simple: en una primera etapa se organizó la base de conocimiento, y en la segunda se empezaron a construir los instrumentos que permiten transformar ese conocimiento en decisiones prácticas.

11.1.13 ¿Por qué todo esto está pensado para personas no técnicas?

A veces se cree que cuanto más técnico es un sistema, menos accesible resulta para la población. Y eso puede pasar, efectivamente, si el trabajo se queda en el nivel de especialistas.

Pero nuestro enfoque es exactamente el contrario.

Toda esta estructura técnica tiene sentido en la medida en que se traduzca en lenguaje claro, herramientas comprensibles, señales operativas simples y decisiones mejor informadas.

Un buen sistema de gestión del riesgo no es el que produce los informes más complejos, sino el que logra que una persona sepa reconocer una situación peligrosa, entienda cuál es su conducta recomendada y disponga de una vía concreta para ponerse a resguardo.

Por eso la construcción de protocolos barriales, de índices claros y de la aplicación Refugio Seguro no es un agregado secundario: es el corazón de la transferencia social del proyecto.

11.1.14 ¿Qué significa reducir el riesgo y no sólo estudiar la inundación?

Quiero insistir en una distinción muy importante: un tema es estudiar inundaciones; otro tema es reducir el riesgo por inundaciones.

Estudiar inundaciones es necesario, pero no suficiente. Reducir el riesgo implica actuar sobre la relación entre la amenaza y la sociedad.

Implica conocer mejor el fenómeno, sí. Pero también implica mejorar la preparación, ordenar la respuesta, comunicar con claridad, identificar zonas seguras, establecer recorridos recomendados, definir puntos de encuentro, fortalecer la capacidad institucional y darle a la comunidad herramientas que aumenten su autonomía y su seguridad.

En este programa, por lo tanto, la técnica no está orientada solamente al conocimiento del agua. Está orientada a la protección de las personas.

11.1.15 ¿Qué puede esperar la comunidad de este proceso?

La comunidad puede esperar varias cosas.

Puede esperar, en primer lugar, una mejora progresiva en la capacidad de anticipación. Es decir, una mayor posibilidad de saber antes cuándo se están generando condiciones preocupantes.

Puede esperar, en segundo lugar, una mejora en la calidad de la información pública. No información improvisada, sino información basada en monitoreo, en análisis y en criterios de decisión.

Puede esperar, en tercer lugar, herramientas territorializadas. Esto es muy importante. No se trata de mensajes genéricos, sino de instrumentos adaptados al funcionamiento real de los barrios y del sistema hídrico local.

Y puede esperar, por último, un avance hacia una cultura de prevención, donde el conocimiento técnico y el conocimiento comunitario se articulen en lugar de caminar por separado.

11.1.16 Una reflexión sobre la responsabilidad compartida

También me parece importante decir algo sobre la responsabilidad.

La reducción del riesgo no depende de una sola institución ni de una sola herramienta. Requiere articulación. Requiere municipio, universidad, equipos técnicos, organismos de respuesta, organizaciones sociales y comunidad trabajando en equipo. Por eso:

- ✓ Un protocolo barrial puede ser excelente, pero si no se conoce, pierde eficacia.
- ✓ Un índice puede estar bien calibrado, pero si no se comunica bien, pierde valor.
- ✓ Una aplicación puede ser muy útil, pero si no está integrada a una estrategia institucional, queda limitada.

Por eso este trabajo debe entenderse como una construcción colectiva y gradual. Un proceso que necesita rigor técnico, pero también apropiación social.

11.1.17 Cierre

Para ir cerrando, quisiera resumir la idea central de esta conferencia.

El Programa para la Reducción del Riesgo por Inundaciones en San Antonio de Areco se apoya en tres componentes técnicos principales: el monitoreo, el inventario hidráulico y la simulación matemática.

Pero esos componentes no son un fin en sí mismos. Son la base instrumental de un sistema cuyo verdadero objetivo es generar productos concretos para la seguridad de las personas.

Entre esos productos se destacan los protocolos barriales, que indican zonas peligrosas, vías seguras y puntos de referencia para actuar; los índices de alerta, entre ellos el Índice de Severidad de Tormentas y, de manera prioritaria para Areco, el Índice de Humedad Antecedente; y la aplicación Refugio Seguro, pensada para orientar a la población hacia recorridos y puntos de resguardo durante una situación crítica.

En definitiva, lo que estamos construyendo no es solamente un conjunto de estudios. Estamos construyendo una capacidad local para anticipar, orientar y proteger.

Y si esa capacidad logra que una familia reciba una alerta más clara, que un vecino evite un trayecto peligroso, que un barrio tenga mejores referencias para actuar o que una evacuación sea más rápida y segura, entonces este trabajo habrá cumplido su sentido más importante.

Desde la Universidad Nacional de San Antonio de Areco y en articulación con el Municipio, entendemos que reducir el riesgo por inundaciones no consiste solamente en estudiar fenómenos naturales, sino en convertir el conocimiento en capacidad concreta de prevención, orientación y protección comunitaria.

Ese es el espíritu del trabajo que venimos desarrollando y ese es también el compromiso que queremos compartir con la comunidad de San Antonio de Areco.

Muchas gracias.

Dr. Ing. Pablo G. Romanazzi
Docente Investigador UNSAdA

11.2 CAPÍTULO ESPECIAL - *ÍNDICE DE HUMEDAD ANTECEDENTE (IHA)* E *ÍNDICE DE SEVERIDAD DE TORMENTAS (IST)*

11.2.1 Introducción

En el marco del Programa para la Reducción del Riesgo por Inundaciones en San Antonio de Areco, los índices constituyen una pieza central para transformar información hidrometeorológica compleja en señales operativas que permitan anticipar, comunicar y orientar decisiones. Sin embargo, no todos los índices cumplen la misma función ni responden a la misma lógica física del fenómeno.

En el caso particular de la cuenca del río Areco, la experiencia histórica, el análisis hidrológico del sistema y los avances desarrollados en los informes del convenio indican que la amenaza más crítica para la seguridad de las personas está asociada a las crecidas y desbordes fluviales. En ese contexto, no alcanza con caracterizar solamente la tormenta del momento; resulta indispensable estimar el estado previo de la cuenca, es decir, cuán cargada (= saturada) de agua se encuentra antes de una nueva lluvia significativa.

Por ello, para el sistema de alerta de Areco se propone una arquitectura de índices con funciones diferenciadas:

- un **Índice de Humedad Antecedente (IHA)** como índice principal para la anticipación de escenarios de crecida fluvial y desborde del río Areco;
- y un **Índice de Severidad de Tormentas (IST)** como índice complementario para caracterizar la severidad intrínseca de los eventos de lluvia, con potencial ampliación hacia una métrica vinculada a la potencia o energía de la tormenta.

Este capítulo desarrolla ambos conceptos, propone criterios de instrumentación en la cuenca del Areco y recupera la línea de trabajo previa sobre el IST, incluyendo su posible evolución hacia una formulación más universal y físicamente interpretable.

11.2.2 Rol diferencial de ambos índices dentro del sistema

Antes de entrar en el detalle de cada índice, conviene establecer claramente el papel que le corresponde a cada uno dentro del sistema de gestión del riesgo.

El **IHA** no describe la tormenta en sí misma, sino la **predisposición hidrológica de la cuenca** a responder críticamente frente a una nueva lluvia. En otras palabras, resume la memoria hídrica del sistema. Su función principal es anticipar si el territorio está en una condición de baja, media o alta susceptibilidad a generar crecidas significativas.

El **IST**, en cambio, describe la **severidad del evento meteorológico** en curso o recientemente ocurrido. Resume, en una sola señal, atributos como intensidad, duración, acumulado y persistencia del evento. Su función es caracterizar la tormenta, acompañar la comunicación pública y complementar la lectura hidrológica aportada por el IHA.

Así, ambos índices no compiten entre sí, sino que se complementan:

- el IHA responde principalmente a la pregunta: "¿cuán cargada (= saturada) está la cuenca?"
- el IST responde principalmente a la pregunta: "¿qué tan severa es esta tormenta?"

En una cuenca con lógica predominantemente fluvial como la del Areco, el IHA debe ocupar el lugar principal en la arquitectura de alerta, mientras que el IST debe operar como índice complementario y enriquecedor del diagnóstico.

11.2.3 Índice de Humedad Antecedente (IHA): fundamento conceptual

11.2.3.1 Justificación hidrológica

El fundamento del IHA es sencillo y, al mismo tiempo, decisivo para una cuenca como la del Areco. Frente a dos tormentas de características similares, la respuesta hidrológica puede ser completamente distinta según cuál sea el estado previo de humedad del suelo y del sistema de drenaje natural.

Una cuenca descargada absorbe una porción importante del agua precipitada, amortigua la escorrentía y retrasa la respuesta del río. En cambio, una cuenca cargada o casi saturada reduce su capacidad de infiltración, incrementa el coeficiente de escorrentía y acelera la transferencia de volúmenes hacia el cauce principal.

Por lo tanto, el mismo episodio de lluvia puede generar consecuencias moderadas en una situación y consecuencias críticas en otra. De ahí surge la necesidad de un índice que no mire únicamente el evento presente, sino la memoria hidrológica acumulada del sistema.

11.2.3.2 ¿Qué representa el IHA?

El IHA debe interpretarse como un indicador sintético de la **condición antecedente de humedad de la cuenca**, estimada a partir de información hidrometeorológica disponible y eventualmente complementada con observaciones remotas o modelación continua.

Su lectura operativa puede expresarse, por ejemplo, en una escala 0–1, 0–100 o incluso en semáforos operativos. Más importante que la escala exacta es que el índice permita distinguir con claridad estados como:

- I. cuenca descargada;
- II. cuenca en proceso de carga;
- III. cuenca cargada;
- IV. cuenca altamente saturada o crítica.

11.2.3.3 Variables básicas a considerar

En una primera formulación, el IHA puede construirse a partir de la precipitación antecedente ponderada, usando ventanas móviles de acumulación con distinto peso relativo. Las ventanas

sugeridas, ya mencionadas en el trabajo previo del convenio, son de 7, 15 y 30 días, asignando mayor peso a las lluvias recientes y menor a las más antiguas.

Una formulación base podría expresarse como:

$$IHA_{\text{bruto}} = w7 \cdot P7 + w15 \cdot P15 + w30 \cdot P30$$

donde:

- P7 es la precipitación acumulada en los últimos 7 días,
- P15 es la precipitación acumulada en los últimos 15 días,
- P30 es la precipitación acumulada en los últimos 30 días,
- y w7, w15, w30 son pesos a calibrar.

Sin embargo, para evitar redundancias entre ventanas y dar una interpretación más física, conviene evolucionar hacia una formulación con **decaimiento temporal exponencial**, donde cada lluvia antecedente aporta al índice con un peso decreciente a medida que se aleja en el tiempo.

Una forma general sería:

$$IHA_t = \sum P_i e^{-(t-i)/k}$$

siendo:

- P_i la lluvia del día o intervalo i [mm ó l/m²],
- t el tiempo actual [días, semanas, meses],
- k un parámetro de decaimiento temporal a calibrar [días, semanas, meses].

Este parámetro k no debería fijarse a priori, sino dejarse como parámetro configurable y calibrable, tal como se había planteado en la evolución conceptual del proyecto.

11.2.4 ¿Cómo instrumentar el IHA en la cuenca del Areco?

11.2.4.1 Escala espacial de aplicación

La cuenca del río Areco no debe tratarse necesariamente como una unidad completamente homogénea. Desde el punto de vista operativo, el IHA puede instrumentarse en tres niveles crecientes de complejidad:

- **Nivel 1 – IHA único de cuenca.** Es la opción más simple y rápida de implementar. Consiste en calcular un único IHA representativo de la cuenca alta-media que aporta al tramo crítico para San Antonio de Areco. Ventajas:

- ✓ simplicidad operativa;
- ✓ facilidad de comunicación;
- ✓ rápida implementación.

Desventajas:

- ✓ menor capacidad para representar heterogeneidad espacial;
- ✓ posible pérdida de sensibilidad frente a lluvias muy localizadas.

- **Nivel 2 – IHA por subcuencas funcionales.** En esta opción se divide la cuenca en subunidades hidrológicas relevantes y se calcula un IHA para cada una. Luego puede construirse un IHA compuesto, ponderando la contribución relativa de cada subcuenca al tramo de interés.

Ventajas:

- ✓ mejor representación espacial;
- ✓ mayor precisión para escenarios con lluvias desuniformes;
- ✓ mejor integración con modelación hidrológica.

Desventajas:

- ✓ mayor demanda de información;
- ✓ mayor complejidad operativa.

- **Nivel 3 – IHA espacial distribuido.** Es la opción más avanzada. Consiste en calcular una especie de campo espacial de humedad antecedente a partir de lluvia distribuida, sensores remotos, estados simulados y/o asimilación de datos.

Ventajas:

- ✓ máxima consistencia física;
- ✓ aptitud para integrarse con modelos distribuidos.

Desventajas:

- ✓ complejidad mucho mayor;
- ✓ exigencia elevada de datos y mantenimiento.

Para el caso actual de Areco, una estrategia razonable sería comenzar con un **Nivel 1 robusto** o un **Nivel 2 simplificado**, de modo de obtener una herramienta operativa temprana, escalable más adelante hacia formulaciones distribuidas.

11.2.4.2 Datos requeridos

La instrumentación del IHA en la cuenca del Areco debería apoyarse, en lo posible, en una combinación de fuentes:

1. Pluviometría local

- estaciones existentes;
- pluviómetros propios o de terceros;
- observaciones municipales o institucionales.

2. Información satelital o de sensores remotos

- estimaciones de precipitación regionalizada (campos de precipitación);
- eventualmente productos de humedad superficial del suelo.

3. Información hidrológica observada

- niveles del río Areco;
- hidrogramas observados cuando existan;
- marcas o huellas de eventos históricos.

4. Modelación hidrológica continua o de eventos

- almacenamiento estimado;
- condiciones iniciales de simulación;
- variables de estado derivadas.

11.2.4.3 Procedimiento operativo sugerido

Se propone una implementación gradual:

○ Etapa A – Preprocesamiento de datos

- consolidar series de precipitación diarias o subdiarias;
- completar faltantes en forma controlada;
- verificar coherencia espacial y temporal;
- construir acumulados móviles.

○ ***Etapas B – Cálculo del índice bruto***

- aplicar la formulación ponderada o exponencial elegida;
- normalizar el resultado en una escala operativa.

○ ***Etapas C – Calibración hidrológica***

- comparar el IHA con eventos históricos de crecida;
- analizar relación con niveles máximos, tiempos al pico y duración de la inundación;
- ajustar el parámetro de decaimiento y los umbrales operativos.

○ ***Etapas D – Semaforización operativa***

Una vez calibrado, el IHA puede traducirse a niveles de actuación, por ejemplo:

- ✓ **IHA bajo:** cuenca descargada;
- ✓ **IHA medio:** cuenca cargada, atención reforzada;
- ✓ **IHA alto:** cuenca casi saturada, probabilidad elevada de respuesta crítica;
- ✓ **IHA muy alto:** situación predisponente severa, activar protocolos anticipados.

11.2.4.4 Integración del IHA al sistema municipal

El IHA debería integrarse a un tablero operativo municipal y actualizarse automáticamente con una frecuencia acorde a la disponibilidad de datos. No es necesario que se actualice minuto a minuto; para su función hidrológica, puede ser suficiente una actualización diaria o incluso varias veces al día en períodos críticos.

Además, el IHA debería vincularse con reglas de actuación, por ejemplo:

- ✓ reforzar monitoreo cuando se supera cierto umbral;
- ✓ emitir prealerta institucional si, con IHA alto, se pronostican lluvias persistentes;
- ✓ preparar sistemas de orientación y eventual autoevacuación si coinciden IHA alto + lluvia significativa + ascenso sostenido del río.

11.2.5 Índice de Severidad de Tormentas (IST): fundamento y evolución conceptual

11.2.5.1 Rol del IST dentro del sistema

El IST fue concebido como un índice capaz de resumir la severidad de una tormenta en tiempo real o casi real, integrando variables como intensidad, persistencia, acumulado y duración. Su principal fortaleza reside en su capacidad de comunicación: permite transformar múltiples variables meteorológicas en una señal única, fácil de interpretar y apta para semaforización.

En el caso de Areco, el IST no reemplaza al IHA, pero sigue siendo altamente valioso para:

- caracterizar tormentas convectivas intensas;
- complementar el diagnóstico hidrológico;
- apoyar la comunicación pública;
- servir como indicador de disparo o co-disparo en escenarios de tormentas severas.

11.2.5.2 Lógica previa desarrollada

En la línea de trabajo ya desarrollada, el IST se apoyaba en la idea de lluvia persistente y en la comparación entre el acumulado observado y una curva de precipitación máxima de referencia.

La expresión base usada como patrón fue:

$$PMP_d = Ad^B$$

$$PMP(d) = A \cdot d^B$$

siendo:

- **PMP(d)** una precipitación máxima patrón [mm] asociada a una duración **d** [horas].
- **A y B**, parámetros a calibrar de acuerdo con la estadística de precipitaciones.

El IST se pensó como una medida relativa entre la severidad observada del evento y esa curva patrón, con una salida operativa en escala 1–10, asociada a semaforización:

- menor a 3: verde;
- 3 a 5: amarillo;
- 5 a 7: naranja;
- 7 a 9: rojo;
- 9 a 10: violeta.

También se había definido una lógica de activación: una vez detectada una lluvia persistente, se acumula lluvia y duración y se recalcula el índice cada 5 minutos. La persistencia se vinculaba al mantenimiento o aumento de la intensidad máxima en intervalos sucesivos. Asimismo, se había incorporado el **tiempo de concentración** T_c de la cuenca como parámetro configurable, con valor por defecto de 24 a 72 horas, para limitar la duración operativa del evento severo persistente.

11.2.5.3 Relación entre IST y "potencia" o "energía" de la tormenta

Uno de los avances conceptuales más interesantes del proyecto fue la intención de que el IST no quedara únicamente como un índice empírico de acumulado y duración, sino que evolucionara hacia una magnitud más vinculada a la **potencia** o "energía" liberada por la tormenta.

La analogía planteada era similar, en términos conceptuales, a la escala de Richter para sismos: no una simple suma de lluvia, sino una señal que representara de alguna forma la capacidad efectiva del fenómeno para producir daño.

Desde el punto de vista físico, una tormenta puede interpretarse como más severa no sólo cuando acumula más agua, sino también cuando libera ese volumen con mayor concentración temporal, es decir, con mayor intensidad y persistencia. En ese sentido, la potencia de la tormenta puede asociarse a la tasa de entrega de agua por unidad de tiempo, mientras que una suerte de "energía total" podría asociarse al efecto integrado del evento durante su duración.

Esto abre un camino interesante para reformular el IST con una base más física.

11.2.6 Propuesta de evolución del IST hacia una formulación más robusta

11.2.6.1 Nivel 1 – IST operativo simple

Mantener una versión operativa simple basada en la comparación entre acumulado observado y precipitación patrón para una duración dada:

$$IST1 = 10 \cdot [P_{obs_d} / PMP_d]^\alpha$$

con saturación superior en 10 y donde α es un parámetro de forma configurable.

Ventajas:

- fácil implementación;
- buena capacidad de comunicación;
- continuidad con el desarrollo previo.

11.2.6.2 Nivel 2 – IST con persistencia reforzada

Agregar un factor de persistencia o constancia de intensidad:

$$IST2 = IST1 \cdot F_p$$

siendo F_p un factor que crece cuando la intensidad se sostiene o aumenta durante ventanas sucesivas.

Esto recupera la lógica ya trabajada de activar el seguimiento cuando la lluvia persiste con intensidad constante o creciente durante un período mínimo.

11.2.6.3 Nivel 3 – IST con potencia de tormenta

Evolucionar hacia una formulación donde la severidad incluya explícitamente una medida de potencia pluviométrica. Una posibilidad es definir una potencia adimensional relativa como:

$$\eta = I_{eq} / I_{ref,d}$$

siendo:

- I_{eq} una intensidad equivalente del evento (por ejemplo, acumulado dividido por duración efectiva, o intensidad máxima sostenida en ventanas representativas),
- $I_{ref}(d)$ una intensidad patrón derivada de la curva de referencia.

A partir de allí, el índice podría combinar volumen y potencia relativos:

$$IST3 = 10 \cdot (Pobs/PMP)^a \cdot (\eta)^b$$

con a y b parámetros calibrables.

Esta formulación tiene una ventaja conceptual fuerte: distingue entre dos tormentas con igual acumulado pero diferente capacidad de producir daño inmediato. Una tormenta muy concentrada en poco tiempo tendría mayor potencia relativa que una lluvia prolongada y suave con igual acumulado al final del evento.

11.2.6.4 Nivel 4 – IST universal o generalizable

Siguiendo la línea ya mencionada de una posible generalización global, el IST podría pensarse como una familia de índices regionalmente calibrables, donde:

- la curva patrón se adapta al régimen climático local,
- el parámetro k o equivalente se calibra según región,
- y el índice final conserva una escala interpretativa común.

Esto permitiría que el IST mantenga una lectura universal en términos de severidad relativa, aunque se alimente de patrones pluviométricos regionales distintos.

11.2.7 ¿Cómo instrumentar el IST en San Antonio de Areco?

11.2.7.1 Datos requeridos

Para una implementación operativa del IST en Areco se requiere:

- lluvia en alta resolución temporal, idealmente cada 1 minuto o 5 minutos;

- cálculo automático de intensidades móviles;
- acumulado del evento en curso;
- duración del evento;
- lógica de detección de persistencia.

11.2.7.2 Lógica de activación sugerida

Recuperando el desarrollo previo, se propone:

- evaluar intensidad de lluvia cada minuto;
- almacenar intensidad máxima por intervalos de 5 minutos;
- detectar activación cuando la intensidad se mantiene constante o crece durante 20 minutos;
- a partir de ese momento, iniciar cálculo del evento persistente;
- actualizar acumulado, duración e IST cada 5 minutos;
- finalizar cuando la persistencia se interrumpe durante un tiempo definido o cuando se supera el tiempo de concentración T_c .

11.2.7.3 Integración operativa con el IHA

La mayor potencia del sistema surge cuando ambos índices se usan en forma conjunta. Por ejemplo:

- **IHA alto + IST bajo:** cuenca muy predispuesta, pero sin tormenta severa actual; vigilancia hidrológica reforzada.
- **IHA bajo + IST alto:** tormenta severa local, posible anegamiento puntual, menor riesgo de gran crecida fluvial generalizada.
- **IHA alto + IST alto:** combinación crítica; alta predisposición de cuenca más evento severo. Este escenario debe recibir máxima atención.

11.2.8 Propuesta de capítulo operativo para el sistema en San Antonio de Areco

A efectos prácticos, se recomienda que el sistema municipal adopte la siguiente arquitectura:

11.2.8.1 IHA como índice principal de predisposición fluvial

- cálculo diario o subdiario;
- actualización automática en tablero;
- calibración contra eventos históricos del río Areco;
- semaforización propia;
- vínculo directo con prealertas de crecida.

11.2.8.2 IST como índice complementario de evento severo

- cálculo en tiempo real o casi real;
- actualización cada 5 minutos durante tormentas;
- función comunicacional y meteorológica;
- apoyo a alertas por lluvia intensa y complemento del IHA.

11.2.8.3 Índice compuesto o regla matricial de riesgo operativo

En una etapa posterior, podría definirse una matriz de actuación que combine ambos índices y genere clases operativas del tipo:

- ✓ vigilancia,
- ✓ atención,
- ✓ prealerta,
- ✓ alerta,
- ✓ emergencia.

Esto permitiría que el sistema no dependa de una sola variable, sino de la interacción entre predisposición de cuenca y severidad del evento.

11.2.9 Conclusiones

Para la cuenca del río Areco, el desarrollo de índices no debe entenderse como un ejercicio académico accesorio, sino como una herramienta estratégica para la gestión del riesgo.

El IHA resulta imprescindible porque captura la memoria hidrológica del sistema y permite anticipar escenarios de crecida vinculados a la saturación antecedente de la cuenca, que constituyen precisamente la amenaza más crítica para la seguridad de las personas en San Antonio de Areco.

El IST, por su parte, conserva un valor muy importante como índice de caracterización de tormentas severas y como instrumento de comunicación pública, con la ventaja adicional de poder evolucionar hacia formulaciones más robustas ligadas a la potencia o energía efectiva de la tormenta.

La mayor fortaleza del sistema no reside en elegir uno u otro, sino en articular ambos dentro de una arquitectura coherente:

- el IHA como índice principal de predisposición fluvial;
- el IST como índice complementario de severidad meteorológica;
- y ambos combinados en reglas operativas para alerta y actuación.

En términos de implementación, la estrategia más razonable para San Antonio de Areco es comenzar con versiones operativas simples pero robustas, calibrarlas con la información histórica disponible y luego evolucionar hacia formulaciones más refinadas a medida que se consoliden monitoreo, modelación y observación de eventos reales.

De este modo, los índices dejarán de ser meros números para convertirse en verdaderas herramientas de anticipación, prevención y protección comunitaria.