

Sobre la generalización de las precipitaciones en el perfeccionamiento de los servicios informativos hidrológicos

Por FRANCIS RODRÍGUEZ RODRÍGUEZ y BERNARDO LORA BORREGO
SERVICIO HIDROLÓGICO NACIONAL
DIRECCIÓN DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS
INSTITUTO NACIONAL DE RECURSOS HIDRÁULICOS



La Red Pluviométrica Nacional

Las necesidades del Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (INRH), en cuanto a la planificación, el diseño, la construcción y la administración de proyectos hidráulicos, están soportadas por el trabajo sistemático de la Hidrolo-

gía, lo cual es una responsabilidad directa de la Dirección de Cuencas Hidrográficas e Hidrología, a la que pertenece el Servicio Hidrológico Nacional. Al mismo tiempo, múltiples y variados sectores de la economía nacional necesitan datos frescos sobre el comportamiento de las diferentes variables del ciclo hi-

drológico, en apoyo a las principales actividades de producción, investigación y de protección de vidas y bienes materiales que realizan.

Las redes hidrológicas nacionales tienen como objetivo fundamental la recopilación sistemática de la información con el fin de evaluar las etapas del ciclo hidrológico. Existen tres redes clásicas: pluviométrica, evaporimétrica e hidrométrica. Cuba, tras el triunfo de la Revolución, se planteó un abarcador plan de desarrollo socioeconómico muy bien estructurado; sin embargo, heredó una ausencia casi absoluta de información sobre los regímenes hidrológicos del país. Ante tal disyuntiva, optó por desarrollar en primera instancia la red pluviométrica, por ser la que menos recursos requiere y, a la vez, porque la lluvia ofrece las mayores posibilidades para su 'traducción' en escurrimiento, como producto final indispensable que sirve de base para fundamentar los proyectos hidráulicos.

La precipitación es una variable aleatoria, pues dependiendo de tan gran número de factores, es muy difícil de pronosticar con exactitud en tiempo y espacio. No obstante, se observan ciertos patrones o leyes generales que permiten la interpretación-extrapolación del dato medido puntualmente hacia localidades y zonas sin instalación alguna. Está claro que para el estudio objetivo de dicho fenómeno se exige una red de medición lo menos aleatoria y lo más determinística posible.

En 1988, la Comisión de Hidrología de la Organización Meteorológica Mundial (OMM) categorizó las redes en los tipos:

Red de Estaciones Básicas: Que proporcionan la información básica para los estudios estadísticos y deberán operarse de forma continua e indefinida. La red básica suministra los datos para evaluar las tendencias temporales y las relaciones de dichas tendencias con diversas causas.

Red de Estaciones Secundarias: Que funcionan durante un número limitado de años o el tiempo suficiente para establecer una buena correlación entre ellas y las estaciones básicas, o con las características del terreno.

Red de Estaciones Especiales: Estas estaciones se establecen especialmente para

la investigación (la especialización es en espacio o en tiempo, como es el caso de la informativa diaria), con el objetivo de incrementar los datos suministrados por las estaciones básicas y secundarias. La duración de estas estaciones está en función del propósito para el cual fueron instaladas.

En 1996, en pleno "período especial", debido a serias dificultades con la operación y el mantenimiento de las redes (motivo inicial) el INRH emprendió un rediseño general de las redes pluviométricas del país, que en su desarrollo adquirió mayores pretensiones: desinstalar en zonas de gran densidad y realizar nuevas instalaciones en otras de escaso muestreo. Esto significó homogeneizar la red básica en todo el espacio nacional. Como resultado, se obtuvo un diseño más adecuado a la realidad cubana, con 1 998 pluviómetros desglosados de la siguiente forma (en realidad, las condiciones de restricción que existían en esos años han sido superadas en parte y, de igual modo, las estaciones seleccionadas en el mencionado rediseño se acercan hoy día a las 2 100):

- Red Básica - 1 107 equipos
- Red Secundaria - 129 equipos
- Red Especial - 879 equipos

Entre ellos, 92 poseen doble condición al pertenecer a dos redes a la vez, y 25 equipos del Instituto de Meteorología (INS-MET) fueron incluidos y contabilizados entre los de la Red Básica.

El rediseño de 1996 siguió las siguientes pautas:

Red Básica: Se partió de los equipos de mayores récords históricos del país y asumiendo un diseño triangular, con una longitud de lados entre 11 y 15 km (en aras de conservar el mismo margen de error en todo el país, 10 %), se definió dicha red compuesta por los equipos con series de mayor calidad y de mejor ubicación relativa. La Red Básica se diseña a partir de criterios geoclimáticos (considerando los elementos que mayor incidencia tienen sobre el suceso de las precipitaciones: relieve, vegetación, distancia y posición de los sis-

temas orográficos respecto a las costas y a las direcciones predominantes del viento, etc.), nunca se rige por límites geopolíticos, como lo son las divisiones político-administrativas. Para este último caso, existe la Red Especial.

Red Secundaria: Todos los equipos de más de 40 años de observación, que no fueron seleccionados en la Red Básica, pasaron a formar parte de esta red.

Red Especial: Todos los equipos situados en objetos de la infraestructura hidráulica, telecorreos o en localidades con un microclima especial o zonas sensibles o determinantes para la prevención hidrológica, etc., que no clasificaron en las redes anteriores, integraron la Red Especial.

Finalmente, los equipos que no cumplieran con las condiciones anteriores fueron desinstalados. Antes del rediseño, Cuba contaba con 2 851 puntos de medición, lo cuál situaba al país como uno de los más densamente equipados internacionalmente. Sin embargo, con tal cantidad, el país presentaba lo mismo ventajas que desventajas respecto a otros países, fundamentalmente si se toma como referencia a los continentales, con mayor cantidad de información.

Aquellos países que cuentan con los recursos financieros y/o condicionantes nacionales (grandes ríos y población más concentrada) que les han permitido desarrollar una red hidrométrica densa y dotada con el equipamiento más moderno, que la hace óptima para la evaluación de los recursos hídricos de forma directa, han podido prescindir de una red pluviométrica abultada. Cuba, en tanto, ha tenido que depender de esta red para evaluar los recursos hídricos de forma indirecta. De ahí, la Red Pluviométrica Nacional se ha constituido en una red estratégica para la evaluación y el manejo del recurso agua.

Si bien es cierto que el país cuenta con una red pluviométrica más densa que la existente en casi la totalidad de los países continentales, también lo es que el régimen pluvial en el trópico insular es mucho más complejo, razón por la cual dichos países, con mucho menos equipos, satisfacen sus necesidades de caracterización espacial, orientada, por demás, hacia objetivos más

concretos: zonas con agricultura intensiva y la prevención de avenidas en cuencas pequeñas con problemas ingenieriles insolubles, aún cuando, para este último caso, acuden a las mediciones mediante radares y satélites.

Principios básicos en el diseño de redes

La aplicación de los datos hidrológicos ha ampliado enormemente su espectro, y de tal manera su relación con diferentes sectores socioeconómicos ha ganado en comprensión, que cada vez son más los interesados en solicitar los servicios informativos del INRH para fundamentar decisiones referentes a asuntos de diversa índole: técnicos, administrativos y financieros.

La capacidad de respuesta del Servicio Hidrológico Nacional resume las posibilidades del INRH para ofrecer la información necesaria a los usuarios interesados en el momento oportuno. En esta, con mayor o menor grado de objetividad, influyen el tiempo de cómputo y la frecuencia de tratamiento y de emisión de la información. Al mismo tiempo, la unidad territorial, tomada como base para el diseño de la red pluviométrica, se relaciona directamente con las posibilidades del Servicio Hidrológico para responder con acierto a sus usuarios, así como, para adaptarse a la extrapolación del dato hacia áreas mayores a las originales o de base.

La Unidad Territorial de Base

Del mismo modo en que el tiempo de cómputo incide directamente sobre las posibilidades de extrapolación de una medición puntual hacia la vecindad, la unidad territorial, con más razón, determina la efectividad de una red seleccionada para caracterizar uno u otro tipo de espacio. Es conocido que el error probable en el proceso de generalización de la lluvia decrece, se suaviza, a medida que aumenta la extensión del territorio de cálculo, a diferencia de las áreas más pequeñas en las que las particularidades microclimáticas ganan en importancia respecto al área total.

Por área base se entiende aquella para la cual se ha de definir el diseño de red más



racional, justo para satisfacer de información representativa a todo el territorio, de acuerdo con la generalización por el Método del Promedio Aritmético y según su configuración, y/o de acuerdo con las características determinantes del régimen pluvial en sus límites. En la delimitación de las áreas de trabajo siempre van a estar presentes diferentes componentes de tipo geográfico, sin embargo, éstas pueden diferenciarse de acuerdo a criterios puramente geográficos o geopolíticos. A los efectos del presente empeño para lograr el perfeccionamiento de los servicios informativos del INRH, las diferencias entre ambas unidades areales quedan dadas por:

Área geográfica - Espacio definido exclusivamente bajo conceptos naturales, donde el hombre no tiene mayor participación que la de su estudio y delimitación, bajo el principio de no interrumpir la continuidad natural del conjunto orográfico (entiéndase no interferir en la interpretación del fenómeno hidrológico a generalizar), sea éste llanura o montaña, o se trate de una región o zona hidrológica homogénea, etc.

Área geopolítica - Aquella cuya configuración final depende de una combinación de situaciones geográficas, históricas, socioculturales y socioeconómicas, que responde a los intereses antrópicos más inmediatos: políticos y administrativos.

Como casos particulares dentro de la clasificación de **Área geopolítica**, y en el contexto de la generalización pluvial, con gran frecuencia se emplean los términos siguientes:

Área político-administrativa - Se refiere a la división político-administrativa del Estado cubano del año 1976 y que consta de 168 municipios diseminados en 14 provincias y un municipio especial. Adicionalmente, con fines operativos, el Servicio Hidrológico considera las regiones: Occidente (Pinar del Río, La Habana, Ciudad de La Habana, Isla de la Juventud y Matanzas), Centro (Villa Clara, Cienfuegos, Sancti Spíritus, Ciego de Ávila y Camagüey) y Oriente (Las Tunas, Holguín, Granma, Santiago de Cuba y Guantánamo).

Área agrícola - Responde a intereses económicos de tipo agrícola, entre los que se cuentan la caña de azúcar, el arroz, los cultivos varios, las granjas pecuarias, el café, el tabaco y los cítricos, como principales renglones de la economía del país y que resultan del máximo interés por parte de diversas instituciones de la Administración Central del Estado.

Área socioeconómica - Incluye las áreas con intereses de tipo no agrícola, muy específicas, como pueden ser las zonas de desarrollo turístico, las cuencas o subcuencas de abasto de agua (subterráneas o superficiales), las propias cuencas hidrográficas de interés nacional o provincial, o las áreas de cría artificial de camarones, como ejemplos más importantes.

El tiempo de cómputo básico

La lluvia tiene un carácter infrecuente y mientras más pequeño es el intervalo de tiempo analizado, mayores son las posibilidades de encontrar grandes diferencias entre las observaciones de los diferentes puntos que componen una red. En una vecindad, a medida que el tiempo base se incrementa, las diferencias entre las observaciones efectuadas en distintos equipos tienden a minimizarse, pues hay más probabilidad de que un suceso pluvial local se repita otro día cualquiera en otros puntos

del territorio; así, mientras día a día son notables las diferencias en las láminas entre equipos cercanos, al final de mes las lluvias acumuladas son parecidas y tanto más cuanto mayor sea el tiempo de cómputo y menor las distancias entre equipos.

En dependencia de la finalidad perseguida por la información que se ofrece en un servicio hidrológico, se define su plazo de emisión y éste, a su vez, determina el tipo de red a utilizar para los cálculos. La selección de los equipos que han de integrar esta red depende de sus posibilidades particulares para transmitir la medición de la lluvia con determinada frecuencia:

Transmisión mensual - La red pluviométrica se selecciona a partir de la representatividad espacial de sus observaciones y de las posibilidades particulares de acceso real a cada uno de los equipos por diferentes vías y medios, en un plazo nunca mayor que el comprendido entre los días 1 y 4 de cada mes.

Transmisión diaria - Se apoya en una red de equipos situados en oficinas de correos, más conocidos por telecorreos, y en otras instalaciones que poseen los medios y mecanismos necesarios para transmitir el dato medido cada día a las 8:00 a.m., llegando éste, desde la base a la Oficina Nacional del INRH, antes de las 10:00 a.m.

Transmisión en tiempo real - Para el caso de lluvias intensas y ciclónicas, el INRH activa el Puesto de Mando Central que vigila las situaciones que se crean en los lugares de mayor impacto previsto ante un tránsito de avenidas provocado por dichas lluvias, de cuya evolución se tiene conocimiento mediante los avisos meteorológicos. La red pluviométrica estará dotada de la tecnología más avanzada o, en su defecto, poseerá los medios mínimos e indispensables que aseguren la comunicación directa ininterrumpida entre el punto de observación y el Puesto de Mando Provincial.

El Servicio Hidrológico y el manejo de recursos hídricos

Las informaciones hidrológicas emitidas por el Servicio Hidrológico persiguen dife-

rentes objetivos, según los usuarios a los que éstas son dirigidas. En este trabajo se le presta la mayor atención a las que involucran una gran cantidad de información pluviométrica y, muy especialmente, a los servicios “*Parte Diario de Lluvia*” y “*Boletín Hidrológico*”, por ser los que mayor constancia e impacto presentan.

Parte Diario de Lluvia

El “*Parte Diario de Lluvia*” hace llegar información del día vencido a las más altas instancias del Gobierno y el Estado, manteniendo actualizado a sus dirigentes durante los 365 días del año. Este servicio tiene un carácter puramente informativo y los usuarios a los cuales va dirigido no tomarán decisiones basadas en esta información; ésta será utilizada en el control del funcionamiento de las diferentes ramas socioeconómicas del país en lo que respecta a la influencia de la lluvia en las mismas. Para la emisión del Parte se utiliza la Red Especial Informativa, en la cual los equipos instalados en telecorreos constituyen el 85 % del total.

Algunas de las dificultades que presenta dicha red, que limitan su representatividad y las posibilidades de ofrecer una información lo más verídica posible, son que en muchas localidades los equipos están situados sobre azoteas y/o sufren de todo tipo de interferencias para la captación de las lluvias en el cuerpo del equipo, también su distribución espacial no es homogénea para cada territorio que se desea caracterizar. Sin embargo, esta red garantiza la medición y sobre todo la transmisión en lugares en los que no existe otra posibilidad de conocer el comportamiento diario de la lluvia.

Boletín Hidrológico

El “*Boletín Hidrológico*” se edita con fecha tope el día 10 de cada mes y consta de análisis especializados sobre el comportamiento de los recursos hídricos del país en el mes vencido. El Boletín constituye una publicación de carácter restringido que dota a los decisores ocupados e interesados en la gestión del agua de información de soporte para la toma oportuna de medi-

das en lo referente a la explotación de los recursos hídricos a mediano plazo. Para la elaboración del Boletín se utilizan, en la inmensa mayoría de los casos, equipos con condiciones de instalación y operación normales, constituyendo excepciones aquellos puntos ubicados en azoteas. A propósito, en la estación experimental “Niña Bonita” se pudo demostrar que las diferencias originadas por las variaciones de la altura del equipo sobre el terreno no son tan importantes y decrecen a medida que aumenta el plazo de tiempo de análisis.

El principal momento en que debe y puede el INRH realizar el manejo a mediano plazo de los recursos hídricos territoriales ocurre en el transcurso del período seco del año y, en general, ante cada situación de sequía. La sequía se reconoce como un fenómeno acumulativo y complejo, en el cual inciden variados elementos, por lo que no se puede llegar a conclusiones sobre ella y, mucho menos, ir a la toma de decisiones oportunas a partir de las informaciones del “*Parte Diario de Lluvia*”, sin el análisis de otros elementos como lo son el estado de los recursos hidráulicos (embalses y acuíferos). En cambio, todo lo necesario para la toma de decisiones, desde la óptica del INRH, aparece mensualmente en el “*Boletín Hidrológico*”.

Las redes pluviométricas y la generalización pluvial

Métodos de cálculo de la lluvia areal

La lluvia observada en un pluviómetro es representativa de un pequeño espacio (cuyo tamaño varía en dependencia de la lluvia-tipo de cada temporada del año); sin embargo, a menudo en muchos cálculos hidrológicos se requiere la lámina promedio sobre un área más extensa, proceso al que se le conoce por **generalización pluvial**. La práctica hidrológica aplica tres métodos fundamentales y algunas variantes de ellos para la extrapolación de la lluvia:

Método de la Media Aritmética.- Es la forma más sencilla de determinar la lluvia media de un territorio. Se utilizan los valores registrados por los equipos ubicados dentro del área en estudio, funda-

mentalmente, aunque pueden incluirse observaciones vecinas. Este método da más peso a las zonas con mayor densidad en las mediciones, casi siempre las llanas, siendo ésta su mayor debilidad. Los resultados sólo son satisfactorios cuando la distribución de la red es uniforme, respecto a la forma del área a caracterizar.

Variación del Método de la Media Aritmética - la Ponderación.

- La Ponderación consiste en el empleo de las áreas en el cálculo de la lluvia media para un territorio mayor que incluye en sí varias unidades territoriales (menores) de base. En virtud de que la mayor limitante para acceder a la representatividad de la lluvia areal (determinada por el método de la Media Aritmética) consiste en el requerimiento imprescindible de disponer de una red espacial uniforme, y como quiera que las formas o límites de las unidades territoriales de base cambian constantemente de una a otra área vecina (municipios, por ejemplo), cada vez se hace más difícil mantener la densidad pluviométrica alcanzada. La Ponderación es una garantía a la hora de considerar las diferencias entre las densidades pluviométricas dentro de un territorio mayor (provincia, región y nación, por ejemplo) y con ello, en lo posible, lograr disminuir los errores en el proceso de generalización pluvial.

En el caso de las áreas político-administrativas, cuando la unidad territorial base es el municipio, la Ponderación comienza a ser utilizada a partir de la provincia, extendiéndose con posterioridad a la región y a la nación. Excepciones de la regla anterior pueden resultar los municipios en los que algunas particularidades geográficas (montañas, ciénagas, etc.) interrumpen el esquema general de homogeneidad de la red pluviométrica conseguido en los municipios restantes, y en los cuales se determina la lluvia media utilizando desde un inicio la Ponderación, para lo cual se subdivide el territorio municipal en las partes necesarias para considerar las diferencias aludidas.

En el caso de las áreas agrícolas, la Ponderación comienza a ser utilizada a

partir de la provincia (y luego en el orden región y nación), que incluya dos o más áreas agrícolas de un mismo tipo (caña de azúcar, arroz, tabaco, cítricos, etc.). En el caso de las áreas socioeconómicas, debido a que caracterizan objetivos especiales muy específicos, para nada es necesaria la Ponderación, basta con el uso del Método de la Media Aritmética en su versión original.

Método de Thiessen.- Este método define el promedio ponderado por áreas de influencia de cada equipo, utilizando los registros de los equipos ubicados dentro y en los alrededores del área estudiada. El método da más peso relativo a las zonas con menos pluviómetros, compensando así el defecto principal del método anterior. Sin embargo, la representación de la lluvia en el espacio mediante figuras geométricas nada tiene que ver con la distribución real de la misma, que obedeciendo a leyes generales determinísticas (relieve, vegetación, época del año, régimen eólico, etc.) o a condiciones particulares aleatorias (dirección de la tormenta, fuerza de los vientos y potencialidad nubosa - extensión y profundidad - o situación sinóptica, en todo caso), siguen un patrón espacial menos forzado, mucho más natural.

Adecuación del Método de Thiessen - Rejillas.- En la dinámica del intercambio informativo entre los centros meteorológicos del mundo, principalmente, ha ido ganando en popularidad el Método de las Rejillas, el cual constituye una adecuación del Método de Thiessen. Mediante técnicas sofisticadas de rastreo y el empleo de computadoras, los polígonos de formas irregulares y tamaños variables son sustituidos por cuadrados idénticos que representan las lluvias promedios en las áreas así delimitadas. Luego de que un territorio es totalmente abarcado por el sistema de Rejillas, puede para éste determinarse la precipitación media por Ponderación Aritmética. Las características espacio-temporales de la red pluviométrica utilizada tienen una importancia cardinal ya que deciden la resolución y el tamaño de las rejillas, aspectos que definen la

calidad del dato manejado. En tal sentido, dos aspectos resultan fundamentales:

-**La homogeneidad espacial o esquema de equidistancia.**- La red pluviométrica debe ser lo más densa y homogénea posible en todas las partes del territorio que se pretende caracterizar. Mientras más densa sea la red, mayor puede resultar la resolución del mapa de rejillas, y mientras más homogénea, mayor será la posibilidad teórica de acceder a información representativa a lo largo y ancho del espacio representado en el mapa final.

-**La calidad de las observaciones de la red seleccionada.**- Para acceder a resultados de calidad por el Método de las Rejillas es necesario utilizar mediciones que sean concurrentes. Ello significa que el completamiento de las series es un requisito fundamental; que la restitución previa de los datos-meses faltantes es la única garantía de que los resultados contenidos en las diferentes celdas o rejillas sea equiparable en todo el territorio al ser obtenidos mediante el empleo de una red sin fallas en el transcurso del tiempo. El caso contrario implica la constante ruptura del equilibrio espacial de la red pluviométrica seleccionada y de hecho haría imposible la homologación de los resultados.

A pesar del creciente reconocimiento de este método, de su utilización internacional, y de la progresiva automatización de todas las esferas de investigación y trabajo, el mismo no ha encontrado igual repercusión en el Sector del Recurso Agua, debido a dos causas fundamentales:

1. Entre los objetivos que persiguen los estudios hidrológicos aplicados y las técnicas y la representación de los resultados, hay más correspondencia con los procedimientos empleados en los métodos tradicionales que con el Método de las Rejillas. La búsqueda de (buena) correlación entre el escurrimiento y la lluvia encuentra un enorme obstáculo cuando se generaliza, ya que en el abigarrado mosaico nacional de orografía, geología, suelos, y demás factores del escurrimiento, las generalizaciones



conlleven a la pérdida de información valiosa para lograr primero la comprensión cabal del fenómeno del escurrimiento y luego para la extrapolación de resultados desde lugares con observaciones a los que carecen de ellas. El Método de las Rejillas no resulta entonces el más apropiado para detallar las relaciones espaciales entre las precipitaciones y la orografía, como principal factor de su distribución.

2. La exigencia de realizar el completamiento de las series, de conjunto con la baja calidad de las observaciones pluviales (léase datos faltantes muy frecuentes) atenta contra la calidad misma de la información resultante. Al respecto, debe recordarse la gran inestabilidad espacial en la distribución de las lluvias en las diferentes épocas del año en Cuba y las dificultades consecuentes que ello representa para la extrapolación de las observaciones.

Método de las Isoyetas.- Es el método más preciso para la determinación de la lluvia media de un territorio ya que permi-

te considerar, entre varios otros elementos, la relación de la lluvia con el relieve. Esta relación puede quedar reflejada por distinto, tanto como ley general determinística (cuando se trata de un período hiperanual, o al menos, de un plazo lo suficientemente largo como para que integre en él diversas génesis pluviales), como casuística, cuando se analiza una tormenta definida, vista en la particularidad de los gradientes pluviales por vertientes orográficas, en las horas de inicio y de máxima intensidad alcanzadas en diferentes momentos y localidades, etc.

Las isoyetas tienen la desventaja de que su método de obtención es muy trabajoso, al requerir conocimientos profundos en la interpretación de las relaciones paisaje-lluvia y acerca de las condiciones reales de la red en tiempo y espacio (historia y calidad de las mediciones), entre otros aspectos.

La enorme variabilidad del régimen pluvial guarda una estrecha relación con

el relieve y la circulación atmosférica, y la vía más eficaz para interpretar dicha dependencia es contar con una red lo suficientemente densa para que realice un muestreo detallado de la lluvia a diferentes alturas sobre el nivel medio del mar y ante una diversidad de situaciones relativas de exposición respecto a los vientos predominantes. En este sentido, la única garantía de acceder a la generalización (trazado de isoyetas) en un territorio de orografía compleja es la utilización de la mayor cantidad posible de datos.

Simplificación (Automatización) del Método Isoyético - Surfer.- Las dificultades antes descritas conllevan a que el Método Isoyético vea limitado su empleo en tareas operativas como el “*Parte Diario de Lluvia*” y el “*Boletín Hidrológico*”, cuando la información que se procesa proviene de una selección de equipos predominantemente situados en las zonas llanas por razones obvias. Para aligerar los cálculos, este método se ha automatizado y actualmente el *Surfer* ofrece los resultados casi con igual rapidez que por promediación aritmética. Sin embargo, esta variante no resuelve la cuestión principal, que es la de interpretar eficazmente las relaciones espaciales entre la lluvia y la orografía para el trazado correcto de las isoyetas.

En el caso específico de Cuba, el mayor inconveniente del *Surfer* para el trazado de isoyetas dentro de una investigación hidrológica es que la insuficiente densidad de la red en las montañas imposibilita caracterizar los gradientes pluviométricos en igualdad de condiciones para cada macizo orográfico. Para los fines operativos antes mencionados, vale comentar que no se justifica emplear esta variante pues finalmente los resultados no son los más representativos, tal y como ocurre con el Método Aritmético, pero éste, en cambio, no presenta tanta laboriosidad.

Cuando en el proceso de generalización pluvial se define un mapa isoyético (otro tanto puede decirse respecto al *Thiessen*), éste puede utilizarse para determinar la lluvia media para cualquier terri-

torio, con independencia de los límites del mismo (geográficos o político-administrativos). Sin embargo, ante el empleo del Método del Promedio Aritmético, es poco probable (en la mayoría de los casos, imposible) determinar la lluvia media de un área-tipo que no fue la utilizada originalmente para el diseño de la red pluviométrica y con la cual se realizan los cálculos.

La selección de equipos por objetivos

A sabiendas de la diversidad de redes pluviométricas existentes y de las vías y métodos de generalización espacial del dato puntual, resulta válido cuestionarse “¿*dónde, cuándo y cómo hacer uso de los datos provenientes de los diferentes tipos de redes?*”. En función de los objetivos que persiga el servicio informativo hidrológico, y para alcanzar resultados satisfactorios en su ejecución, deben considerarse toda una serie de particularidades que son reconocibles en tareas con diferentes perfiles o intereses. De acuerdo con los usos más posibles que se le da a la información, los servicios informativos de hidrología pueden clasificarse en:

Servicio a largo plazo.- Para fines investigativos. Cuando se precisa conocer el régimen pluviométrico para fundamentar la planificación y el diseño de estructuras duraderas, así como para el manejo del recurso hídrico, se utilizan todos los equipos, estén funcionando o no en el momento de la investigación. Sólo se excluyen los telecorreos situados en zonas llanas que tienen una alta densidad de pluviómetros con condiciones normales o estándares en cuanto a su instalación y operación. Una condición indispensable para poder utilizar los datos es que éstos sean validados y que sea comprobada estadística e hidrológicamente la homogeneidad de las muestras. La extensión del territorio donde se buscarán los datos del elemento a generalizar depende del alcance mismo de la investigación:

Investigaciones puras.- Confección de mapas isoyéticos hiperanuales o cualquier otro estudio que contemple par-

cial o totalmente el tratamiento hiperanual de las precipitaciones a escala regional, al menos. Los equipos a utilizar deben estar localizados, según el alcance de la investigación, en todo el país o en una región natural delimitada según el principio “*de costa a costa y sin truncar ningún sistema montañoso*”. Ello implica un tratamiento e interpretación regional de la información.

Investigaciones aplicadas.- Estudios hidrológicos para la fundamentación de proyectos hidráulicos, el manejo de recursos hídricos, etc. Se utilizan los equipos localizados en el territorio que incluya totalmente la cuenca fluvial o subterránea investigada, así como las cuencas vecinas, de forma tal que respete el principio “*no truncar el o los sistemas orográficos en los que se sitúan las fuentes de alimentación del objeto hídrico*”.

Servicio a mediano plazo.- Para fines operativos. Cuando se desea conocer la estadística sobre el comportamiento espacial de la lluvia, con una frecuencia de emisión mensual, la selección de la red a utilizar depende del enfoque que se adopte para el tratamiento de la información. En estos casos, el principal control de la calidad es la exigencia de la disciplina técnica en cuanto a la medición y la transmisión del dato:

Para áreas delimitadas geográficamente.- Se emplea un concepto u enfoque regional en el tratamiento de la información. Si el estudio se arma, se dirige y se ejecuta de forma centralizada por la Dirección Nacional o alguna Oficina Provincial con liderazgo regional, basta con utilizar la Red Básica en primera instancia, la cual posee un diseño que sigue un criterio básicamente geográfico. Como un buen ejemplo de este caso pueden citarse las “*Evaluaciones generales sobre áreas geográficas de interés nacional*”.

Para áreas delimitadas geopolíticamente.- Se emplea un enfoque autónomo, local, en el tratamiento de la información. Si el estudio se realiza en una Oficina Provincial, de forma independiente, cuando no prevalece el concepto de

región físico-geográfica, sino el criterio político-administrativo, entonces no basta con la Red Básica y hay que incluir a todos los equipos de todas las redes para suplir la falta de información de los equipos colindantes con la provincia y que caracterizan, de conjunto con los propios, los paisajes geográficos que son comunes a los distintos territorios administrativos de la provincia. Un ejemplo de este caso es el “*Boletín Hidrológico*”.

Servicio a corto plazo.- Para fines operativos de corte informativo, cuando se requiere conocer la lluvia con una mayor periodicidad (con una frecuencia de emisión incluso inferior al día), la red a utilizar depende de las posibilidades reales de transmisión del dato desde cada equipo y de la disposición espacial particular de los mismos respecto al área de trabajo seleccionada. El principal control de la calidad es igualmente la exigencia de la disciplina técnica en cuanto a la medición y a la transmisión del dato:

Transmisión diaria.- El “*Parte Diario de Lluvia*” presta un servicio informativo de corte general para todos y cada uno de los municipios del país. Al componerse exclusivamente de aquellos equipos que garantizan la transmisión del dato observado entre las 8:00 y las 10:00 a.m. de cada día y quedar excluidas extensas zonas del país que no se adecuan a este requerimiento, resulta entonces seleccionada una red que repita la configuración general del municipio.

Transmisión en tiempo real.- Se compone de equipos pluviométricos que existen en las zonas más favorables o sensibles a la formación del escurrimiento extremo en las cuencas de mayor interés (situaciones de peligrosidad generada ante el tránsito de avenidas) y que poseen la garantía de comunicación a intervalos cada una hora, como mínimo. Debido al despoblamiento histórico de tales sitios, adicionalmente se crea una especie de red *ad hoc* o de carácter coyuntural que, sirviéndose de plantas de radios móviles, logra la transmisión

según los intervalos que exigen las especificidades de las cuencas. Concluyendo, esta red es la que exige mayores recursos, resultando de una importancia estratégica para el país.

Proceso de calidad en el Servicio Hidrológico

Elementos para el análisis de la calidad

La calidad de las informaciones a las que el Servicio Hidrológico de Cuba da salida en las variantes “*Parte Diario de Lluvia*” y “*Boletín Hidrológico*” depende de la constancia misma del Servicio Hidrológico, o sea, de la política del INRH respecto al trabajo de éste, sus necesidades y prioridades. El proceso de calidad está soportado por los siguientes aspectos:

1. Representatividad de la generalización.-

Es la capacidad de la red pluviométrica para reflejar con mayor o menor veracidad lo ocurrido como promedio en todo el territorio o área base, y no exclusivamente en el lugar o lugares más poblados del mismo. En la práctica, la representatividad de una información se mide a partir del grado de similitud entre los resultados a evaluar y los supuestamente “reales” provenientes de una red teóricamente mejor equipada. Así, se utiliza siempre una red densa como rasero de una de menor cantidad de equipos, y se emplea igualmente como patrón el resultado obtenido de una generalización por el Método Isoyético para medir la exactitud de una determinación lograda por el Método del Promedio Aritmético.

2. Representatividad de la referencia histórica.-

Es la credibilidad del dato aceptado como norma o valor más esperado para un momento y territorio determinado. La norma se adopta a partir del procesamiento y el análisis de la información histórica, procesos realizados en una investigación que, en el ámbito de los Recursos Hidráulicos, generalmente toma la forma de un mapa isoyético.

3. Universalidad de la base de datos comparativa.-

Es la tenencia y uso regularizado, a todos los niveles, de datos únicos

de generalizaciones históricas obtenidas con las mismas estructuras e iguales técnicas. La estructura alude a que la red debe estar compuesta por los mismos equipos desde el principio al fin del período que contiene la base de datos creada a los efectos del trabajo. La técnica se refiere a que la totalidad de las series deberá ser obtenida por un mismo método de cálculo y sin alterar en el tiempo ninguna de las áreas de los territorios que son empleadas para las ponderaciones necesarias en el proceso de generalización a escala de territorios mayores a los tomados como básicos para el diseño de la red.

4. Efectividad de los análisis especializados.-

Es la acogida o credibilidad que merecen, entre los usuarios a los que va dirigida la información, las opiniones y juicios técnicos vertidos por los especialistas con la finalidad de facilitar la actuación del decisor y que permiten, finalmente, que el manejo de los recursos hídricos se efectúe de manera oportuna y efectiva.

5. Oportunidad de la salida informativa.-

Es la presteza con que se presenta la información luego de vencido el período o tiempo de cómputo tomado como básico para los análisis. Está claro que mientras más temprano salga la información, más posibilidades de éxito tendrá el manejo del recurso y, consecuentemente, mayor será la credibilidad y calidad del Servicio Hidrológico.

Como se ha justificado, es indudable que, respecto al grado de veracidad de la información hidrológica, existe una estrecha relación entre los objetivos que persiguen los usuarios del Servicio Hidrológico, los métodos de generalización y los tipos de redes pluviométricas que se emplean en cada caso. Existen suficientes elementos para justificar la preferencia que entre los especialistas encuentra la información ofrecida en el “*Boletín Hidrológico*” por sobre la del “*Parte Diario de Lluvia*”. Sin embargo, a pesar de que se conocen todas las limitaciones que posee la información diaria, se tiene plena conciencia de la necesidad que existe de mejorar sus resultados, ya que se trata de un

instrumento muy socorrido para la gestión del Estado sobre la economía.

Situación actual de los servicios informativos de lluvia

Aún cuando de largo tiempo se sospechaba de la calidad de la información del “*Parte Diario de Lluvia*”, debido a fallos detectados que van desde un mal diseño heredado de la década de los años ‘70, hasta indisciplinas técnicas propias del manejo de una red tan grande y compleja, no es hasta mediados del año 2001 que se da la oportunidad de comparar los resultados acumulados mensualmente por este servicio con los del “*Boletín Hidrológico*”, provenientes por primera vez de una red especialmente diseñada para éste. Es entonces que comienza a ser evaluable la poca representatividad de las informaciones que se emiten diariamente.

Red del “*Boletín Hidrológico*”

El INRH presta especial atención a los diferentes intereses socioeconómicos del país, representados por distintas instituciones y organismos del Estado. Después de iniciada la emisión mensual del “*Boletín Hidrológico*”, se ha hecho latente la necesidad de extender las informaciones sobre las precipitaciones más allá de los municipios, considerando diversos intereses agrícolas y socioeconómicos en general. A tal efecto, se han dado los pasos necesarios para garantizar la cobertura informativa que exige un empeño de tal magnitud.

Por otra parte, en el sistema del “*Boletín Hidrológico*” se han presentado dificultades debido a la no coincidencia de las informaciones que se brindan en los niveles provincial y nacional. Las principales razones de tales deficiencias se deben a:

–El uso en provincias de equipos no pertenecientes a la Red Especial del Boletín, a pesar de haber sido ésta preseleccionada de conjunto entre los especialistas de cada Oficina Provincial y de la Dirección Nacional.

–El no empleo del método del Promedio Aritmético recomendado para los municipios y el Promedio Aritmético Ponderado para las provincias.

–El empleo de áreas de los municipios no reconocidas por el Servicio Hidrológico Nacional, lo que ha introducido errores considerables en la ponderación.

–La adopción como base comparativa de los resultados obtenidos por otros métodos de cálculo, concretamente el Isoyético y el de *Thiessen*, lo que desvirtúa las bases metodológicas orientadas por el Servicio Hidrológico Nacional para el Boletín.

–La desigual utilización de los plazos de análisis del mes para el Boletín, respecto a la del “*Parte Diario de Lluvia*”. El mes real, vencido, se corresponde con las observaciones anotadas en la tarjeta del equipo para el intervalo entre los días 2 y 1 del próximo mes.

–La comparación de los resultados del mes con una base de datos alimentada con informaciones provenientes de una red diferente a la del Boletín, e incluso, con una en la cual se han mezclado de forma indiscriminada datos de dos redes diferentes.

–La utilización en el Boletín Provincial de datos reportados como faltantes a la Dirección Nacional, y que fueron recuperados con posterioridad al plazo aceptado para el envío y la recepción de los datos en el INRH.

Red del “*Parte Diario de Lluvia*”

La Red Especial Informativa del “*Parte Diario de Lluvia*” espacialmente no puede ser representativa, al punto de caracterizar la lluvia real promediada para cada municipio del país, por cuanto su distribución no coincide con la configuración general de los territorios en los que los equipos se ubican. Los pueblos con telecorreos siguen un criterio de distribución geográfico, pues se sitúan en los sitios menos agrestes y de mejores suelos, lo cual en un elevado porcentaje excluye a las zonas montañosas. Los límites de los municipios, en cambio, siguen un criterio geopolítico y no necesariamente coinciden con la distribución dentro del municipio de los sitios urbanizados.

Otra razón por la cual el diseño de la Red Informativa no es equiparable para todas las provincias por igual es que la distri-



bución de pueblos no es homogénea en todo el país (en Occidente es más homogénea que en el Centro y mucho más que en el Oriente), así como tampoco lo son la distribución de las montañas y la aptitud agrícola de los suelos.

Son varios los factores que inciden en la veracidad, representatividad e inmediatez de la información, pudiéndose detectar lo mismo factores objetivos, como los antes expuestos, como subjetivos relacionados con la disciplina técnica. En general, pueden enumerarse los siguientes:

- Las comunicaciones con frecuencia se interrumpen, ocasionando contratiempos en la transmisión y el procesamiento en la Dirección Nacional de los datos de los 677 equipos que componen la red.
- La existencia de zonas de silencio total en la geografía nacional. A veces esta situación limitante es parcial, pero igual impide la transmisión real. Así, ocurre que lugares habitados y con medios de comunicación disponibles no poseen

posibilidades reales que permitan la entrada a tiempo de los datos para ser utilizados en la secuencia diaria habitual, antes de las 10:00 a.m.

- Los días feriados y no laborables dejan de informar equipos, o se reporta lluvia “cero”, cuando en realidad no se transmite o ni siquiera se mide el dato.
- No se verifica por las Oficinas Provinciales la transmisión de la información por parte del Correo Central Provincial a la Zona 6 en Ciudad de La Habana, lo que trae aparejados problemas con la calidad de la información, a pesar de ser éste un servicio que el INRH paga a dicha entidad.
- En la elaboración provincial del “*Parte Diario de Lluvia*” se incluyen datos (enviados a la Dirección Nacional como faltantes) que fueron recuperados con posterioridad al cierre de las decenas (días 11, 21 y 31 de cada mes).
- Durante largos períodos no se reparan los equipos que se reportan como rotos a las Direcciones Provinciales.

–Dificultades con la conciliación y transmisión de la información por parte de los telecorreos.

Líneas de acción generales

A causa de las dificultades que viene enfrentando el sistema del “*Parte Diario de Lluvia*”, así como otras actividades de la Hidrología Operativa en general, el INRH se empeña en lograr perfeccionar no sólo sus servicios informativos, sino la actividad toda del Servicio Hidrológico Nacional. Un ejemplo concreto de ello es la entrada reciente en funciones del Centro Operativo del Nivel Central del INRH, el cual se encarga de la recepción y del procesamiento de datos diarios y de la emisión de información a distintos usuarios. La oportunidad en cuanto al momento de su creación se justifica por el indispensable manejo de los recursos hidráulicos que demanda la difícil situación de sequía extrema que sufre el país.

Otro ejemplo de pasos concretos para lograr la constancia del Servicio Hidrológico Nacional es la recomendación especial para todo el sistema del INRH de establecer la conveniencia del uso de los distintos métodos de extrapolación del dato pluviométrico en la consecución de diferentes objetivos. Por demás, en los momentos actuales se ha concebido un proyecto de nuevo programa para el “*Parte Diario de Lluvia*”, que busca obtener, mediante una manipulación sencilla, una diversificación de las salidas del actual programa que procesa la información de lluvia, lo mismo para situaciones ordinarias que para ocasiones en que se requiere detallar escenarios diversos, como pueden aparecer ante el establecimiento de las distintas fases de alerta ciclónica, o ante el análisis de prolongados períodos de sequía.

En consecuencia con los argumentos y bases metodológicas expuestos, el Servicio Hidrológico Nacional emprendió una serie de tareas orientadas a lograr el perfeccionamiento de sus servicios, las que pueden resumirse de la manera siguiente:

1. Se diseñó e implementó la Red Pluviométrica Especial del “*Boletín Hidrológico*”, la cual responde a los objetivos político-administrativos y a las

principales actividades socioeconómicas del país, en general, y a los intereses del INRH para el manejo de los recursos hídricos, en particular.

2. Se rediseñó la Red Especial Informativa del “*Parte Diario de Lluvia*”, homologándose con la red del “*Boletín Hidrológico*”, para lograr una mayor representatividad en sus salidas. Esta homologación consistió, en primer lugar, en lograr un buen diseño para la red del Boletín y, en segundo lugar, obtener una red para el Parte Diario lo más parecida posible en configuración a la primera, ya que en cuanto a densidad es imposible equipararlas.

Para lograr la implementación de esta red, el Servicio Hidrológico Nacional está empeñado en la gestión de las principales necesidades materiales respecto a la existencia de equipos de medición y a la transmisión del dato.

3. Se conformó una “*Base de Resultados*” compuesta por los promedios mensuales de lluvia, desde el año 1961 a la fecha, para las 14 provincias del país y el municipio especial Isla de la Juventud. Dicha información se logró usando el Método del Promedio Aritmético (ponderada para los territorios provinciales) con los datos de los equipos que componen la red del “*Boletín Hidrológico*”. La “*Base de Resultados*” es de uso obligatorio en todo el sistema del INRH y se recomienda para todo tipo de comparaciones en el marco de resúmenes dirigidos a las distintas instancias de gobierno, específicamente en lo que respecta a las áreas político-administrativas.

4. Se confeccionó el programa “*Hidro-Boletín*”, principal componente del proceso de automatización del “*Boletín Hidrológico*”, el cual tiene el objetivo de unificar las informaciones y los criterios de análisis hidrológicos, y de acortar el plazo de su confección con vistas a lograr un servicio eficiente y oportuno entre los usuarios. En la actualidad se busca la redefinición de las áreas agrícolas del país, que sustituirá al anterior esquema donde las mayores extensiones de tierra se dedicaban al cultivo de la caña de azúcar. VH