

LOS RECURSOS HIDRÁULICOS EN LA PROVINCIA DE CIENFUEGOS, LOS MODELOS ESTADÍSTICO MATEMÁTICOS PARA SU APLICACIÓN

THE HYDRAULIC RESOURCES IN THE PROVINCE OF CIENFUEGOS, THE MATHEMATICAL STATISTICAL MODELS FOR ITS APPLICATION

Marianelis Manzano Cabrera¹.

E-mail: marianelis.m.c@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6738-6233>

Manuel Cortés Iglesias²

E-mail: mciglesias@ucf.edu.cu

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4517-9820>

Manuel E. Cortés Cortés²

E-mail: mcortes@ucf.edu.cu

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9903-3907>

¹Podere Popular Provincial Cienfuegos, Cuba

²Universidad de Cienfuegos "Carlos Rafael Rodríguez" Cuba.

Cita sugerida (APA, séptima edición)

Manzano Cabrera, M., Cortés Iglesias, M., Manuel E. Cortés Cortés, M. E. (2022). Los Recursos Hidráulicos en la Provincia de Cienfuegos, los Modelos Estadístico Matemáticos para su Aplicación. Ecuador. Revista Científica Agroecosistemas, 10(2), 58-64. <http://aes.ucf.edu.cu/index.php/aes>

RESUMEN

El agua, elemento necesario para la vida en nuestro planeta disminuye cada día debido a múltiples factores, entre ellos, el cambio climático, el consumo excesivo y su uso indiscriminado en la producción de bienes, la generación de energía y el riego. Esto profundiza la situación de 700 millones de personas que sufren la escasez de agua. La continuidad este recurso es la base de muchos temas de gran importancia como la seguridad alimentaria, energética, el crecimiento económico, la lucha contra el cambio climático y la prevención de la pérdida de biodiversidad. Sin embargo, la existencia de agua suficiente y de calidad enfrenta muchas amenazas asociadas con los distintos usos. En Cuba los servicios de acueductos son conocidos como un servicio público, surgen dentro y para un área de la realidad social y en un sector de la actividad del Estado, que influye y determina el bienestar y condiciones de vida de la población, de ahí que sea deber del Estado asegurar la prestación eficiente de los servicios públicos a todos sus habitantes. El objetivo del presente artículo es analizar la gestión de los recursos hidráulicos en la provincia de Cienfuegos y los posibles modelos estadístico matemáticos para su aplicación.

PALABRAS CLAVES

Agua, recursos hídricos, seguridad alimentaria, aplicaciones estadísticas, modelización matemática.

ABSTRACT

Water, a necessary element for life on our planet, decreases every day due to multiple factors, including climate change, excessive consumption and its indiscriminate use in the production of goods, power generation and irrigation. This deepens the situation of 700 million people who suffer from water scarcity. The continuity of this resource is the basis for many issues of great importance such as food and energy security, economic growth, the fight against climate change and the prevention of biodiversity loss. However, the existence of sufficient and quality water faces many threats associated with the different uses. In Cuba, aqueduct services are known as a public service. It arises within and for an area of social reality and in a sector of State activity, which influences and determines the well-being and living conditions of the population. Hence, it is the duty of the State to ensure the efficient provision of public services to all its inhabitants. The objective of this research was to analyze the management of hydraulic resources in the province of Cienfuegos and the possible mathematical statistical models for its application.

KEYWORDS

water, water resources, statistical applications, mathematical models.

INTRODUCCIÓN

Las fuentes de agua, elemento indispensable para el ciclo de la vida en la Tierra, disminuyen día a día debido al cambio climático, el consumo excesivo y su uso en el riego y producción de energía. Esto profundiza la difícil situación de 700 millones de personas que sufren escasez de agua en todo el mundo. Según el Fondo Mundial para la Naturaleza (WWF), solamente cerca del 2,5% de los recursos hídricos del mundo son de agua dulce, a pesar de que casi todo el planeta está cubierto de agua, el 70% de esta agua está oculta en el hielo y la nieve.

La continuidad de los recursos hídricos es la base de muchos temas de gran importancia como la seguridad alimentaria y energética, el crecimiento económico, la lucha contra el cambio climático y la prevención de la pérdida de biodiversidad. Sin embargo, la existencia de agua suficiente y de buena calidad enfrenta muchas amenazas asociadas con el uso urbano, el riego, la energía y las actividades de producción.

El agua es esencial para la producción agrícola y la seguridad alimentaria. Es el elemento vital de los ecosistemas –incluidos los bosques, lagos y humedales–, de los que depende nuestra seguridad alimentaria y nutricional presente y futura. Sin embargo, nuestros recursos de agua dulce están disminuyendo a un ritmo alarmante. La creciente escasez de agua es ahora uno de los principales retos para el desarrollo sostenible. Este desafío se hará más apremiante a medida que la población mundial siga creciendo, su nivel de vida aumente, las dietas cambien y los efectos del cambio climático se intensifiquen. La agricultura representa hasta el 95% del consumo de agua en algunos países en desarrollo. Tendremos que usar nuestros recursos naturales de forma más eficiente a medida que pase el tiempo, y cuando se trata del agua no hay excepción. Por ejemplo, la elección del cultivo tiene un gran impacto en la cantidad de agua que se necesita (FAO, 2019).

La construcción de presas y el tratamiento de aguas residuales son algunas de las estrategias que se llevan a cabo para obtener recursos hídricos que puedan aprovecharse. Es una forma de recolectar agua durante la temporada de lluvias, almacenándola para los meses en los que dichas lluvias no sean tan constantes. Además, en el caso de las presas, las mismas pueden servir como fuentes de energía como la eléctrica e incluso evitar inundaciones. El desafío es que todo aquello que se realiza para conservar el agua dulce resulte suficiente para contrarrestar el abuso y la eliminación de ésta.

Los diversos intereses relacionados con el uso del agua plantean retos importantes y muy variados que inciden en la toma de decisiones relativas al manejo de los recursos hídricos, particularmente cuando se pretende satisfacer aplicando principios de equidad y de conservación del recurso las necesidades y deseos de los diferentes usuarios y de las partes interesadas.

Reconocer formalmente un derecho humano al agua y expresar la voluntad de dar contenido y hacer efectivo

dicho derecho, puede ser una manera de estimular a la comunidad internacional y a los gobiernos para que redoblen sus esfuerzos para satisfacer las necesidades humanas básicas y para la consecución de los Objetivos de Desarrollo del Milenio. (Scandon, 2004).

El abastecimiento de agua a la población en cantidad y calidad suficientes es de vital importancia para la salud pública, la pérdida de las características naturales de ésta puede contribuir en gran medida a la propagación de enfermedades. Actualmente, es necesario garantizar un suministro constante de agua salubre y limpia en cada una de las fases del sistema de abasto, desde su almacenamiento hasta el punto final de consumo. Este hecho destaca la gran trascendencia y responsabilidad de las actuaciones llevadas a cabo por las empresas gestoras del agua y su determinante incidencia en la salud pública, ya que su continua degradación puede llevarnos no sólo a un grave deterioro ambiental sino también a un serio problema de salud.

El objetivo del presente artículo es el de describir la gestión de los recursos hidráulicos en la provincia de Cienfuegos y los posibles modelos estadísticos matemáticos para su aplicación.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los recursos hídricos en Cuba se estiman en 38.1 km³ de aguas anuales; 83 % de ellos escurren por sistemas de drenaje superficial y el 17 % se encuentran en las unidades hidrogeológicas existentes. Todos los embalses se han construido con el objetivo de poder utilizar el agua acumulada en diferentes usos (CAP, 2004).

La información estadística que se genera en la Empresa de Aprovechamiento Hidráulico de Cienfuegos es tomada diariamente y no existen software ni métodos estadísticos que los controlen en forma automática.

Un análisis del problema presentado nos lleva a la necesidad de la utilización de diferentes métodos y modelos de la estadística y la modelación matemática que apoyen la toma de decisiones. Entre los métodos estadísticos más importantes se encuentra el análisis de pronósticos, uno con el tiempo como variable principal y otro cuando se trabaja con la dependencia de dos o más variables. En el primer caso se utiliza el análisis de series cronológicas y en el segundo el método de los mínimos cuadrados para obtener los coeficientes de la ecuación (Molina, 2020) (Institute & The Open Group, 2020) (López, 2019) (Leocadio, 2015) (Zarza, 2022).

En el caso de la Modelación matemática se aplican los métodos de Programación Lineal para la optimización de una función objetivo, sujeta a un sistema de restricciones. En el caso de la distribución del agua a comunidades se aplican los métodos de programación lineal del transporte (Cortés et al., 2016).

DESARROLLO

El mundo está lleno de tensiones provocadas por la escasez de recursos naturales: oro, diamantes y petróleo.

Sin embargo, el agua, que hasta ahora no había sido considerada un factor de conflicto, con el cambio climático se convierte en “el oro azul” de este siglo. (Solanes & González-Villarreal, 1998).

Actualmente, los embalses representan un recurso muy importante en diversos lugares del mundo. No hay región que no cuente con al menos con una gran acumulación de agua destinada al abastecimiento de sus habitantes y al riego de sus campos. Sin embargo, difieren enormemente unos de otros, algunos hasta llegar al extremo de aparecer en los mapas como lagos en medio de la nada.

Actualmente en los ríos del mundo existen más de 45.000 grandes presas. La finalidad de su construcción es generar electricidad, proporcionar agua para el consumo humano y para la agricultura, controlar las inundaciones y las riadas. Una parte importante de los esfuerzos debe centrarse en su conservación y reparación, manteniéndolas en unas condiciones óptimas de explotación y seguridad acorde con las exigencias del siglo XXI lo que genera grandes costos. (Mates, 2007)

América Latina es uno de los territorios más biodiversos y con más recursos naturales del mundo, y el terreno del agua no es excepción: alrededor de un tercio de los recursos hídricos del planeta se encuentran en la región. Teniendo en cuenta que en los próximos años la escasez de agua será cada vez más marcada y que el aumento de la población incrementará la demanda, la región se encuentra en una posición envidiable para convertirse en un actor relevante en la gestión sostenible de este bien tan preciado.

Pero para desarrollar todo el potencial y convertirlo en una ventaja competitiva, primero se deberá gestionar el agua de una forma integral y eficiente. Y para lograrlo, los países latinoamericanos deberán superar una serie de retos, entre los que destacan, por su urgencia, los siguientes: por un lado, en líneas generales la región necesita mejorar las capacidades de los estados en cuanto a la gobernanza, la gestión eficiente de sus recursos hídricos y el costo del agua (Figura 1). Esto se refleja en la baja calidad en la planificación, que afecta de forma general a la región y pone en riesgo a los sistemas de abastecimiento de las ciudades, así como en la necesidad de crear herramientas de selección y preparación de más y mejores proyectos que faciliten que la inversión pueda fluir con facilidad. (Arroyo, 2019).

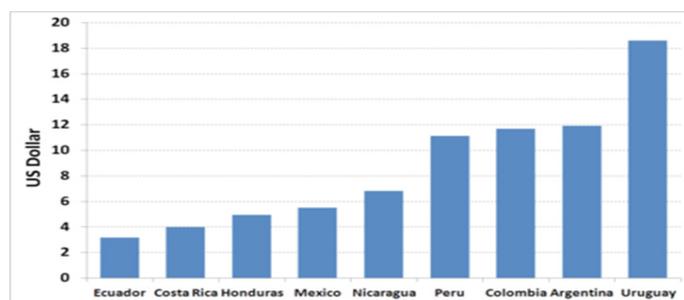


Figura 1: El costo del agua en América Latina

América Latina cuenta con cinco de los ríos más importantes del mundo (el Amazonas, Orinoco, Río Negro, Paraná y Río Madera); tres de los lagos más grandes a nivel mundial; y Brasil tiene un quinto de los recursos hídricos del planeta y es el segundo mayor productor hidroeléctrico del mundo, por detrás de China. (Roca & Roca, 2018).

Con el avance del cambio climático América Latina se ve afectada cada vez más por fenómenos meteorológicos extremos: en algunas regiones, las sequías afectan la agricultura, en otras, las lluvias causan inundaciones. Mientras que las sequías azotan una parte de Sudamérica, la otra se ve enfrentada a lluvias extremas. Bolivia y Brasil son dos países fuertemente afectados por inundaciones repentinas. (Campos, 2014)

El agua es fundamental para la seguridad alimentaria. Los cultivos necesitan agua para crecer, la agricultura requiere grandes cantidades de agua para el regadío, además de agua de calidad para los distintos procesos productivos. El sector agrícola se posiciona como el mayor consumidor de agua del planeta dada su función productiva, no solo de alimentos, sino también de otros cultivos no comestibles como el algodón, el caucho o los aceites industriales cuya producción no deja de crecer. El regadío demanda hoy en día cerca del 70% del agua dulce extraída para uso humano (ONU-DAES, 2014)

Muchos países de América Latina y el Caribe se encuentran en proceso de elaboración de nuevas leyes o modificación de las existentes. Uno de los debates es el diseño institucional del sistema administrativo de los recursos hídricos ya que falta objetividad e imparcialidad en cuanto a su distribución.

Los embalses en Cuba se han construido aprovechando el cauce natural de la corriente superficial que será regulada, por lo que el área inundada, la altura de la presa y la longitud de la cortina, dependen de la topografía del lugar de la obra. La mayor parte de las presas construidas en Cuba se han construido para el control de avenidas, las que, a su vez, actúan como recarga de las cuencas subterráneas vinculadas.

Todos los embalses construidos poseen obra de toma, con el objetivo de poder utilizar el agua acumulada en diferentes usos, desde el vaso de la presa hacia estaciones de bombeo, que la impulsan hacia los diferentes destinos. En Cuba, el 95.5 % de la población tiene acceso a los servicios de agua potable (98.9 % en el sector urbano y 85.2 % en el rural). El índice promedio de cloración del agua es de 95.7 %. (CAP, 2004)

La lluvia es la única fuente de agua que existe en Cuba y su magnitud es relativamente baja, siendo la lámina media anual de 1 335 mm, siendo la causa para que los Recursos Hídricos Potenciales y Aprovechables sean limitados, sin embargo, los recursos hidráulicos disponibles son favorables a partir de la infraestructura edificada (CAP, 2004). Un problema crítico para el escurrimiento de las precipitaciones está en los sistemas de drenajes, esencialmente los urbanos y otras zonas críticas, proclives a inundaciones.

La calidad de las fuentes de aguas se ve afectada por la permanencia de más de 2100 focos contaminantes y otras causas subjetivas; su disponibilidad y aprovechamiento es también insuficiente por el estado técnico e inadecuada operación de la infraestructura para el aprovechamiento hidráulico. Esto ocasiona la pérdida de más de 1500 millones de metros cúbicos de agua que pueden recuperarse cada año, siendo la actividad agrícola con el 60% del consumo nacional la que más incide estando en esta las mayores reservas de ahorro del recurso, al igual que un mayor aprovechamiento de 69 embalses que están subutilizados, incluido el riego de la actividad cañera. (Anón, 2016).

El ahorro y uso racional del agua es una necesidad compartida por todos los que habitamos este planeta. En tiempos de prolongadas sequías, a causa del cambio climático y ante una demanda que crece al ritmo de este siglo, nuestro país desarrolla alternativas y modifica su estructura legislativa para combatir el despilfarro del preciado líquido.

Ese es el sentido de la implementación de la Resolución 84 de 2020, aprobada el 19 de febrero del año en curso por Meisi Bolaños Weiss, titular del Ministerio de Finanzas y Precios, la cual dispone, entre otros asuntos: (Reyes, 2020)

«...la propuesta de una nueva estructura tarifaria para el cobro de los servicios de abasto de agua y saneamientos, tanto del sector doméstico como para el sector presupuestado y productivo, que incluye a las nuevas formas de gestión no estatal y otras modalidades de abasto y nuevos servicios, que prestan las entidades del Sistema Empresarial atendido y patrocinado por el Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos». p.65

Como regula la Resolución 84 de 2020 del Ministerio de Finanzas y Precios, todos los usuarios medrados, a los cuales se les brinda el servicio en moneda nacional, contarán con nuevas tarifas por el consumo de agua, las cuales se establecerán paulatinamente y por sectores durante el transcurso del año.

Según la directora general del encargo estatal de Organización Superior de Dirección Empresarial (OSDE), la cobertura hidrométrica a personas jurídicas refirió que aquellos usuarios que todavía no cuentan con metrocontadores, se les mantendrá el mismo costo de 40 centavos por metro cúbico (m³). En el sector domiciliario se decidió modificar los pagos, a partir del consumo de 4,5 m³ de agua por habitante al mes. En comparación con la tarifa actual, los precios por cada m³ se duplicarán, triplicarán y cuadruplicarán su valor en la medida en que se consume más agua que la establecida por la norma, –en este caso tres m³ por habitante al mes–. (Reyes, 2020)

En el 6to. Congreso del Partido Comunista de Cuba se aprobaron los Lineamientos de la Política Económica y Social del Partido y la Revolución, en los que se incluyen los referidos a los Recursos Hidráulicos del país (Nos. del

300 al 303), cuya implementación jurídica constituye un aspecto esencial para la materialización de la VISIÓN: “En Cuba se gestiona el agua de forma eficiente y sostenible conservando el medio ambiente” como un instrumento fundamental de la actualización del modelo económico cubano en el ámbito hidráulico. (Anón, 2017).

Los servicios de acueductos son conocidos como un servicio público, surge dentro y para un área de la realidad social y en un sector de la actividad del Estado, que influye y determina el bienestar y las condiciones de vida de la población. De ahí a que se reconozca como deber de cada Estado asegurar la prestación eficiente de los servicios públicos a todos los habitantes del territorio nacional. (Anón, 2019).

Para ello administra una infraestructura que da seguimiento a la calidad del agua tomada en las fuentes y que se distribuye en el sistema de conductoras principales y redes de distribución garantizando el abasto del preciado líquido.

El abastecimiento de agua potable incluye los servicios de:

- Aducción: captación y alumbramiento, embalse, conducciones primarias, tratamiento y depósito.
- Distribución general: grupos de presión, distribución por tuberías, válvulas y aparatos hasta la acometida de los usuarios.
- Distribución domiciliaria: comprende la distribución interna de los edificios, es decir desde la acometida a los usuarios hasta la salida en grifo. (Mastrapa, 2014).

Empresa de Aprovechamiento Hidráulico Cienfuegos

Creada desde el 2001, la Empresa de Aprovechamiento Hidráulico de Cienfuegos desarrolla procedimientos que aseguren la eficacia de su gestión. La sostenibilidad del perfeccionamiento empresarial ha sido vital para cumplir con su objeto social. La planificación, monitoreo, provisión y el control de las aguas terrestres de sus principales usuarios como Acueducto, Agricultura y la Empresa azucarera constituye la función de esta entidad hidráulica, con la certificación de los diferentes sistemas de gestión de calidad. (Hernández, 2020)

Administra una infraestructura hidráulica en dos unidades empresariales de Base ubicadas en los municipios de Abreus y Cumanayagua, para la operación de seis presas y una red de pozos que disponen de un potencial de 727,7 millones de metros cúbicos de agua anuales, correspondiendo el 42% a aguas subterráneas y el 58% a aguas superficiales y las redes de monitoreo. Dentro de su objeto social se encuentra el Servicio de Provisión Mayorista de Agua Superficial y Subterránea, el Monitoreo de las Redes Hidrogeológica, Hidrológica y de la Calidad del agua (Red CAL) y el Control de los Focos Contaminantes en la provincia de Cienfuegos.

La EAHC cuenta con un grupo de obras hidráulicas para su explotación y mantenimiento. Los volúmenes de escurrimiento son regulados, fundamentalmente, por 6 embalses, dos de regulación hiperanual, 3 anuales y un regulador diario (P. Bonito) que, además, maneja los volúmenes de la generación de Hanabanilla.

- 6 presas.

Tabla 1. Embalses en la Provincia

Embalses	Capacidad (Hm3)	Entrega garantizada (Hm3)	Volumen Prevención Hid. (Hm3)
Avilés	190.00	161	
Paso Bonito	8.0	66.7	
Abreus	50.0	70.0	42.0 – 48.0
Voladora	40.9	32.0	
Galindo	28.4	18.5	
El salto	9.5	13.1	
Total	326.8	361.9	

1 estación de bombeo.

- 2 embalses reguladores.
- 2 conductoras con 20,7 km de longitud.
- 1 canal magistral con 35,0 km de longitud.
- 1 canal trasvase 3,1 km de longitud.

Tabla 2. Canales en Cienfuegos

Canal	Longitud KM
P. Bonito- Cruces	35.7
Trasvase P. Bonito- Avilés	3.1
Total	38.8

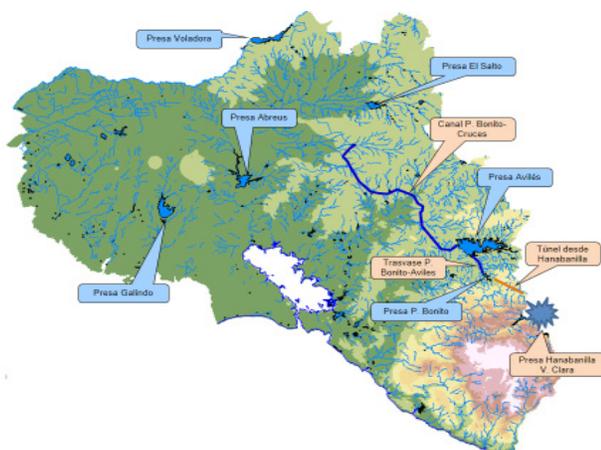


Figura 2: Presas, canal y trasvases en Cienfuegos

En 2014 se culminó el proceso inversionista emprendido desde el 2011 en la presa cumamayagüense Avilés, la mayor de la provincia con una capacidad de almacenamiento de 190 millones de metros cúbicos de agua.

El objetivo de la inversión, a un costo de ejecución de 2,5 millones de pesos, radicó en que este embalse (pilar del Complejo Hidráulico Hanabanilla- Paso Bonito, Canal Trasvase Presa Avilés, Canal Magistral Regulador Anaya alcanzara de nuevo su nivel máximo de recepción, saliera del estado de prevención hidrológica, cesara su subutilización y sus aguas estuviesen prestas a ser empleadas en el desarrollo económico del territorio. Las obras constructivas corrieron a cargo de fuerzas de la Empresa de Aprovechamiento Hidráulico y la Brigada de Mantenimiento del Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos y demandaron el empleo de varias retroexcavadoras, un grupo de camiones Volvo y cargadores frontales, entre otros equipos lo cual evidencia el impacto económico para la provincia. (Martínez, 2014)

La EAHC además de abastecer de servicios a la población de acueducto y alcantarillado, brinda servicios múltiples a estas empresas:

- AZCUBA (Industria Azucarera)
- MINAG (Arroz, Cítricos y Frutales, Viandas y Hortalizas, Empresa Avícola, Pecuaria, Porcina)
- MINCIN (Comercio Interior)
- MINAL (Lácteo, Cervecerías, Pesca)

Estas empresas son imprescindibles para el abastecimiento y alimentación segura de la población cienfueguera. Los recursos hidráulicos en la provincia de Cienfuegos demanda de una gestión que posibilite la permanente existencia del abastecimiento del agua por parte de la EAHC para mantener la estabilidad de los cultivos, sembrados, regadíos, ganadería, etc., en función de la demanda que requiera la población.

Existen 7 cuencas subterráneas (Figura 3), distribuidas de acuerdo a sus condiciones hidrogeológicas, relacionadas con la hidrografía, el clima y la geología, estas se encuentran distribuidas en diferentes horizontes acuíferos (Tabla 3).

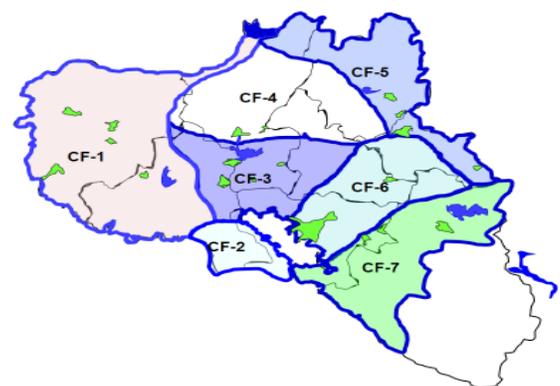


Figura 3: Cuencas subterráneas

Tabla 3. Cuencas subterráneas

Cuenca Subterráneas.	Área KM ²	Reservas dinámicas	Hm3/Km ²
Hanábana (CF-1)	980.8	130.28	0.133
Juraguá (CF-2)	142.0	15.49	0.109
Abreus (CF-3)	432.6	16.23	0.037
Cartagena (CF-4)	565.2	9.0	0.016
Lajas (CF-5)	435.2	2.3	0.005
Cienfuegos (CF-6)	425.7	10.5	0.025
Cumanayagua (CF-7)	531.9	6.4	0.012
Provincia	3513.4	190.2	0.054

Por tanto, es necesario que el agua suministrada a la población deberá obtenerse del origen más adecuado posible, considerando tanto la cantidad como la calidad, y se evitará que pueda ser causa o vehículo de enfermedades debido a los diferentes procesos naturales o de origen humano.

Entre los principales modelos estadístico matemático para su aplicación se tienen:

Métodos estadísticos

Métodos de la estadística descriptiva: media, moda, desviación estándar, intervalos de confianza para los parámetros fundamentales sobre el acopio de agua.

- Análisis de series cronológicas. Cuando para una variable hacemos las mediciones en diferentes momentos de tiempo, tenemos una "serie temporal". La importancia de las series temporales de tiempo o cronológicas es enorme. En lo que se refiere a variables económicas es muy frecuente el trabajar con "números índice". Cálculo de la tendencia: La tendencia es un movimiento de larga duración que muestra la evolución general de la serie en el tiempo. (Valencia, 2017)
- Análisis de pronósticos, ecuaciones de ajustes: Los modelos de regresión lineal de dos variables permiten modelar matemáticamente la relación entre dos variables X y Y y que suponemos que estas se asocian de acuerdo a un modelo. Ejemplo regresión Lineal múltiple para encontrar el valor del agua en el embalse cuando se tienen datos de las precipitaciones, los embalses, la época del año, etc. Se obtienen medidas cuantitativas de la relación mutua (correlación) y establecer una relación funcional, si existe, que permita caracterizar el lugar geométrico que mejor se ajusta a los datos.
- Hay diversos modelos que son usados para estudiar determinados tipos de relación, Los más populares son los polinómicos, los lineales, los no lineales y en el caso de variables discretas otros asociados a modelos como el logístico y el Poisson,

Modelos matemáticos

- Modelación matemática: La técnica más importante de Investigación de Operaciones es la Programación

Lineal (PL). Se diseña para modelos con funciones objetivo y restricciones estrictamente lineales. Hay otras técnicas, como la programación entera, en la que las variables toman valores enteros; la programación dinámica, en la que el modelo original se puede descomponer en subproblemas más pequeños; la programación de red, en la que el problema se puede modelar como una red, y la programación no lineal, en la que las funciones del modelo son no lineales. Las técnicas mencionadas no son más que una lista parcial de la gran cantidad de herramientas disponibles en la investigación de Operaciones. (Eppen, 2000).

- La Programación del Transporte es una técnica muy difundida en nuestros días, en ella se logra hacer distribuciones o entregas óptimas desde empresas productivas hasta empresas de comercialización. El problema se plantea aquí como un caso particular de la Programación Lineal, de forma que se satisfagan las demandas, se cumplan los planes de entrega de las ofertas y se minimicen los costos de la transportación. Los modelos de programación lineal para calcular la transportación óptima del agua desde los embalses hasta los puntos de acopio.
- Modelos de diseños de rutas para distribuir el agua de los embalses a sus almacenes, ejemplo de modelos de rutas: TSP (Traveling Salesman Problem) enunciado por Flood en 1956 (Altinel & Óncan, 2005).

CONCLUSIONES

En Cuba se gestiona el agua de forma eficiente y sostenible conservando el medio ambiente como un instrumento fundamental de la actualización del modelo económico cubano en el ámbito hidráulico.

Los recursos hidráulicos en Cienfuegos demanda de una gestión que posibilite la permanente existencia del abastecimiento del agua por parte de la EAHC para mantener la estabilidad en la producción de alimentos para la población.

Existen múltiples modelos estadístico - matemáticos que permiten analizar el comportamiento de las presas, los embalses, el nivel de acumulados de las lluvias y la distribución del agua.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Altinel, K and Óncan, T. A (2005). enhancement of Clark and Wright saving heuristic for the capacitated vehicle routing problem. *Journal of the Operational Research Society*, 56, 954-961.
- Anón. (2016). «Observatorio Parlamentario». Futuro del agua en el Asia: Mejor infraestructura y productividad eficiente. (<https://www.bcn.cl/observatorio/asiapacifico/noticias/futuro-agua-asia-pacifico-gestion>).
- Anón. (2017). «Vektra® Alerta». (<https://www.telegrafia.eu/es/productos/software-para-centros-de-despacho/vektra-alerta/>).

- Anón. (2019). «¿Retrocede la privaCAP. (2004). Soluciones aplicadas para almacenamiento de agua. CAP.
- Cortés Cortés, M., Maridueña Arroyave, M., & Martínez García, W. (2016). La programación Lineal y el Transporte: Vol. I (Primera Edición). Universidad de Guayaquil.
- FAO. (2019). Escasez de agua: Uno de los mayores retos de nuestro tiempo [Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura]. Escasez de agua: Uno de los mayores retos de nuestro tiempo. <https://www.fao.org/fao-stories/article/es/c/1185408/>
- Institute, B. S. G. & The Open Group. (2020). Importancia de la Estadística en Administración. BSG Institute. <http://bsginstitute.com/bs-campus/blog/importancia-de-la-Estadistica-en-Administracion-1132>
- Leocadio, P. (2015, mayo 25). Estadística Básica para Educadores Físicos: Estadística. Estadística Básica para Educadores Físicos. <https://estadisticaedufisica.blogspot.com/2015/05/estadistica.html>
- López, J. F. (2019, noviembre 15). Estadística descriptiva. Economipedia. <https://economipedia.com/definiciones/estadistica-descriptiva.html>
- Molina, M. (2020, junio 17). La distancia más corta. El método de los mínimos cuadrados. AnestesiaR. <https://anestesiario.org/2020/la-distancia-mas-corta-el-metodo-de-los-minimos-cuadrados/>
- ONU-DAES. (2014). Enfoque regional: Asia y el Pacífico | Decenio Internacional para la Acción «El Agua, fuente de vida» 2005-2015. <https://www.un.org/spanish/water-forlifedecade/asia.shtml>
- Zarza, L. (2022, junio 5). Modelos matemáticos aplicados al agua, la fórmula perfecta para comprometerse con el medioambiente [Text]. iAgua; iAgua. <https://www.iagua.es/noticias/canal-isabel-ii/modelos-matematicos-aplicados-al-agua-formula-perfecta-comprometerse>
- tización del agua en América Latina?» www.telesurtv.net. <https://www.telesurtv.net/news/dia-mundial-agua-privatizacion-america-latina-20190322-0028.html>
- Arroyo, Victor. (2019). «América Latina: hacia una gestión eficiente del agua». www.iagua.es. <https://www.iagua.es/blogs/victor-arroyo/america-latina-gestion-eficiente-agua>
- Campos, Violeta. (2014). «América Latina, entre sequías e inundaciones.» <https://www.dw.com/es/am%C3%A9rica-latina-entre-sequ%C3%ADas-e-inundaciones/a-17444245>
- CAP La Habana. (2004). “Soluciones aplicadas para almacenamiento de agua”
- Eppen, G. D. (2000). Investigación de Operaciones en las Ciencias Administrativas. Prentice Hall.
- Hernández Blanc, N. (2020). «Opta por el Premio Provincial de Calidad Empresa de Aprovechamiento Hidráulico de Cienfuegos». octubre 3.
- Martínez Molina, J. (2014). «Una contribución al desarrollo de Cienfuegos».
- Mastrapa López, I. (2014). Diseño del servicio de instalación y mantenimiento en la Empresa de acueducto y alcantarillado de Las Tunas. (Tesis en opción al Título Académico de Máster en administración de negocios), Universidad de las tunas, Facultad de Ciencias Económicas.
- Mates Pajares, Enrique. (2007). El uso y la tecnología de los recursos hídricos.» Universidad politécnica de Catalunya, Cátedra UNESCO de Sostenibilidad.
- Reyes Montero, A. (2020). Nuevas tarifas del agua: premiar el ahorro y penalizar el derroche. www.granma.cu. <http://www.granma.cu/cuestion-de-leyes/2020-03-05/premiar-el-ahorro-y-penalizar-el-derroche-05-03-2020-00-03-21>
- Roca Suárez-Inclán, J. A., y Roca Salamero, R. (2018). Las 10 mayores centrales hidroeléctricas de Latinoamérica». El periódico de la energía. <https://elperiodicode-laenergia.com/las-10-mayores-centrales-hidroelectricas-de-latinoamerica/>
- Scandon, J. (2004) Water as a Human Right? IUCN. Pp. Gland, Switzerland and Cambrid, UK. ix+ 53, 2-8317-0785-4.
- Solanes, Gonzalez-Villarreal. 2002. Los Principios de Dublin Reflejados en una Evaluación Comparativa de Ordenamientos Institucionales y Legales para una Gestión Integrada del Agua. Global Water Partnership SE-105-25 Estocolmo, Suecia.
- Valencia Delfa, Jorge L., (2017). Estudio Estadístico de la calidad de las aguas en la cuenca Hidrográfica del río Ebro, (Tesis Doctoral), Madrid.