

04-018

### **APPLICATION OF THE ANALYTICAL HIERARCHICAL PROCEDURE (AHP) TO THE DETERMINATION OF PRIORITIES IN THE IMPLEMENTATION OF HYDRO-EFFICIENT DEVICES IN CHILE**

Vivanco-Díaz, Cristian Felipe (1); Mora-Melia, Daniel (1); Ballesteros-Pérez, Pablo (2); Gutierrez-Bahamondes, Jimmy H. (1)

(1) Universidad de Talca, (2) Universitat Politècnica de València

Chile is a privileged country in terms of water resources due to its numerous water sources. However, the privatization and overexploitation of the resource, as well as the irregularity of rainfall, place Chile in 18th place among countries with a high risk of suffering water stress. Consequently, generating strategies that allow efficient use of water must occupy a prominent place as part of the conceptual framework of integrated water resources management. This work applies a multicriteria selection method to analyze and compare different devices and/or water saving systems (alternatives). The different criteria include economic viability, water saving, energy saving, socio-environmental impact, design, durability, etc. The importance of each criterion analyzed in the hierarchy matrix is determined based on user and expert surveys. Finally, the application of the analytical hierarchical method (AHP) identifies the alternatives with the highest score, providing a useful selection tool to users.

Keywords: sustainability; multicriteria; water

### **APLICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO ANALÍTICO JERÁRQUICO (AHP) A LA DETERMINACIÓN DE PRIORIDADES EN LA IMPLEMENTACIÓN DE DISPOSITIVOS HIDROEFICIENTES EN CHILE**

Chile es un país privilegiado en materia de recursos hídricos por sus numerosas fuentes de agua. Sin embargo, la privatización y sobreexplotación del recurso, así como la irregularidad de las precipitaciones sitúan a Chile en el lugar 18 de países con alto riesgo de sufrir estrés hídrico. Consecuentemente, la generación de estrategias que usen eficientemente el agua debe ser una prioridad a nivel país. Este trabajo aplica un método de selección multicriterio para analizar y comparar diferentes dispositivos y/o sistemas de ahorro de agua (alternativas). Esto se hace en base a distintos criterios, entre los que se incluyen viabilidad económica, ahorro de agua, ahorro de energía, impacto socio ambiental, diseño, durabilidad, etc. La importancia de cada criterio analizado en la matriz de jerarquía se determina en base a encuestas realizadas a usuarios y expertos. Finalmente, la aplicación del método analítico jerárquico (AHP) identifica las alternativas con mayor puntuación, proporcionando una útil herramienta de selección a los usuarios.

Palabras clave: sostenibilidad; multicriterio; agua

Correspondencia: Daniel Mora Melia. Correo: damora@utalca.cl

Agradecimientos: Este trabajo fue financiado por el Programa Fondecyt Regular (Proyecto N°1210410) de la Agencia Nacional de Investigación y Desarrollo (ANID), Chile



©2022 by the authors. Licensee AEIPRO, Spain. This article is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

## 1. Introducción

El agua es un recurso indispensable para el desarrollo del planeta, por lo que su regulación y cuidado es una prioridad. A pesar de ser un país privilegiado en materia de recursos hídricos, Chile no está exento del estrés hídrico y encabeza la categoría 3 de países con un alto riesgo de sufrir estrés hídrico según el ranking del Instituto de Recursos Mundiales. Esta contrariedad se produce por la heterogeneidad de la oferta hídrica, la sobreexplotación del recurso y la irregularidad en las precipitaciones, que generan regiones con grandes problemas de escasez y acceso al saneamiento del agua.

La actual escasez hídrica puede afrontarse bien aumentando los recursos (aumento de captaciones, trasvases desde cuentas excedentarias, desalación, etc), o bien realizando una mejor gestión de los recursos actuales. Durante mucho tiempo se ha optado por desarrollar nuevas fuentes y alternativas, en lugar de impulsar una mejor gestión de las existentes. Esto ha dado como resultado un desarrollo y gestión de los recursos hídricos carente de coordinación e incapaz de satisfacer de manera óptima las necesidades de las personas, garantizando sustentabilidad y sostenibilidad en el tiempo.

Una segunda opción es mejorar la gestión de los recursos existentes. En este caso distinguimos medidas activas y pasivas. Las medidas activas de gestión de demanda son aquellas donde la actitud participativa del usuario motiva el ahorro de agua. Algunos ejemplos son concienciación ciudadana, políticas de tarifas, incentivos al usuario, medidas del consumo, etc. (López Patiño, 2016). Las medidas pasivas son aquellas donde el ahorro se consigue incluso sin intervención consciente del usuario. Un ejemplo es la implementación de artefactos hidrosanitarios de bajo consumo en el hogar, cuya implementación cobra sentido especialmente si no afectan al confort y bienestar del usuario.

Si bien el consumo de agua potable en los hogares apenas representa entre un 7 y 10% del consumo de agua total, no es menos cierto que una parte importante de este agua se desperdicia innecesariamente. En este sentido, el uso inadecuado y/o mal estado de los artefactos, la falta de compromiso y cultura con respecto a la gestión activa de la demanda de agua y los malos hábitos del día a día generan importantes pérdidas de agua. Estas conductas pueden variar o acentuarse dependiendo del estrato socio-económico, el rango etario, el género y la actividad física diaria de una persona, entre otras características.

La implementación de soluciones que permitan un ahorro de agua no depende de un criterio único, como puede ser el de ahorro de agua. Existen otras variables o criterios a tener en consideración igualmente importantes para un consumidor a la hora de implementar cualquier medida como puede ser la economía del artículo, sustentabilidad, impacto socio ambiental, costo y facilidad de la instalación, durabilidad del artefacto, etc.

La toma de decisiones multicriterio es un problema crítico en la vida real, dado que hay muchas situaciones que involucran, de un modo u otro, la evaluación de distintas alternativas en base a un conjunto de criterios de decisión que suelen estar en conflicto entre sí (Sánchez, 2001). Consecuentemente, es importante contar con herramientas que permitan tomar la mejor decisión dentro de un conjunto de posibles alternativas, permitiendo un análisis científico/matemático de la situación (Saaty, 1987).

El análisis multicriterio más común es el Proceso de Jerarquía Analítica (AHP), propuesto por Saaty (Saaty, 1987; Saaty, 1990). AHP ha sido ampliamente utilizado en los campos empresarial, industrial, gubernamental y de gestión (Ariff et al., 2008). También ha sido aplicado con éxito en áreas de la ingeniería civil para afrontar problemas de toma de decisiones. Por ejemplo, Al-barqawi y Zayed (2008) demostraron que un plan de rehabilitación de redes de agua podría evaluar su estado basándose en el método AHP. Aschilean et al. (2017) resolvieron científicamente la selección del tipo de tecnología de rehabilitación de tuberías en un sistema de distribución de agua. Finalmente, Karleusa et al (2019)

desarrollaron una metodología para establecer prioridades en la implementación de planes de riego en diferentes áreas utilizando el método AHP.

Este trabajo tiene por objetivo aplicar un método de selección multicriterio al ahorro de agua en viviendas unifamiliares en Chile. La propuesta busca analizar y comparar diferentes artefactos hidrosanitarios presentes en el hogar y en el mercado. Estos se definirán como “alternativas”, mientras que los “criterios” serán aquellas características y/o atributos que identifiquen cada alternativa. La aplicación del AHP determinará como solución final la mejor alternativa de acuerdo a los criterios definidos, contribuyendo a una gestión eficiente del recurso al interior de un hogar.

La novedad de este trabajo respecto de otros es que el grado de importancia de cada variable en la matriz de jerarquía se determina a partir de encuestas realizadas a usuarios en diferentes partes de la zona centro sur del país. Esto complementa la metodología tradicional de otros estudios, que habitualmente determina estas ponderaciones únicamente a partir de la opinión de expertos. Este trabajo ha querido considerar la opinión de los usuarios, que son finalmente los que realizan el gasto monetario.

## 2. Objetivos

- Conocer las estrategias actuales de uso eficiente de agua, el consumo promedio y la forma de consumo en los hogares unifamiliares de Chile, para determinar cuáles son las habitaciones y artefactos donde se concentran los mayores gastos y pérdidas de agua.
- Determinar en base a encuestas, el grado de preferencia que tienen los usuarios sobre distintos criterios y alternativas con el fin de determinar su nivel de prioridad en la matriz importancia global.
- Proponer criterios que caractericen a un dispositivo o sistema como hidro-eficiente, ya sea grifos o artefactos hidrosanitarios, para posteriormente evaluarlos en una matriz de jerarquía.
- Identificar los dispositivos y/o sistemas de ahorro de agua utilizado en viviendas unifamiliares y edificaciones para caracterizarlos en base a los criterios propuestos y, posteriormente, evaluarlos según el método AHP.
- Obtener la alternativa con mayor puntuación a través del método analítico jerárquico, considerando todos los criterios, alternativas y los grados de importancia anteriormente señalados, con el fin de determinar cuál es artefacto hidrosanitario o grifería que garantice una solución óptima al problema propuesto en el consumo de agua en viviendas unifamiliares.

## 3. Metodología

AHP es un método de decisión multicriterio que nos ayuda a seleccionar entre distintas alternativas en función de una serie de criterios o variables de selección, normalmente jerarquizadas, y que suelen entrar en conflicto entre sí. La estructura jerárquica de arriba a abajo sería: objetivo final, criterios y finalmente las alternativas a comparar. Uno de los aspectos fundamentales del método es elegir bien los criterios y subcriterios de selección, definirlos adecuadamente y que sean mutuamente excluyentes. En cada nivel de la jerarquía se realizan comparaciones entre pares de elementos del mismo nivel, en base a la importancia o contribución de cada uno de ellos al elemento de nivel superior al que están ligados. Este proceso de comparación conduce a una escala de medida relativa de prioridades de dichos elementos. Las comparaciones por pares se realizan por medio de niveles de preferencia (si se comparan alternativas) o niveles de importancia (si se comparan criterios), que se evalúan según una escala numérica propuesta por el método, que emplea

valores de 1 a 9 para calificar la preferencia relativa entre dos elementos. Estas asignaciones numéricas son expresadas de forma verbal por el decisor en su comparación pareada.

Los siguientes subapartados presentan el procedimiento seguido para definir criterios y alternativas.

## 2.1 Recopilación de información. Elaboración de encuestas

La fase de recopilación de información comienza con la elaboración de encuestas a usuarios y expertos. Estas se realizaron entre los meses de julio y agosto de 2021. Las encuestas identifican el nivel de importancia de cada criterio a evaluar en la matriz AHP, permitiendo asignar posteriormente peso a cada criterio. El peso hace referencia a cuán importante o preferible es un criterio sobre otro, tomando como base una comparación pareada (1 a 1).

El levantamiento de información se hizo en Talca (Chile), al ser esta la ciudad más poblada de toda la región del Maule. La población objetivo es toda la población residente en vivienda unifamiliar y con acceso a la red pública de agua potable. De acuerdo al último censo realizado en 2017, la población objetivo sería de 233.577 habitantes. Al ser una población finita, el tamaño muestral se calcula de acuerdo a la ecuación:

$$n = \frac{z^2 \cdot p \cdot q \cdot N}{e^2 \cdot (n - 1) + z^2 \cdot p \cdot q}$$

donde  $N$  es la población,  $p$  es la probabilidad a favor,  $q$  es la probabilidad en contra,  $e$  representa el error muestral y  $z$  está asociado al nivel de confianza. En este caso particular se opta por la opción de máxima variabilidad, ya que no existen antecedentes sobre la investigación realizada. Consecuentemente se establece un valor estándar de  $p=q=0,5$ . De igual modo se considera un nivel de confianza del 95% ( $z= 1,96$ ) y un margen de error del 5%. Con todo lo anterior, el tamaño de la muestra para que esta sea representativa es de  $n=385$ .

La primera sección de la encuesta consultaba sobre que artefactos hidrosanitarios tenían los usuarios en su vivienda y que uso hacían de ellos. Se cuestionaba sobre tipología, frecuencia y tiempo de uso. El objetivo era determinar como se consume el agua en una vivienda promedio.

La segunda sección abordaba la preocupación e interés del usuario respecto a la escasez del agua en el planeta. También se consultaba sobre conocimiento y experiencias con artefactos y griferías hidroeficientes. Finalmente, la sección tenía como objetivo determinar qué criterios tenían mayor importancia para los usuarios, a fin de incluirlos o no en la matriz AHP. Consecuentemente, los usuarios podían elegir cuatro criterios entre una lista de nueve en orden de importancia a la hora de elegir un dispositivo. También se daba al usuario la opción de incluir nuevos criterios que no se hubieran considerado inicialmente.

La tercera sección de la encuesta solicitaba al usuario que diera su preferencia entre distintas alternativas, pero eligiendo siempre entre dos opciones, por ejemplo: ¿Prefiere un artefacto de bajo precio de compra o de bajo consumo de agua? El objetivo de esta sección era ayudar a construir la matriz de importancia de criterios en el método AHP, evidenciando que criterios tenían mayor importancia para los usuarios.

Una segunda encuesta fue realizada a expertos, con un contenido más técnico y de mucho menor alcance ya que requiere de personas especializadas en el área. La encuesta se realizó a 5 instaladores con diferentes años de experiencia laboral. Se les consultó sobre costo, tiempo, dificultad de instalación y reparación de diferentes artefactos hidrosanitarios y grifería.

Esta información fue de vital importancia a la hora de realizar la matriz de comparación pareada de las alternativas cuando se evalúe el criterio “facilidad de instalación”.

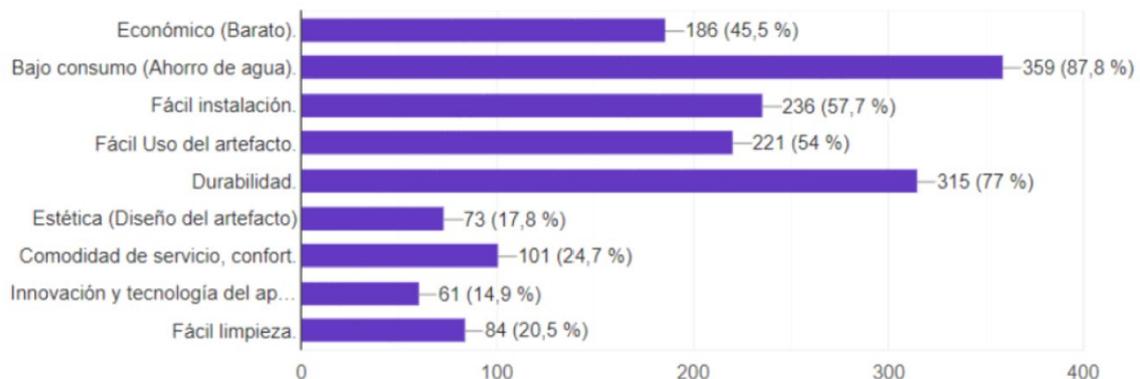
## 2.2 Selección de los criterios

El primer paso para realizar la matriz AHP es definir los criterios con los que evaluar posteriormente las alternativas. Este trabajo propuso nueve criterios. Tanto la pertinencia como la ponderación de su importancia fueron evaluadas mediante las encuestas a usuarios. Los criterios propuestos son:

- FVE = (Factor) Economía o viabilidad económica, que hace referencia al valor monetario de adquisición del producto.
- FBC = (Factor) Bajo consumo, que hace referencia al agua que consume o gasta un artefacto hidrosanitario.
- FFI = (Factor) Facilidad de instalación, que hace referencia a la dificultad que conlleva instalar un artefacto hidrosanitario o grifo. Para poder evaluar este criterio fue necesario realizar una encuesta a personas especializadas en el área, en este caso, gasfiteres.
- FFU = (Factor) Fácil uso del artefacto, que hace referencia a la facilidad y simpleza asociada al uso del artefacto.
- FD = (Factor) Durabilidad, que hace referencia a la cantidad de tiempo que un artefacto hidrosanitario o grifo mantiene su funcionamiento de forma adecuada.
- FE = (Factor) Estética y diseño del artefacto. Este criterio se evalúa de modo cualitativo. Representa el diseño y estética de un artefacto, especialmente importante en determinados segmentos económicos o nichos a los cuáles pretende llegar una empresa fabricante.
- FCSC = (Factor) Comodidad de uso en el servicio, que hace referencia a la comodidad o confort asociada al uso del artefacto.
- FIT = (Factor) Innovación y tecnología del artefacto.
- FL = (Factor) Fácil limpieza, que hace referencia a la facilidad de limpieza que tiene un artefacto.

Entre todos los criterios, los usuarios seleccionaban en las encuestas los cuatro a los que daban mayor importancia a la hora de adquirir un dispositivo hidroeeficiente. Los resultados se muestran en la figura inferior:

**Figura 1: Escala de preferencia de criterios analizados de forma simultánea**



Todos los criterios fueron seleccionados al menos por un 10% de los 385 encuestados, por lo que todos son fueron incluidos en la matriz de importancia de criterios. Los usuarios no

hicieron sugerencias adicionales en cuanto a incluir otros criterios que no hubieran sido considerados.

Una vez definidos los criterios se construye la matriz de importancia, que en este caso tendrá dimensión nueve. Los valores asignados a todos los elementos  $a_{ij}$  que se encuentren sobre la diagonal principal de la matriz se determinaron a partir de los resultados de la encuesta que realizaba comparaciones pareadas entre los distintos criterios. En este sentido, existían 36 preguntas donde los encuestados elegían entre dos criterios según la preferencia que estimaban a la hora de comprar un artefacto sanitario, grifería y/o dispositivo hidroeeficiente

A modo de ejemplo, una de las preguntas consultaba al usuario sobre si prefería economía del producto o bajo consumo de agua al adquirir un artefacto hidrosanitario. En este caso, el 72,9% de los encuestados se inclinaba por el bajo consumo de agua sobre la economía del producto.

Cabe destacar que la respuesta a cada pregunta se obtenía como un porcentaje. Sin embargo, la calificación numérica según el AHP son números enteros del 1 al 9, por lo que se aplicó una escala que permitiera trasladar los porcentajes a números que estén en el rango de alcance del AHP. Esta escala se presenta en la tabla 1:

**Tabla 1: Equivalencia entre porcentaje de respuesta y calificación numérica del AHP**

Límite inferior (%)	Límite superior (%)	Calificación numérica AHP
0	11	1
11,1	22,1	2
22,2	33,2	3
33,3	44,3	4
44,4	55,5	5
55,6	66,6	6
66,7	77,7	7
77,8	88,8	8
88,9	100	9

El método utilizado para obtener la calificación de cada alternativa en la comparación pareada calculaba el valor absoluto de la resta de ambos porcentajes y el resultado definía cuál es la importancia o calificación del criterio según la tabla anterior. Por ejemplo, una diferencia porcentual de preferencia del 45% entre dos alternativas corresponde a una calificación 5, equivalente a “fuertemente preferible” sobre otro criterio. La matriz de comparaciones pareadas obtenida, así como su índice de consistencia se presenta en la sección de resultados.

### 2.3 Selección de las alternativas

Para construir la matriz de alternativas se identificaron mediante las encuestas cuales eran los artefactos hidrosanitarios y griferías más presentes en los hogares, así como la forma y frecuencia de uso de cada artefacto.

Por ejemplo, para el inodoro, de los 385 encuestados, 38 informaron que poseían un inodoro de descarga única y no realizaban la descarga del tanque para el 100% de los usos ya que tenían un método alternativo de descarga. Por ejemplo, habían usuarios que recolectaban el agua del lavado de manos o de la ducha por medio de algún sistema, y la lanzaban por el

inodoro luego de orinar. Por otra parte, 109 informaron que tenían un sistema de doble descarga, de los cuales el 62% de las veces realizaban descarga parcial y el 38% restante de las veces realizaban descarga completa. Los 238 encuestados restantes utilizaban la descarga completa siempre. Con estos datos, se calculó un coeficiente de artefacto activo para el inodoro (C.A.I). Este coeficiente se incluyó para dar respuesta a la problemática de utilizar la media ponderada de uso de inodoro directamente, ya que esto significaría que, para la totalidad de usos del inodoro, el usuario siempre realiza descarga completa del tanque.

Cada artefacto tiene su propio coeficiente de corrección. Por ejemplo, al lavamanos se le aplicó un coeficiente de corrección C.A.L < 1, pues el tiempo medio de uso no es siempre a grifo abierto. Hay que considerar el porcentaje de personas que cierra el grifo para el jabonado, o el lavado de dientes. Igual ocurre con la ducha. El lavaplatos fue corregido para los casos de quienes aplican detergente con la llave cerrada, etc. Todos estos ajustes se realizaron con información obtenida de las encuestas. Una vez recopilada toda la información respecto al uso de agua se obtuvo la tabla 2:

**Tabla 2: Gasto mensual promedio de cada aparato en el hogar**

Artefacto	Usos por día	Tiempo (min/uso)	Gasto diario por persona (L)	Gasto mensual promedio (L/mes)
Inodoro	4,16	-	24,99	2248,8
Lavamanos	6,18	1,68	67,31	6058,3
Ducha	0,94	8,07	53,11	4779,7
Llave jardín	0,32	10,09	22,61	2035,3
Lavado automóvil	0,04	11,21	2,78	250,4
Lavaplatos	2,69	5,14	89,76	2692,8
Lavadora	0,39	-	20,76	622,9

Los datos muestran como el artefacto que consume mayor cantidad de agua en el hogar es el lavamanos. Esto se justifica por varias razones, primero, debido a la multifuncionalidad del artefacto y segundo, por la pandemia COVID-19, donde este artefacto cobró mucho protagonismo, al ser el lavado de manos un método de seguridad en cuanto a evitar el contagio.

Los otros artefactos que consumen mayor cantidad de agua de mayor a menor son: La ducha, el lavaplatos, el inodoro, y las llaves de jardín. Este último no se considerará en el estudio, puesto que no hay manera de economizar agua en un jardín mediante una gestión pasiva. Esto se debe a que no debería existir pérdida, ya que en teoría, el agua entregada al suelo debería ser para un propósito. Sí es posible ahorrar mediante una gestión activa, pero ya depende exclusivamente de la conciencia y cuidado del usuario y queda fuera de los objetivos de este trabajo. La lavadora tampoco se considera como alternativa, puesto que “los electrodomésticos que consumen agua, como la lavadora y el lavavajillas lejos de aumentar el consumo lo reducen, al evitar que se haga uso de otros aparatos hidrosanitarios, como el lavadero y el fregadero”. (López, 2015).

En síntesis, los artefactos que se consideraron como alternativas fueron: Grifos para ducha, grifos para lavamanos, grifos para lavaplatos e inodoros. A este respecto, existe una gran cantidad de artefactos hidroeficientes en el mercado. Sin embargo, por el ámbito de aplicación

de este trabajo, solo se consideraron dispositivos disponibles en el mercado chileno. Tras un análisis detallado, los artefactos hidrosanitarios y de grifería utilizados para construir la matriz de alternativas fueron:

- Toilet Valencia Advanced Fanaloz. Es un inodoro con sistema de descarga a piso y tanque integrado con un consumo de agua de 6 litros por descarga, con un precio aproximado de 125 USD.
- Dual flash Agne Vessanti, inodoro con un sistema de doble descarga de 4,1 y 7 [l/descarga]. El precio oscila entre los 80 y 90 USD.
- Grifo Monomando lavamanos Milan Sensi Dacqua. Es un grifo de tipo monomando con aireador incorporado que garantiza un importante ahorro de agua. Este artefacto no supera los 3,29 [l/minuto] de consumo por lo que su caudal es 63% más bajo que lo definido en la norma chilena como “artefacto hidroeeficiente”. Su precio normal es 25 USD.
- Aireador para grifería NIBSA. El consumo de este aireador es de 6 [l/min] de agua independiente de la presión, y cuesta aproximadamente 7 USD.
- Regulador flujo ahorro para grifería tina ducha y lavamanos NIBSA. Este regulador de flujo limita el caudal y ahorra hasta un 50% de agua y energía con un consumo de 9 [l/min] independiente de la presión. El precio es de 5 USD.
- Monomando lavaplatos vertical Compass NIBSA. Este monomando trae incorporado un aireador Neoperl que permite emulsionar el agua y ahorrar hasta un 25% de agua Su precio oscila entre los 60 y 65 USD.

Definidas las alternativas, se procede a calcular las matrices de comparación pareada, cuyos resultados se muestran en la sección de Resultados.

### 3. Resultados

La tabla 3 muestra la matriz de importancia de criterios construida a partir de las respuestas de los usuarios y el vector propio que define la importancia de los criterios. Cabe destacar que este último se construye una vez comprobada la consistencia de la matriz obtenida. A este respecto, el índice de consistencia de la matriz fue del 3,5%. Al ser este valor inferior al 10% la matriz es consistente.

**Tabla 3: Matriz de importancia de criterios y vector propio**

Criterio	FVE	FBC	FFI	FFU	FD	FE	FCSC	FIT	FL	Suma	Vector
FVE	1,00	0,20	0,50	0,33	0,13	0,20	0,17	1,00	0,17	3,69	0,023
FBC	5,00	1,00	4,00	3,00	0,33	3,00	1,00	6,00	1,00	24,33	0,149
FFI	2,00	0,25	1,00	1,00	0,14	0,5	0,25	3,00	0,20	8,34	0,051
FFU	3,00	0,33	1,00	1,00	0,14	1,00	0,25	4,00	0,20	10,93	0,067
FD	8,00	3,00	7,00	7,00	1,00	6,00	3,00	7,00	3,00	45,00	0,276
FE	5,00	0,33	2,00	1,00	0,17	1,00	0,20	2,00	0,33	12,03	0,074
FCSC	6,00	1,00	4,00	4,00	0,33	5,00	1,00	5,00	1,00	27,33	0,168
FIT	1,00	0,17	0,33	0,25	0,14	0,5	0,20	1,00	0,20	3,79	0,023
FL	6,00	1,00	5,00	5,00	0,33	3,00	1,00	5,00	1,00	27,33	0,168

---

Suma 162,79 1  
columna

---

El vector propio define el grado de importancia relativa de cada criterio considerando el mayor valor como la opción más importante y el de menor valor el menos importante o preferible. Los resultados muestran como el durabilidad, facilidad de uso y facilidad de limpieza son los criterios preferidos por los usuarios. Al contrario, innovación y economía son los criterios menos valorados. El ahorro de agua que pueda proporcionar el dispositivo se sitúa en el cuarto lugar en cuanto a preferencia.

De igual modo, una vez definidas las alternativas se requiere calcular las matrices de comparación pareada para cada criterio, calculando su ratio de consistencia y el correspondiente vector propio. Este procedimiento se realiza “n” veces que equivaldrá a la cantidad de criterios de análisis, por lo que se obtendrán 9 vectores propios. La tabla 4 resume los vectores propios de alternativa calculados para todos los criterios.

**Tabla 4: Vectores propios de alternativa para todos los criterios definidos**

Criterio/Alternativa	Toilet Valencia	Dual Flash Vessanti	Lavamanos Monomando Dacqua	Aireador Nibsa ducha	Reductora caudal Nibsa	Monomando Lavaplatos
FVE	0,028	0,047	0,125	0,287	0,433	0,081
FBC	0,136	0,255	0,388	0,136	0,039	0,045
FFI	0,046	0,046	0,103	0,344	0,344	0,118
FFU	0,080	0,080	0,147	0,268	0,237	0,188
FD	0,099	0,084	0,155	0,228	0,228	0,205
FE	0,157	0,157	0,194	0,035	0,035	0,421
FCSC	0,083	0,083	0,154	0,225	0,225	0,228
FIT	0,052	0,304	0,081	0,137	0,137	0,288
FL	0,132	0,132	0,358	0,055	0,055	0,268

La tabla anterior permite determinar cual es la mejor alternativa para cada uno de los criterios considerados. Por ejemplo, para usuarios que prioricen el ahorro de agua sobre cualquier otro criterio, el Monomando Dacqua será la opción preferente, mientras que la reductora de caudal Nibsa será la peor alternativa.

Finalmente, a partir de la matriz de alternativas global de la tabla 4 y el vector propio que define la importancia de cada criterio para los usuarios (última columna de la tabla 3) es posible obtener el vector de prioridad de las alternativas. Este vector entrega la importancia de todas las opciones según todas las alternativas y criterios mediante un valor ponderado.

El cálculo se realiza mediante la multiplicación de ambas matrices, obteniéndose la solución del problema y es representado en la tabla 5.

**Tabla 5: Vector de prioridad de las alternativas**

Alternativa	Modelo	Importancia
1	Toilet Valencia (inodoro)	0,104
2	Dual flash Vessanti (inodoro)	0,123
3	Monomando Dacqua (Lavamanos)	0,218
4	Aireador Nibsa (ducha)	0,182
5	Reductor caudal Nibsa (grifería)	0,170
6	Monomando Nibsa (Lavaplatos)	0,203

Este vector de prioridad representa la solución al problema multicriterio planteado. Los resultados muestran que el monomando Milan Dacqua sería la alternativa preferible sobre todas las propuestas en base a la importancia que tienen los criterios propuestos para los usuarios.

#### 4. Conclusiones

La actual escasez hídrica a nivel nacional y mundial obliga a mejorar la gestión de los recursos existentes. Entre las medidas pasivas que los usuarios pueden ejecutar destaca la implementación de dispositivos hidroeeficientes que permiten el ahorro de agua sin afectar el confort y bienestar del usuario. Sin embargo, implementar estas soluciones no dependen de un criterio único como sería el ahorro de agua, sino que existen otras variables que los usuarios consideran antes de implementar cualquier medida de ahorro de agua.

Este trabajo aplica un análisis multicriterio a la implementación de dispositivos ahorradores de agua al interior de los hogares, analizando y comparando distintos artefactos presentes en el mercado chileno. La principal novedad del trabajo respecto a otros es que el grado de importancia de cada variable en la matriz de jerarquía se determina a partir de encuestas realizadas a usuarios. De los resultados es posible concluir que:

- El ahorro de agua no es la principal preocupación del usuario medio a la hora de seleccionar un artefacto sanitario. Existen criterios como la durabilidad, la comodidad de uso o la limpieza que están por encima en cuanto a la preferencia de los usuarios.
- Contrariamente a lo que se pudiera pensar, la economía del producto no es un criterio altamente preferido frente a otros, quedando situado en último lugar en la preferencia de los usuarios.
- Los resultados de las encuestas muestran que existe un porcentaje considerable de usuarios que ya disponen de dispositivos ahorradores de agua en sus viviendas. Por

ejemplo, un 28% de los usuarios declaran tener un sistema de doble descarga en su vivienda y hacen uso de él.

- Entre todas las alternativas consideradas como dispositivos de agua hidroeeficientes, el lavamanos monomando Milan Dacqua sería el que responde de mejor manera a las necesidades de los usuarios.

Finalmente, el trabajo muestra la factibilidad en cuanto a aplicar un método de selección multicriterio al uso de dispositivos hidroeeficientes al interior de los hogares. Como trabajo futuro sería interesante incorporar un mayor número de modelos para cada alternativa y repetir el análisis centrando el estudio en un único tipo de alternativa. Esto permitiría elegir, por ejemplo, el mejor inodoro o el mejor lavatorio disponible en el mercado en base a los criterios evaluados.

## Referencias

- Al-Barqawi, H., & Zayed, T. (2008). Infrastructure management: Integrated AHP/ANN model to evaluate municipal water mains' performance. *Journal of Infrastructure Systems*, 14(4), 305–318.
- Ariff, H., Salit, M. S., Ismail, N., & Nukman, Y. (2008). Use of analytical hierarchy process (AHP) for selecting the best design concept. *Jurnal Teknologi*, 1â – 18.
- Aşchilean, I., Badea, G., Giurca, I., Naghiu, G. S., & Iloaie, F. G. (2017). Choosing the optimal technology to rehabilitate the pipes in water distribution systems using the AHP method. *Energy Procedia*, 112, 19–26.
- Karleuša, B., Hajdinger, A., & Tadić, L. (2019). The application of multi-criteria analysis methods for the determination of priorities in the implementation of irrigation plans. *Water*, 11(3), 501.
- López Patiño, G. (2016). *Análisis y caracterización de las instalaciones interiores de suministro de agua desde el punto de vista de ahorro*. Universitat Politècnica de València.
- Saaty, R. W. (1987). The analytic hierarchy process—what it is and how it is used. *Mathematical Modelling*, 9(3–5), 161–176. [https://doi.org/10.1016/0270-0255\(87\)90473-8](https://doi.org/10.1016/0270-0255(87)90473-8)
- Saaty, T. L. (1990). How to make a decision: The analytic hierarchy process. *European Journal of Operational Research*, 48(1), 9–26. [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(90\)90057-I](https://doi.org/10.1016/0377-2217(90)90057-I)
- Sánchez, R. (2001). La toma de decisiones con múltiples criterios. *Un Resumen Conceptual y Teórico*. Centro de Planificación y Gestión, Universidad Mayor de San Simón.

**Comunicación alineada  
con los Objetivos de  
Desarrollo Sostenible**

