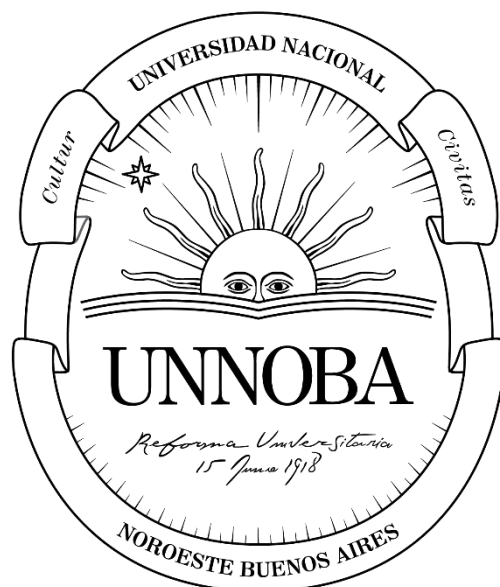


Cálculo de Huella Hídrica de la Escuela Secundaria Presidente Domingo F. Sarmiento UNNOBA - 2025

Área de Seguridad, Higiene y Protección
Ambiental



Matias Martí Fuentes
UNNOBA

ÍNDICE

1.	OBJETIVO DEL INFORME.....	3
2.	MARCO TEÓRICO HUELLA HÍDRICA	4
2.1.	Huella Hídrica Directa.....	5
2.1.1.	Huella Hídrica Azul.....	5
2.1.2.	Huella Hídrica Gris.....	6
2.1.3.	Huella Hídrica Verde	8
2.2.	Huella Hídrica Indirecta	8
2.2.1.	Huella Hídrica Indirecta asociada al consumo de electricidad.....	8
2.2.2.	Huella Hídrica Indirecta asociada al consumo de papel:	9
3.	METODOLOGÍA PARA EL CÁLCULO DE LA HUELLA HÍDRICA	10
3.1.	Alcance.....	10
3.1.1.	Identificación del año de cálculo	10
3.1.2.	Determinación de límites organizacionales	10
3.1.3.	Determinación límites operacionales.....	10
3.2.	Identificación de responsables de suministros del servicio al establecimiento	11
3.3.	Definición de metodología para la recolección de datos.....	11
3.4.	Procesamiento de datos	12
4.	DESARROLLO	12
4.1.	Cálculo de la Media Ponderada de Usuarios (MPUusuarios).....	12
4.2.	Cálculo de Huella Hídrica Azul	13
4.2.1.	Volumen de agua incorporada	14
4.2.2.	Volumen de agua evaporada.....	15
4.2.3.	Total Huella Hídrica Azul	18
4.3.	Cálculo de Huella Hídrica Gris	18
4.4.	Cálculo de Huella Hídrica Indirecta.....	21
4.4.1.	Cálculo de Huella Hídrica asociada al consumo de electricidad.....	21

4.4.2. Cálculo de Huella Hídrica asociada al consumo de papel.....	22
4.4.3. Total Huella Hídrica Indirecta	24
5. RESULTADOS.....	25
5.1. Huella Hídrica Total Escuela Secundaria.....	25
5.2. Huella Hídrica Per Cápita Escuela Secundaria	26
5.3. Conclusión.....	26
6. EVALUACIÓN DE SOSTENIBILIDAD	28
6.1. Análisis de Sostenibilidad Huella Hídrica.....	29
6.1.1. Análisis de Sostenibilidad Huella Hídrica Azul	29
6.1.2. Análisis de Sostenibilidad Huella Hídrica Gris	30
7. RESPUESTA A LA HUELLA HÍDRICA	30
8. ESTRATEGIAS Y/O PROPUESTAS DE REDUCCIÓN DE LA HUELLA HÍDRICA	31
8.1. Soluciones Sanitarias.....	31
8.2. Lavamanos.....	32
8.3. Eficiencia Energética.....	32
8.4. Buenas prácticas en iluminación	33
8.5. Buenas prácticas generales	33
9. BIBLIOGRAFÍA	35

1. OBJETIVO DEL INFORME

Actualmente, resulta fundamental la búsqueda constante de indicadores que representen información certera para la toma de decisiones en lo que refiere a la protección y mejora ambiental, logrando modelos de desarrollo cada vez más sostenibles.

Un indicador considerablemente popular es el de Huella de Carbono. El mismo hace referencia a la emisión de gases de efecto invernadero en la atmosfera, el cual se calcula anualmente en todos los establecimientos de la Universidad, este se convirtió en una herramienta útil, que permitió poner a disposición de la comunidad universitaria resultados del impacto generado y tomar medidas en consecuencia, para intentar reducirlo. Es el compromiso de todos, el que llevará a cambiar este paradigma ambiental.

Sin embargo, existe aún pocas reflexiones, en la ciencia y en la práctica, sobre la gestión del agua en cuanto a su consumo y contaminación, tanto a lo largo de cadenas de producción, como de servicios. Las empresas y organizaciones manejan mucha información sobre el agua que utilizan, pero normalmente, no realizan un adecuado manejo de esta información, tanto internamente, como hacia el exterior. Es por ello que existe escasa conciencia acerca de los factores que influyen directamente en el consumo de los volúmenes de agua y su contaminación asociada. Un compromiso sobre este fenómeno, por parte de todas las organizaciones, construirá la base fundamental para mejorar la gestión de los recursos de agua dulce del planeta. Desencadenando en nuevas estrategias que influyan sobre un adecuado uso del recurso.

Con el fin de sumar acciones a la resolución de las dificultades anteriormente nombradas, la Universidad Nacional del Noroeste de la Provincia de Buenos Aires presenta el siguiente artículo, donde se intenta optimizar la eficiencia en las operaciones que requieren de la utilización de agua, el cambio autónomo de conducta de la comunidad universitaria para su uso responsable, y las estrategias para el cumplimiento de los

parámetros de calidad del efluente. El mismo está enfocado en la contabilización de agua en uno de sus establecimientos, con la intención de réplica futura en la totalidad de los edificios de la institución

La metodología adoptada para el cálculo de la Huella Hídrica se basó en la establecida por el manual de la Wáter Footprint Network y se tomó como eje el cálculo realizado por la Universidad Tecnológica Metropolitana del estado de Chile.

Para ser más claros, la Huella Hídrica (HH) es un indicador del consumo y contaminación de agua dulce, que contempla las dimensiones directa e indirecta. Su concepto fue introducido por primera vez en año 2002 por el Dr. Arjen Hoekstra y desde entonces es difundido por la organización Water Footprint Network (WFN).

Además, el mismo incorpora el concepto de “sostenibilidad”, tomado como notable y fundamental según nuestro criterio, para que las acciones se sostengan en el largo plazo.

2. MARCO TEÓRICO

HUELLA HÍDRICA

Explícitamente, según el método y el concepto de “Water FootPrint”, se le asigna su finalidad al volumen de agua fresca que se utiliza para producir un producto determinado, ya sea un bien o servicio, considerando toda la cadena de suministro. Esta huella es medida en términos de volumen de agua consumida en el proceso, incluida el agua evaporada y/o contaminada. Es un indicador de uso de agua que tiene en cuenta tanto la utilización directa como indirecta por parte de un consumidor o productor.

La HH es un indicador multidimensional compuesto por variables que, no solo muestra o refleja el volumen de agua usada y contaminada, sino además la localización geográfica y el momento del año en que ésta es usada.

A continuación, se detallará la forma de calcular la Huella Hídrica Directa e Indirecta asociada al proceso educativo de la Universidad, contemplado en el objetivo de alcance.

El cálculo que se desarrolló a lo largo de todo el estudio se orientó en la aplicación de una de las herramientas que se ha creado bajo el enfoque del interés de la sostenibilidad, la equidad y la eficiencia del uso del agua para ayudar a mitigar estos impactos con la metodología establecida por la Water FootPrint Network, cuya organización busca desde sus inicios en la temática, avanzar constantemente sobre el concepto de Huella Hídrica como indicar de uso de consumidores y productores.

La Universidad Tecnológica Metropolitana del estado de Chile realizó en el año 2013 el cálculo de Huella Hídrica de su institución, bajo la aplicación de la metodología anteriormente mencionada. Por tal motivo, considerado el mismo relevante y similar a las características de la institución en estudio, se utilizó dicho proyecto como modelo de análisis y aplicación, y en conjunto con el de la Norma ISO 14046- Gestión Ambiental- Huella de Agua.

2.1. Huella Hídrica Directa

2.1.1. Huella Hídrica Azul

La Huella Hídrica Azul, se refiere al consumo de los recursos hídricos azules (agua dulce), superficial o subterránea, en toda la cadena de producción de un producto. Consumo se refiere a la pérdida de agua en cuerpos de agua disponibles en la superficie o en acuíferos subterráneos en el área de la cuenca. La pérdida ocurre cuando el agua se evapora, no regresa a la misma cuenca, es dispuesta al mar o se incorpora a un producto.

Para el cálculo de la Huella Hídrica de una organización administrativa, la HH Azul corresponde al agua azul que no retorna a la cuenca. Se puede calcular como el flujo

de agua de entrada (agua potable comprada) menos el flujo de salida (wastewater). La diferencia será lo que se evaporó.

La HH Azul está definida por la siguiente ecuación:

$$HH\ azul = Incorp + Evaporación$$

Dónde:

- *Incorp* = Volumen de agua incorporada
- *Evaporació* = Volumen de agua evaporada

Es decir, se contempla el volumen de agua que se incorpora en el consumo humano (derivada de compra de agua mineralizada) y la que se evapora. Si se conocen los volúmenes de incorporación y evaporación, esta ecuación puede utilizarse para cuantificar la HH Azul.

El volumen de agua evaporada, se puede determinar por la siguiente ecuación:

$$Volumen\ de\ agua\ evaporada = Afluente - Efluente$$

Dónde:

- *Afluente* = volumen de agua usada en la actividad evaluada.
- *Efluente* = volumen de agua descargada al alcantarillado.

2.1.2. Huella Hídrica Gris

Para estimar la Huella Hídrica gris de un proceso, se calcula como el volumen de agua que se requiere para diluir contaminantes, hasta tal punto de que la calidad del agua del ambiente se mantenga acorde a la legislación aplicable según sea el caso de las normas acordadas de calidad de agua.

El agua gris es calculada al dividir la carga de contaminantes (L expresado en masa/tiempo) por la diferencia entre la norma de calidad del agua del ambiente para ese contaminante (la concentración máxima aceptable C_{max} expresado en masa/volumen) y

su concentración natural en el cuerpo de agua que recibe (C_{nat} expresado en masa/volumen).

En el caso de focos puntuales de contaminación del agua, es decir, cuando los productos químicos se liberan directamente en una masa de agua superficial en forma de disposición de aguas residuales, la carga puede estimarse midiendo el volumen de efluentes y la concentración de una sustancia química en el efluente. Más precisamente: la carga contaminante puede ser calculada como el volumen de efluentes ($Effl$, en volumen / tiempo) multiplicado por la concentración del contaminante en el efluente (C_{effl} , en masa / volumen) menos el volumen de agua de la abstracción ($Abstr$, en volumen / tiempo) multiplicado por la concentración real de la toma de agua (C_{act} , en masa / volumen). La Huella Hídrica gris se puede calcular de la siguiente manera:

$$HH_{gris} = \frac{L}{C_{max} - C_{nat}} = \frac{Effl \times C_{effl} - Abstr \times C_{act}}{C_{max} - C_{nat}}$$

Donde:

- $Effl$ = Es el Volumen total del efluente que es descargado al alcantarillado (m³/ año).
- C_{effl} = Es la concentración de la sustancia (DBO5 y DQO) en el cuerpo del efluente (mg / l).
- $Abstr$ = Es el volumen total de agua que es consumida (m³/ año).
- C_{act} = Es la concentración real del contaminante cuando el agua es utilizada. (mg / l).
- C_{max} = La concentración máxima aceptable en el cuerpo de agua de descarga (mg / l).
- C_{nat} = Es la concentración del efluente sin intervención antrópica (mg / l).

Para este caso la concentración real, es decir, la C_{act} es igual a cero. Porque se considera que el agua es potable, la cual ya se encuentra tratada y no posee el contaminante en estudio (DBO5 y DQO).

De acuerdo a la legislación vigente, se toma como elemento de control para llevar a cabo este cálculo la demanda 'bioquímica' de oxígeno (DBO). Es un parámetro que mide la cantidad de materia susceptible de ser consumida u oxidada por medios biológicos que contiene una muestra líquida, disuelta o en suspensión. Se utiliza para medir el grado de contaminación, y normalmente se mide transcurridos cinco días de reacción (DBO5), se expresa en miligramos de oxígeno diatómico por litro (mgO₂/l).

2.1.3. Huella Hídrica Verde

La WFP Verde corresponde al volumen total de agua que proviene de las precipitaciones y que cae directamente sobre plantas y suelo, para posteriormente evapotranspirarse. Para que el agua que se evapotranspira contribuya al proceso en estudio, es necesario que las plantas sean parte de los insumos o procesos necesarios para la producción del bien estudiado. Desde dicha perspectiva, resulta particularmente relevante la contribución de la WFP Verde para la producción agrícola, ganadera y forestal, especialmente en zonas donde se requiere riego.

En el presente estudio no se considera la Huella Hídrica Verde. En la Universidad la única sede que se considera con áreas verdes es el Campo Experimental Las Magnolias, dependencias de áreas rurales, por ende, no existen áreas verdes que pudiesen utilizar el agua de lluvia.

2.2. Huella Hídrica Indirecta

2.2.1. Huella Hídrica Indirecta asociada al consumo de electricidad

En esta etapa, es necesario conocer el tipo y proveniencia de energía eléctrica del sitio en estudio. Por ejemplo, se requiere saber si es hidroeléctrica, biomasa, solar, eólica,

etc. Lo adecuado es conocer, al menos de manera aproximada, el porcentaje de cada fuente de energía para poder calcular un promedio.

Por otra parte, es necesario conocer el consumo de electricidad (KW/H) que tuvo la sede universitaria en el año 2025. Una vez que se tiene esta información es necesario segregar los Kw/h por el porcentaje de proveniencia. Luego de esto conociendo los factores de Conversión que posee cada tipo de energía, se podrá conocer la Huella Hídrica Indirecta asociada al consumo de energía.

Esta información se encuentra disponible en la base de datos de la Water FootPrint Network, con sus correspondientes factores de conversión.

$$HH_{electricidad} = Consumo\ de\ electricidad \times Factor\ de\ conversi3n$$

2.2.2. Huela Hídrica Indirecta asociada al consumo de papel:

Es sumamente parecida a la Huella asociada al consumo de electricidad, es decir, la Huella Hídrica Indirecta asociada al consumo de papel, es la cantidad de papel utilizada al año en unidad de masa multiplicada por el valor de Huella Hídrica de cada tipo de papel estimada por la Water FootPrint, para cada país.

$$HH_{papel} = Consumo\ de\ papel \times Factor\ de\ conversi3n$$

3. METODOLOGÍA PARA EL CÁLCULO DE LA HUELLA HÍDRICA

El presente estudio sigue la metodología desarrollada y presentada en el Manual de Huella Hídrica (Hoekstra et al., 2011). Esta metodología está conforma por 4 fases:

- Determinación de objetivos y el alcance del cálculo.
- Contabilizar la Huella Hídrica.
- Análisis de sostenibilidad de la Huella Hídrica.
- Respuesta a la Huella Hídrica
- Formulación de estrategias y planes de reducción.

En esta etapa se explican las actividades de investigación que fueron desarrolladas y que se orientan a la culminar en la fase de evaluación.

3.1. Alcance

El cálculo de la Huella Hídrica abarca al establecimiento de la Escuela Secundaria Presidente Domingo Faustino Sarmiento durante el año 2025.

3.1.1. Identificación del año de cálculo

Se identifica como año de cálculo el año 2025.

3.1.2. Determinación de límites organizacionales

Para definir el alcance del cálculo, se amplió hacia el establecimiento Escuela Secundaria Presidente Domingo Faustina Sarmiento, en el marco de su certificación en el Sistema de Gestión Ambiental ISO 14001.

3.1.3. Determinación límites operacionales

En la definición de aspectos importantes relacionados a Huella Hídrica directa e indirecta que posee el establecimiento, se aborda lo expresado a continuación:

- Huella Hídrica Directa: se consideró como Huella Hídrica Directa institucional a todos los procesos asociados a la Huella Hídrica Azul y Gris relacionada con la actividad que se desarrolla en el establecimiento. Referida a la Huella Hídrica Azul,

fue considerado el consumo de agua realizado durante todo el año de estudio, según el registro del medidor instalado y la cantidad de personas que asisten con regularidad al establecimiento. En cuanto a la Huella Hídrica Azul, fue considerado el efluente que produjo y su incidencia de contaminación de DBO5 y DQO en la descarga de agua.

- Huella Hídrica Indirecta: Para efectos de cálculo de la Huella Hídrica Indirecta se consideraron los consumos de electricidad realizados por la institución y los insumos más representativo según un análisis realizado, papel.

El presente estudio no considera la contabilidad de la Huella Hídrica Verde. Es necesario aclarar que, en cuanto a las exclusiones relacionadas con el cálculo de Huella Hídrica Indirecta, no se tuvieron en cuenta los procesos relacionados con la construcción del establecimiento, por estar relacionado a la remodelación de un edificio ya existente, ni el consumo de combustibles, durante el año en estudio.

En cuanto a los límites relacionadas al cálculo de la Huella Hídrica de Cadena de Suministro (Indirecta), para efectos de cálculo no se consideraron los procesos relacionados a la construcción de la Universidad y el consumo de los combustibles utilizados por la universidad (consumo de gas licuado y natural, petróleo Diesel y gasolina).

3.2. Identificación de responsables de suministros del servicio al establecimiento

Se identificó como oferente del suministro consumido en el edificio a Obras Sanitarias con el objeto de completar la información que pueda faltar en los registros almacenados por el Área de Seguridad, Higiene y Protección ambiental de la Universidad.

3.3. Definición de metodología para la recolección de datos

Luego de haber definido el edificio en estudio, se determinó la información necesaria para estimar el cálculo. Para llevar a cabo la misma se necesitó de los

indicadores del Sistema de Gestión Ambiental y de información brindada por las áreas de Compras y Contrataciones y Alumnos.

3.4. Procesamiento de datos

Luego de haber finalizado la etapa de recolección de datos, se procedió con la tabulación de los mismos, para así tener un orden que ayude a su cálculo.

Luego de estandarizar la información y definir los supuestos para estimar la Huella Hídrica, se procedió a completar las planillas de consumo de agua, papel y electricidad. Las mismas se encuentran adjuntas en la etapa de cálculo correspondiente.

Para realizar el cálculo se implementó una hoja de cálculo donde se cargaron los datos y las fórmulas correspondientes con el objetivo de agilizar el procedimiento.

4. DESARROLLO

4.1. Cálculo de la Media Ponderada de Usuarios (MPUsuarios)

$$MPUsuarios = \sum \text{Número de } (PMT, A, PTC) \times \text{Factor de ponderación}$$

Referencias:

- *PMT = Personal que está medio turno*
- *A = Número de Alumnos*
- *PTC = Peronal que está turno completo*

El factor de ponderación se define como la razón entre las horas uso y las horas totales de funcionamiento del edificio.

Gracias al Área de Alumnos, la Dirección de Capital Humano y la Escuela Secundaria sabemos la cantidad de docentes, alumnos y no docentes que atendieron al edificio.

La cantidad de alumnos que se detalla es la mitad de la cantidad de inscriptos para que se refleje la actividad bajo el sistema de burbujas que se llevó a cabo.

Número de:	
Personal que está medio turno	50
Alumnos por día	360
Personal que está turno completo	10

Fuente: Elaboración Propia

Ahora se puede calcular la MPUusuarios:

	Horas de uso	Horas totales	Factor de ponderación	N	Total
PMT	4	8	0,5	50	25
A	8	8	1	360	360
PTC	8	8	1	10	10
				MPU	395

Fuente: elaboración propia

4.2. Cálculo de Huella Hídrica Azul

Para el cálculo de la Huella Hídrica Azul, se considera el volumen de agua que es incorporada y el volumen de agua que es evaporada. El resultado de la diferencia entre afluente y efluente es considerado como el agua evaporada.

$$HH\ azul = Incorp + Evaporación$$

Cada vez que se necesite usar la cantidad de días del año de estudio se utilizaran los siguientes valores de acuerdo a lo explicado en el apartado 3.1.1 “Identificación del año de cálculo”:

Días de actividad	
Días totales	365
Días de clases	190

Fuente: Elaboración propia

4.2.1. Volumen de agua incorporada

La misma queda representada por el agua de consumo cotidiano de alumnos, docentes y no docentes, esta incluye el consumo de bidones de agua mineralizada y el de un único dispenser conectado a la red.

Se estima que se consumen 8 bidones de 20 litros por semana de agua mineral y que el dispenser se usa 8 hs/día a su capacidad máxima. Además se contempla el uso de agua de osmosis para laboratorios. Así se puede estimar el consumo anual de ambos:

Volumen anual de consumo de bidones			
Cant de bidones por semana	Lt/bidon	m3/día	VOLBidones
8	20	0,032	6,1

Fuente: Elaboración propia

Volumen anual de consumo del dispenser					
Capacidad de calentamiento l/h	Cantidad	Hs uso/Día	Consumo total m3/día	Días de uso/año	Consumo total anual m3
8	5	8	0,064	190	60,8

Fuente: Elaboración propia

Volumen anual de consumo de agua de osmosis:		
Cantidad del litros de agua de osmosis por año	m3/dia	VOLAguaOsmosis (m3)
10	2,7397E-05	0,010

Entonces:

$$VOLIncorporado = VOLBidones + VOLDispenser + VOLAguaOsmosis$$

	Valor
VOLBidones (m3)	6,08
VOLOsmosis (m3)	0,010
VOLDispenser (m3)	60,8
VOLIncorporado (m3)	66,890

4.2.2. Volumen de agua evaporada

Representada por la siguiente ecuación:

$$VOLEvaporada = Afluente - Efluente$$

4.2.2.1. Cálculo del volumen de afluente

La planilla “RA 9.1.1.1 – CONSUMOS SECUNDARIA”, arrojó el siguiente resultado de afluente correspondiente al año 2025:

$$Afluente = 1674,4 \text{ m}^3$$

4.2.2.2. Cálculo del volumen de efluente

En el caso de las unidades del edificio de estudio, es el resultado de la siguiente ecuación:

$$Efluente = Vollavamanos + Volinodoros + Vollaboratorio + VolLimpieza$$

Dónde:

- $Efluente$ = Volumen del efluente generado
- $Vollavamanos$ = Volumen generado por el uso de los lavamanos
- $Volinodoros$ = Volumen generado por el uso de inodoros
- $Vollaboratorio$ = Volumen generado por el uso de equipos de agua en laboratorios
- $VolLimpieza$ = Volumen generado por la limpieza cotidiana de las instalaciones.

Se estiman los valores de *Vollavamanos* y *Volinodoros* de la siguiente manera:

$$Vollavamanos = F \times T \times V \times MPU \times D$$

$$Volinodoros = F \times V \times MPU \times D$$

Donde:

- F = Frecuencia promedio de uso por persona en el día considerando el promedio de permanencia en el establecimiento (veces /día).
- T = Tiempo promedio de uso por persona (seg).
- V = Flujo de agua (caudal) promedio (m³/seg o m³/descarga).
- MPU = Media ponderada de usuarios.
- D = Días hábiles con actividad académica durante el año.

El valor de cada variable depende del tipo de usuario por lo que se considera lo siguiente:

	F	T	V	MPU	D	TOTAL (m³)
VolLavamanos	1	7	0,00018	395	190	96,31
VolInodoros PTC A	1,5		0,009	370	190	949,05
VolInodoros PMT	0,5		0,001	25	190	2,38

Fuente: Elaboración propia

Donde:

- VolLavamanos = Considera el MPU total.
- VolInodoros PTC A = Volumen de inodoros asociados al personal de turno completo y alumnos.
- VolInodoros PMT = Volumen de inodoros asociados al personal de medio turno.

El valor de *Vollimpieza* se estima con base en la información proporcionada por Escuela de Ingeniería de Antioquia, se describe a continuación el caudal de agua estimado para el aseo de la vivienda. El mismo definido como 0,29 lts/m² por día.

	lts/(m2 dia)	m2	Porcentaje	Días	TOTAL (m3)
Vollimpieza	0,29	4153	80%	190	183,06

Fuente: Elaboración propia

Para *Vollaboratorio* se realiza una estimación de acuerdo al RA 9.1.1.2 –

INVENTAROS SECUNDARIA

Sector	Artefacto	Cantidad	Consumo (m3)/uso o m3/min	N° Usos	Min uso	Consumo anual (m3)
Laboratorio Marie Curie Química	Canilla	2	0,009		38	0,684
Laboratorio Cesar Milestein	Canilla	1	0,009		38	0,342
Baño masculino	Mingitorio	3	0,004	570		6,84
Comedor	Dispenser de agua de red fria y caliente (texnaqua)	2	0,002		11400	22,8
Comedor	Dispenser de agua de red fria y caliente (frimax)	3	0,002		11400	22,8
Cocina	Lavavajillas. Max. Capacidad de 20 platos	1	0,02	2850		57
	Canilla	6	0,009		3800	205,2
Gimnasio- Cuarto parrilla	Dispenser agua fria y caliente	1	0,002	8550		17,1
Baño Hombres. Primer piso	Mingitorio	3	0,004	570		6,84
Salon de usos multiples	Canilla	1	0,009		38	0,342
Baño Hombres.Segundo piso	Mingitorio	3	0,004	570		6,84
Salon de usos multiples	Canilla	3	0,009		38	1,026
						0
VolLaboratorios						347,81

Efluente (m3)	1578,61
----------------------	---------

Fuente: Elaboración Propia

Ahora solo queda sumar los volúmenes para obtener el valor estimado de *Efluente* que es:

$$Efluente = 1578,61 \text{ m}^3$$

4.2.2.3. Volumen de agua evaporada total

$$Agua evaporada = 1674,4 \text{ m}^3 - 1578,61 \text{ m}^3$$

$$Agua evaporada = 95,785 \text{ m}^3$$

4.2.3. Total Huella Hídrica Azul

$$HH \text{ azul} = Incorp + Evaporación$$

$$Huella Azul = 66,89 \text{ m}^3 + 95,785 \text{ m}^3$$

$$Huella Azul = 162,675 \text{ m}^3$$

4.3. Cálculo de Huella Hídrica Gris

Para estimar la Huella Hídrica gris de un proceso se calcula como el volumen de agua que se requiere para diluir contaminantes hasta tal punto de que la calidad del agua del ambiente se mantenga acorde a la legislación aplicable según sea el caso normas acordadas de calidad de agua.

El agua gris se calcula con la división de la carga de contaminantes (expresado en masa/tiempo) por la diferencia entre la norma de calidad del agua del ambiente para ese contaminante, expresado en la ley 11820 en el Marco Regulatorio para la Prestación de los Servicios Públicos de Provisión de Agua Potable y Desagües Cloacales en la Provincia de Buenos Aires y específicamente descripta en el Anexo I y II del mismo, aquí se distingue la concentración máxima aceptable y la concentración natural en el cuerpo de agua, expresado en masa/volumen.

La ecuación de la HH Gris que se considera para todos los casos es:

$$HH_{gris} = \frac{L}{C_{max} - C_{nat}} = \frac{Effl \times C_{effl} - Abstr \times C_{act}}{C_{max} - C_{nat}}$$

Donde:

- $Effl$ = Es el Volumen total del efluente que es descargado al alcantarillado (m³/ año).
- C_{effl} = Es la concentración de la sustancia (DBO5 y DQO) en el cuerpo del efluente (mg / l).
- $Abstr$ = Es el volumen total de agua que es consumida, Afluente más VolBidones (m³/ año).
- C_{act} = Es la concentración real del contaminante cuando el agua es utilizada. (mg / l).
- C_{max} = La concentración máxima aceptable en el cuerpo de agua de descarga (mg / l).
- C_{nat} = Es la concentración del efluente sin intervención antrópica (mg / l).

La HH Gris puede medirse con diferentes parámetros de calidad. La HH Gris total será la máxima entre las HH Grises calculadas en base a distintos parámetros.

Para la utilización de la fórmula se debió estudiar las concentraciones de los contaminantes en agua generados en la escuela secundaria. Los parámetros que se consideraron son: Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5) y Demanda Química de Oxígeno (DQO).

La HH Gris total será la máxima de las HH Grises cuantificadas.

Cálculo de la HH Gris DBO5:

	Valor
Efluente (m3)	1578,61
CefflDBO5	6
Abstr (m3)	1741,285
Cact	0
Cmax	200
Cnat	5
HHgrisDBO5 (m3)	48,57

Fuente: Elaboración propia

Cálculo de la HH Gris DQO:

	Valor
Efluente (m3)	1578,61
CefflDQO	11
Abstr (m3)	1741,285
Cact	0
Cmax	700
Cnat	15
HHgrisDQO (m3)	25,35

Fuente: Elaboración propia

C_{act} equivale a 0 porque hace referencia a la concentración que tiene el contaminante al momento de la extracción del recurso hídrico, el contaminante no se encuentra presente al momento de consumir agua potable.

$C_{max} = 200 \text{ mg/l}$ y 700 mg/l según Resolución 336/03 – Anexo II

II	D.B.O.	mg/l	5210 B	≤200	≤50	≤200	≤200
	D.Q.O.	mg/l	5220 D	≤700	≤250	≤500	≤500
	S.A.A.M.	mg/l	5540 C	≤10	≤2,0	≤2,0	≤5,0
	Sustancias fenólicas	mg/l	5530 C	≤2,0	≤0,5	≤0,1	≤2,0
	Sulfatos	mg/l	4500 SO4 E	≤1000	NE	≤1000	NE
	Carbono orgánico total	mg/l	5310 B	NE	NE	NE	NE
	Hierro (soluble)	mg/l	3500 Fe D	≤10	≤2,0	≤0,1	≤10
	Manganeso (soluble)	mg/l	3500 Mn D	≤1,0	≤0,5	≤0,1	≤10

Parámetros de calidad de las descargas límites admisibles- Resolución 336/03- Anexo II

La HH Gris máxima según los parámetros evaluados es la HH Gris DBO5.

$$HH_{gris} = 48,57 m3$$

4.4. Cálculo de Huella Hídrica Indirecta

A continuación, se presenta el cálculo de la Huella Hídrica Indirecta, derivada del consumo de electricidad y papel:

$$Huella\ Hídrica\ Indirecta = HH_{electricidad} + HH_{papel}$$

4.4.1. Cálculo de Huella Hídrica asociada al consumo de electricidad

En primer lugar, es necesario determinar el tipo y proveniencia de energía eléctrica. En la escuela secundaria la empresa proveedora de la misma es Edén S.A.

Con base en una publicación realizada por el estado en la página argentina.gob.ar, donde se comparten los porcentajes de energía eléctrica generada por energías renovables en el año 2021, junto con la estimación que realiza la central térmica de la ciudad de San Nicolás de los porcentajes de utilización de los diferentes combustibles fósiles (70% gas natural, 20% carbón y 10% Diesel), se estiman los porcentajes de proveniencia de la energía eléctrica consumida en dicho año.

Cada fuente de generación de energía eléctrica tiene diferentes Factores de Conversión. Los mismos se pueden extraer de la información obtenida del Reporte Bio Energía. Gerbens-Hoekstra-VanderMeer-2008-waterfootprint-bioenergy.pdf. Además,

se utilizó el reporte: Reports/Mekonnen-Hoekstra-2012-WaterFootPrint-Hydroelectricity.pdf. (Estos datos fueron obtenidos del cálculo de la Huella Hídrica de la Universidad de Chile).

$$HH_{electricidad} = Energía\ eléctrica \times \%de\ proveniencia \times Factor\ de\ conversión$$

Consumo de energía eléctrica kWh		72910		
Tipos de energía	Factor de conversión HH (M3/GJ)	Porcentaje de proveniencia	Energía eléctrica GJ	HHelectricidad (m3)
Hidroeléctrica	0,4	0,9%	2,36	0,944
Energía Eólica	0	9,6%	25,2	0
Energía Nuclear	0,1	0,0%	0	0
Gas Natural	0,1	60,9%	159,85	15,985
Carbón	0,2	17,4%	45,67	9,134
Energía Solar	0,3	1,7%	4,46	1,338
Diesel	1,1	8,7%	22,84	25,124
BIOGAS	S/l	0,8%	2,1	0
Total				52,53

Fuente: elaboración propia.

4.4.2. Cálculo de Huella Hídrica asociada al consumo de papel

Similar a la Huella Hídrica calculada para el consumo de electricidad, se desarrolla a continuación la Huella Hídrica asociada al consumo de papel anual en la Institución. Se refiere a la cantidad de papel utilizado en el año en unidad de masa multiplicada por el valor de huella hídrica de cada tipo de papel estimada a continuación por la Water FootPrint.

Table 8. Water footprint of 'printing & writing paper' (m³/ton), taking into account country-specific recovered paper utilization rates.

Country	Pine from boreal biome	Pine from temperate biome	Broadleaf from temperate biome	Eucalyptus from subtropical biome	Eucalyptus from tropical biome
USA	1115	2069	1809	955	2602
Canada	1667	1676	1466		
China	2015	2266	1568	2501	2250
Finland	1988	1641	1515		
Sweden	1241	1144	1392		
Japan		1452	965	891	
Brazil				497	540
Russia	840	981	1193		
Indonesia					1275
India				1029	1246
Chile		674	591	502	
France		766	1005	415	
Germany		657	799		
Norway	1121	1036	1260		
Portugal		1769	2151	905	
Spain		638	776	321	
South Africa				806	749
Austria		881	1072		
New Zealand		925	969	933	
Australia		1060	878	665	701
Poland		1312	1118		
Thailand					809

Fuente: Report46- WaterFootprintPaper, Tabla 8

Considerando que la Huella Hídrica del papel requiere de la determinación del tipo de papel que es utilizado en la institución, a continuación, se detalla el tipo de plantación forestal del cual es extraído el recurso que se emplea en la Universidad.

- Resmas Marca Premium 100% con fibra de Eucaliptus - Áreas administrativas.
- Resmas Marca Boreal 100% de Eucalipto Grandis y Eucalipto Globulus– Fotocopiadora.

Considerando la proximidad entre Argentina y Chile y sus características terrenales, se optó por utilizar los factores que han sido determinados para dicho país, ya que el mismo no se encuentra especificado en dicha tabla.

$$Eucaliptus = 502 \text{ m}^3/\text{ton}$$

Luego, se procede a aplicar la formula correspondiente al cálculo de Huella Hídrica Indirecta referida al consumo de papel, como se muestra más abajo.

$$HH_{papel} = Consumo \text{ de papel} \times Factor \text{ de conversión}$$

$$Kg \text{ de papel consumidos año 2025} = 34,88 kg$$

$$HH_{papel} = 34,88 \text{ kg} \times 0,502 \frac{m^3}{kg}$$

$$HH_{papel} = 17,51 m^3$$

4.4.3. Total Huella Hídrica Indirecta

$$Huella \text{ Hídrica Indirecta} = HH_{electricidad} + HH_{papel}$$

$$Huella \text{ Hídrica Indirecta} = 52,53 m^3 + 17,51 m^3$$

$$Huella \text{ Hídrica Indirecta} = 70,04 m^3$$

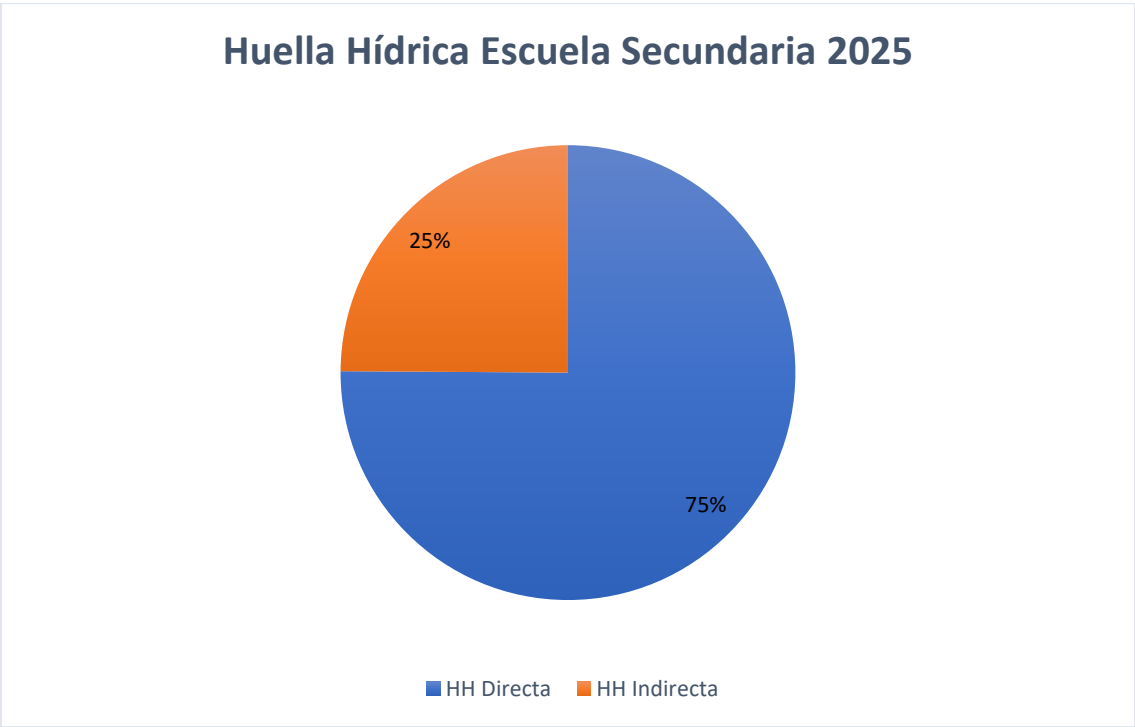
5. RESULTADOS

5.1. Huella Hídrica Total Escuela Secundaria

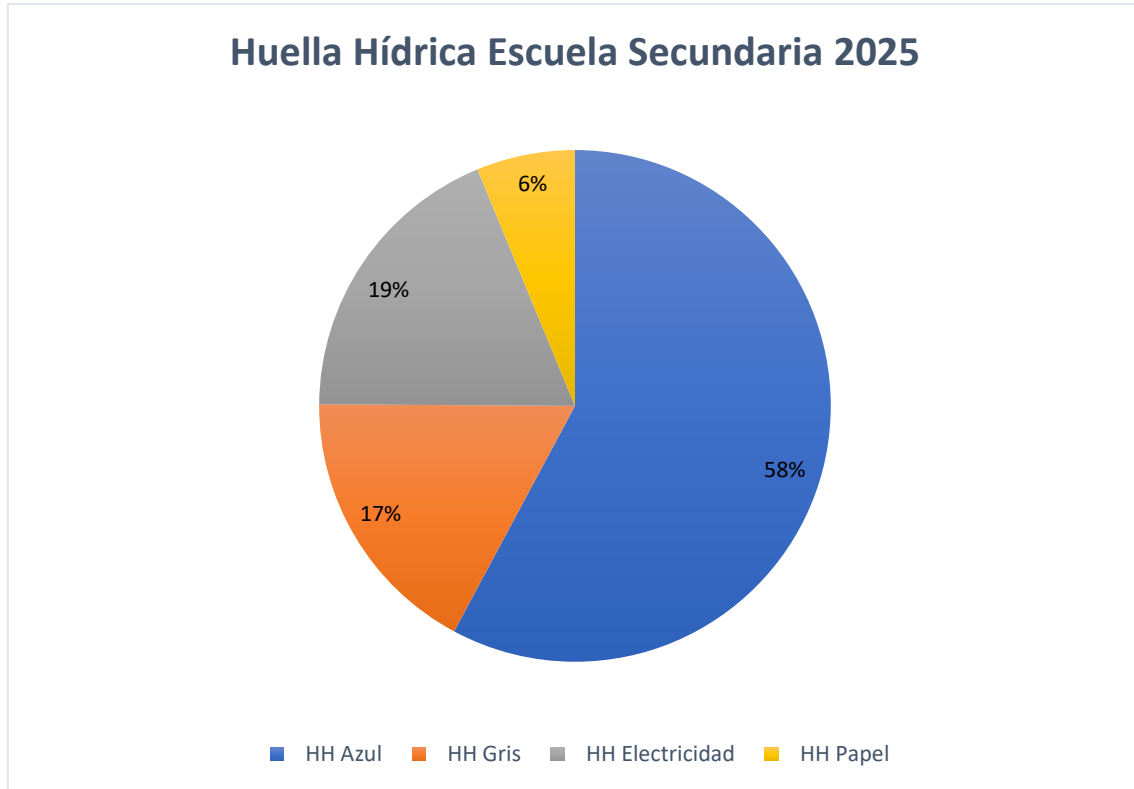
Nombre	Resultado (m3)	Porcentaje
HH Directa	211,245	75%
HH Azul	162,675	58%
HH Gris	48,57	17%
HH Indirecta	70,04	25%
HH Electricidad	52,53	19%
HH Papel	17,51	6%
Total	281,285	100%

Fuente: elaboración propia

Del valor total de la Huella Hídrica de la Escuela Secundaria Presidente Domingo Faustino Sarmiento de la Universidad se desprende que el 95% de ella 1560,942 m3/año) corresponde a la Huella Hídrica Directa y el 5% (77,4 m3/año) corresponden a la Huella Hídrica Indirecta.



Para tener una mejor visualización de los factores más importantes de la Huella Hídrica, se muestra a continuación los porcentajes que representan, la HH Azul, la HH Gris, la HH Electricidad y la HH Papel.



5.2. Huella Hídrica Per Cápita Escuela Secundaria

El objetivo del presente apartado es el de establecer el valor de Huella Hídrica por persona que asiste regularmente al establecimiento. De acuerdo al total de estudiantes, Docente y No Docente que asisten por día.

$$HH_{PerCápita} = \frac{HH}{360 + 60} = \frac{281,285}{420}$$

$$HH_{PerCápita} = 0.67 \text{ m}^3/\text{persona}$$

5.3. Conclusión y comparación con años anteriores

El incremento de la huella hídrica azul se debe a una mayor presencia de pérdidas en el establecimiento, así como a un aumento en el volumen de efluente generado, lo que a su vez produce un incremento en la huella hídrica gris.

Año	Huella Hidrica Escuela Secundaria (m3)	Huella Hídrica Escuela secundaria (m3/persona)
2021	685,65	4,76
2022	945,413	2,41
2023	382,1545	0,90
2024	1336,195	3,38
2025	281,285	0,67



6. EVALUACIÓN DE SOSTENIBILIDAD

La Huella Hídrica es un indicador que surgió como análogo a la Huella Ecológica, que es un indicador de uso de un espacio biológicamente productivo (en hectáreas). Con el objetivo de tener una idea de lo que representa el estudio de la huella hídrica para una Universidad, será necesario compararla a la Huella Hídrica de los recursos disponibles de agua dulce (expresados también en m³/año), igual que se comparan la Huella Ecológica al espacio biológicamente productivo (en hectáreas).

El objetivo primordial de evaluar la sostenibilidad de la Huella Hídrica se refiere primordialmente a establecer la comparación de la Huella Hídrica humana con lo que la tierra puede soportar de forma sostenible, es decir, procurando la protección de las generaciones futuras.

Considerando que la sostenibilidad se puede analizar desde varias dimensiones, la sostenibilidad de la Huella Hídrica de un producto o servicio, depende en parte de los contextos geográficos de la misma. Rara vez es la Huella Hídrica de un proceso, producto, productor o consumidor la que crea los problemas de escasez de agua y la contaminación que nos afectan. Los problemas surgen como el efecto acumulativo de todas las actividades en el área geográfica considerada.

Sin embargo, en el análisis particular del servicio que brinda la universidad, la sostenibilidad de la Huella Hídrica puede ser analizada desde tres perspectivas diferentes: desde un punto de vista ambiental, social y económico.

Desde cada uno de estos puntos de vista se pueden distinguir varios criterios de sostenibilidad.

La sostenibilidad ambiental, se refiere a la calidad del agua, la cual debe permanecer dentro de ciertos límites, según normativa ambiental aplicable. Además, los caudales de ríos y las aguas subterráneas deben permanecer dentro de límites establecidos,

frente a la escorrentía natural, a fin de mantener los ecosistemas dependientes de los ríos y del agua subterránea.

La sostenibilidad social, se refiere a que hay que asignar una cantidad mínima de agua dulce disponible en la tierra a necesidades básicas. Esencialmente un abastecimiento mínimo de agua doméstica para beber, lavar y cocinar. Además, de una asignación mínima de agua para la producción de alimentos.

La sostenibilidad económica, se refiere a la asignación y utilización del agua de una manera económicamente eficiente. Los beneficios de una Huella Hídrica (verde, azul o gris) que resultan de usar el agua para un fin determinado deben pesar más que el costo de oportunidad. De lo contrario la Huella Hídrica es insostenible.

6.1. Análisis de Sostenibilidad Huella Hídrica

Para realizar el análisis de sostenibilidad de la Huella Hídrica, se requiere la obtención de la disponibilidad de agua real que existe en la cuenca, en la cual se obtiene el agua para el consumo y uso de la población. Este dato, puede ser obtenido por el Gobierno Municipal.

6.1.1. Análisis de Sostenibilidad Huella Hídrica Azul

La HH Azul Total de la universidad es la suma de las HH cuantificadas de los sectores evaluados. Su sostenibilidad es cuantificada comparando la disponibilidad de agua azul mensual (agua disponible real) de la cuenca de la que se extrae agua para el uso y consumo en la ciudad con el uso y consumo de agua en la universidad. Para determinar la escasez de agua y la sostenibilidad de agua, se debe dividir la HH Azul cuantificada por el volumen de agua disponible real (agua azul). Si la división es menor a 1, entonces se puede concluir que el impacto ambiental en cuanto al consumo de agua no existe o no es significativo. Cuanto mayor sea a 1, la situación es peor, como se puede ver en la siguiente tabla.

$$\text{Sostenibilidad HH Azul} = \frac{\sum HH_{Azul}}{\text{Disponibilidad Natural}}$$

Mayor a 4		Mayor a 1,5	
Mayor a 2		Mayor a 1	

Fuente: En base al estudio Hoekstra, A.Y. and Mekonnen, M.M. (2011)

6.1.2. Análisis de Sostenibilidad Huella Hídrica Gris

La HH Gris total de la ciudad, es la suma de las HH Grises cuantificadas en los diferentes sectores de la misma. La sostenibilidad de la HH Gris, se cuantifica con el volumen de agua natural y la HH Gris total de la ciudad. Este valor se denomina índice de contaminación hídrica.

$$\text{Índice de Contaminación Hídrica} = \frac{\sum HH_{Gris}}{\text{Disponibilidad real del agua en la cuenca}}$$

7. RESPUESTA A LA HUELLA HÍDRICA

La formulación de respuestas, es un proceso participativo que debe involucrar a todos los actores relevantes identificados del establecimiento. Se puede iniciar al finalizar la etapa de cuantificación de Huella Hídrica, y mejor aún si se lo hace después de terminar el análisis de sostenibilidad. La formulación de respuestas puede incluir políticas, planes, programas y proyectos a largo, mediano y corto plazo con distintos niveles de inversión, para lograr la reducción de la Huella Hídrica, de la universidad. También se pueden proponer, oportunidades de mejoras para las próximas obras/establecimientos en construcción, arreglos institucionales o ampliaciones.

Para poder lograr una reducción de la Huella Hídrica, se considera fundamental estudiar la sostenibilidad de los tres factores, mencionados anteriormente, y de ser posible, realizar los análisis de sensibilidad de las Huellas Gris, Verde, y Azul. En este cálculo, no se tuvo en cuenta la Huella Hídrica Verde, por lo mencionado con anterioridad.

Los datos de los cálculos de Huella Hídrica que se efectúen anualmente en el establecimiento, permitirán realizar la evaluación de este concepto, más que importante para la protección ambiental y el cuidado de los recursos hídricos.

8. ESTRATEGIAS Y/O PROPUESTAS DE REDUCCIÓN DE LA HUELLA HÍDRICA

A continuación, se presentan potenciales mejoras para disminuir la Huella Hídrica del establecimiento.

8.1. Soluciones Sanitarias

Instalar Sistemas ahorradores de agua en inodoros en el edificio:

a) Inodoros con dispositivo de doble accionamiento:

Los tradicionales funcionan con volúmenes de agua en un rango que va desde los 13 hasta los 23 litros. Los inodoros de bajo consumo o de descarga selectiva trabajan con un máximo de nueve litros de agua. Con el uso de descarga dual se puede reducir el consumo de agua sensiblemente (hasta un 67%).

b) Tanques o cisternas con pulsador o tirador interrumpible:

Los pulsadores interrumpibles permiten detener la descarga presionando nuevamente el mismo botón de accionamiento. Los tiradores interrumpibles se accionan con un mecanismo de tirador que, al jalar de ellos, se quedan levantados y, luego, se interrumpe la descarga simplemente presionándolos nuevamente hacia abajo.

c) Tanques o cisternas con contrapeso:

Tanto a los tanques o cisternas con dispositivos de interrupción como a aquellos que no los tienen puede acoplárseles un contrapeso que rearma el sistema automáticamente y provoca el cierre apresurado del mecanismo, engañándolo y aparentando haber salido toda el agua del tanque, lo que posibilita ahorros de más del 60% del consumo habitual.

d) Recuperación de agua de lluvia:

Con un sistema de recuperación de agua de lluvia podría reducirse considerablemente el consumo total de agua derivado del uso de sanitarios y limpieza

8.2. Lavamanos

Seleccionar tecnologías eficientes en el uso del agua para las instalaciones del establecimiento:

- Grifos temporizados.
- Perlizadores: Están basados en el “efecto Venturi”, que consiste en una aspiración originada en la aceleración del agua al pasar por un estrechamiento en la sección del conducto. De esta forma consigue insuflar aire en su interior y aparenta un caudal muy superior al real. Garantizan un ahorro de agua de entre un 40% y un 70% de acuerdo con la presión de trabajo.
- Grifos electrónicos de activación por infrarrojos: Se activan al detectar la presencia del usuario. Activan el suministro cuando la persona está presente y lo interrumpen cuando se retira. Por esta razón, son posiblemente los más eficientes del mercado.

8.3. Eficiencia Energética

Buenas prácticas en calefacción:

- Un área bien aislada reduce los costos de calefacción entre un 20% y un 40%, a la vez que disminuye la necesidad de refrigeración en verano.
- Es recomendable abrir las ventanas durante las horas soleadas para aprovechar el calor del sol
- La instalación de gomas adhesivas en puertas y ventanas mejora el aislamiento, reducen entre un 5% y un 10% la energía consumida.
- Reemplazar las ventanas comunes por las dobles ventanas o acristalamientos, que permiten ahorrar hasta un 20% de energía en climatización.

- Es recomendable utilizar termostatos y relojes programables para regular la temperatura de la calefacción. En invierno lo ideal es mantener la temperatura entre 19 °C y 20 °C durante el día. La reducción de la temperatura en un grado supone un ahorro de energía de un 8%.

8.4. Buenas prácticas en iluminación

- Emplear lámparas de bajo consumo y fluorescentes. Es necesario sustituir el 25% de las lámparas incandescentes que permanecen encendidas durante más horas al día, por lámparas fluorescentes compactas, se puede reducir hasta un 50% en el consumo eléctrico. Además, las lámparas de bajo consumo duran entre 8 y 10 veces más que las incandescentes convencionales.
- Utilizar al máximo la luz del día abriendo las ventanas, evitando la utilización de artefactos artificiales.
- En lugares de poco uso, es conveniente colocar detectores de presencia para que el encendido sea automático, ahorrando así la energía que se derrocha cuando se deja encendida por olvido.
- Utilizar luces exteriores equipadas con fotocélulas o temporizadores, para que se apaguen solas durante el día.

8.5. Buenas prácticas generales

Para lograr la reducción de la Huella Hídrica además de adoptar las acciones descritas anteriormente, se pueden añadir aspectos generales como los que se detallan a continuación:

- Campañas de concientización.
- Campañas sobre gestión del Recurso Hídrico.
- Campañas de contextualización y difusión.
- Difusión de resultados.

- Disminuir el consumo del uso de papel, electricidad y recursos hídricos.
- Realizar actividades recreativas incentivando la concientización y protección ambiental.
- Buenas Prácticas en los laboratorios.

9. BIBLIOGRAFÍA

- <http://www.ada.gba.gov.ar/sites/default/files/2019-04/Resoluci%C3%B3n%20336-03%20ADA%20parametros%20de%20descarga%20adminisble.pdf>
- <https://waterfootprint.org/media/downloads/ManualEvaluacionHH.pdf>
- <http://fluidos.eia.edu.co/hidraulica/articulos/es/flujoentuberias/dotacionagua/determinaciondeladotaciondeagua.html>