

PROYECTO DE DISEÑO II



Pontificia Universidad
JAVERIANA
Cali

FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL E INDUSTRIAL

DOCENTE:

ING. JOSE JAVIER MARTÍNEZ

PRESENTADO POR:

ALEJANDRA LÓPEZ VARGAS

SANTIAGO DE CALI

2024 – 2

Contenido

Resumen.....	10
Introducción.....	11
1. Agua en los edificios.....	14
1.1. Aparatos existentes que implementan agua y su eficiencia.....	16
1.2. Demanda de agua.....	17
1.3. Abastecimiento de la demanda de agua potable en edificios nuevos.....	22
1.4. El nexo entre agua, energía, alimentos y ecosistemas.....	24
2. Neutralidad hídrica, el problema.....	26
2.1. Concepto de neutralidad hídrica.....	26
2.2. Metodología.....	27
2.2.1. Marco sistémico de diseño y evaluación de CityPlan-Water.....	27
2.2.2. Neutralidad hídrica, concepto de diseño sistémico.....	28
2.2.3. Índice de neutralidad hídrica.....	30
2.2.4. Comprender la forma urbana de la neutralidad hídrica mediante datos espaciales.....	31
2.2.5. Indicadores de seguridad del agua en las zonas urbanas.....	32
2.2.6. Evaluación de la neutralidad hídrica.....	32
2.3. Aplicación en el Reino Unido.....	33
3. Aplicación del concepto de neutralidad hídrica a la ciudad de Turín.....	38
3.1. Recolección de aguas lluvias (RWH).....	44
3.1.1. Zonas de aplicación de la recolección de aguas lluvias.....	45
3.1.2. Componentes de un sistema de recolección de aguas lluvias de techo.....	46
3.1.3. Eficacia de la recolección de aguas lluvias.....	49
3.1.4. Criterios utilizados para seleccionar el sistema de recolección de aguas lluvias para uso doméstico.....	50
3.1.5. Demanda de agua no potable.....	50
3.1.6. Suministro de agua de lluvia.....	51
3.1.7. Método YAS.....	53

Consideraciones de referencia para diseñar el tamaño del tanque de almacenamiento	60
Dimensionamiento del depósito RWH - Escenario A	61
Dimensionamiento del depósito RWH - Escenario B	61
3.2. Concepto de edificio representativo	61
3.2.1. Método de los edificios representativos	62
3.2.1.1. Datos utilizados para clasificar los edificios	63
3.2.1.2. Determinación de edificios representativos	65
Método de determinación de edificios representativos - Resumen	65
Habitantes / Ocupantes	66
Superficie del techo	68
3.2.1.3. Asignación de edificios a las áreas submunicipales de Turín	73
Área submunicipal A (barrios Centro y Crocetta)	73
Área submunicipal B (barrios de Santa Rita y Mirafiori Nord)	74
Área submunicipal C (barrios de San Paolo, Cenisia, Cit Turin y Pozzo Strada)	76
Área submunicipal D (barrios de San Donato, Parella y Campidoglio)	78
Área submunicipal E (barrios de Borgo Vittoria, Madonna di Campagna, Lanzo, uento y Le Vallette)	79
Área submunicipal F (barrios Regio Parco, Barca, Bertolla, Barriera di Milano, Rebaudengo, Falchera y Villaretto)	81
Área submunicipal G (barrios de Aurora, Vanchiglia, Sassi y Madonna del Pilone)	82
Área submunicipal H (barrios de Borgo Po, San Salvario y Cavoretto)	84
Área submunicipal L (barrios de Nizza Millefonti, Lingotto y Filadelfia)	85

Área submunicipal M (barrio Mirafiori Sud)	87
3.3. Ahorro de agua - Método de cálculo	89
3.3.1. Evaluación inicial	89
3.3.1.1. Demanda básica de agua de los edificios existentes	91
3.3.1.2. Evaluación del potencial de recogida de aguas pluviales	92
3.3.1.3. Evaluación del potencial de ahorro de agua gracias a la implantación de electrodomésticos eficientes	94
3.3.1.4. Ahorro de agua a partir de la evaluación de referencia - Hipótesis 1...	95
3.3.2. Integración de la recogida de agua de lluvia, electrodomésticos eficientes y línea de base Gracias.	96
3.3.2.1. Ahorro de agua gracias a la integración de RWH y electrodomésticos eficientes - Escenario	2
3.3.2.1. Ahorro de agua gracias a la integración de RWH y electrodomésticos eficientes - Escenario	97
3.3.3. Integración de la recogida de agua de lluvia, los electrodomésticos eficientes y las gracias eficientes - Escenario 3	98
3.4. Enfoque de neutralidad hídrica	98
4. Resultados y discusión	99
5. Conclusión	117
Referencias	119

Lista de figuras

Figura 1. Distribución de la demanda normal de agua de los hogares.	20
Figura 2. Distribución de la demanda eficiente de agua en los hogares.	21
Figura 3. Impacto de las cubiertas verdes multicapa en el nexo entre agua, energía, alimentos y medio ambiente.	24
Figura 4. Marco de diseño del sistema WN.	28
Figura 5. Concepto de diseño sistémico WN.	30
Figura 6. Posición de Turín en el mapa de Italia.	38
Figura 7. Evolución anual de la población de Turín.	39
Figura 8. Gráfico climático de Turín (Media 1991-2020).....	40
Figura 9. Cambios estacionales de la temperatura media en los modelos EURO-CORDEX... ..	41
Figura 10. A - Densidad de viviendas y B - Porcentaje de ciudadanos económicamente asistidos de los barrios de Turín.	42
Figura 11. Barrios de Turín.....	43
Figura 12. Sistemas de recogida de agua de lluvia a pequeña escala y usos.	45
Figura 13. Áreas de aplicación doméstica de RWH.	46
Figura 14. Principales componentes de un sistema RWHS doméstico.....	48
Figura 15. Componentes secundarios del RWHSS.....	48
Figura 16. Elementos que intervienen en el esquema de eficiencia del RWH. Precipitación - p, Coeficiente de escorrentía - Φ , y Primera descarga - ff.....	49
Figura 17. Distribución de la demanda doméstica normal de agua potable y no potable.	50
Figura 18. Distribución de la demanda doméstica eficiente de agua potable y no potable.....	51
Figura 19. Altura media mensual de las precipitaciones para un periodo de 30 años (1990-2020).	52
Figura 20. Altura total mensual de las precipitaciones (mm) - 1990.....	53
Figura 21. Altura total mensual de las precipitaciones (mm) - 2020.....	53
Figura 22. Funcionamiento del depósito de almacenamiento RWH.....	54
Figura 23. Representación del método YAS Representación del método YAS.	58
Figura 24. Mapa catastral de Turín con los límites de las áreas submunicipales y una lista con sus respectivos nombres.	64
Figura 25. Frecuencias porcentuales de los edificios del área submunicipal A y frecuencias normalizadas $fknorm$ relativas a la suma de las que superan el umbral del 10%.....	74
Figura 26. Frecuencias porcentuales de edificios en el área submunicipal B y normalizadas frecuencias $fknorm$ relativas a la suma de las que superan el umbral del 10%.....	75
Figura 27. Frecuencias porcentuales de los edificios del área submunicipal C y frecuencias normalizadas $fknorm$ relativas a la suma de las que superan el umbral del 10%.....	77
Figura 28. Frecuencias porcentuales de los edificios del área submunicipal D y frecuencias normalizadas $fknorm$ relativas a la suma de las que superan el umbral del 10%.....	79

Figura 29. Frecuencias porcentuales de edificios en el área submunicipal E.....	80
Figura 30. Frecuencias porcentuales de edificios en el área submunicipal F.....	82
Figura 31. Frecuencias porcentuales de edificios en el área submunicipal G.	83
Figura 32. Frecuencias porcentuales de edificios en el área submunicipal H.	85
Figura 33. Frecuencias porcentuales de los edificios del área submunicipal L y frecuencias normalizadas <i>fknorm</i> relativas a la suma de las que superan el umbral del 10%.....	86
Figura 34. Frecuencias porcentuales de edificios en el área submunicipal M.....	88
Figura 35. Distribución de la demanda de agua no potable de Turín (por distritos).	100
Figura 36. Distribución de la demanda de agua no potable de Turín (basada en la tipología de edificios).	101
Figura 37. NPWS (%) (izquierda) y Tamaño de gracias - S (m ³) a través de diferentes escenarios - Distrito A.	103
Figura 38. NPWS (%) (izquierda) y Tamaño de agradecimiento - S (m ³) a través de diferentes escenarios - Distrito B.	103
Figura 39. NPWS (%) (izquierda) y Tamaño de agradecimiento - S (m ³) a través de diferentes escenarios - Distrito C.	104
Figura 40. NPWS (%) (izquierda) y Tamaño de agradecimiento - S (m ³) a través de diferentes escenarios - Distrito D.....	104
Figura 41. NPWS (%) (izquierda) y Tamaño de agradecimiento - S (m ³) a través de diferentes escenarios - Distrito E.....	105
Figura 42. NPWS (%) (izquierda) y Tamaño de agradecimiento - S (m ³) a través de diferentes escenarios - Distrito F.....	105
Figura 43. NPWS (%) (izquierda) y Tamaño de agradecimiento - S (m ³) a través de diferentes escenarios - Distrito G.....	106
Figura 44. NPWS (%) (izquierda) y Tamaño de agradecimiento - S (m ³) a través de diferentes escenarios - Distrito H.....	106
Figura 45. NPWS (%) (izquierda) y Tamaño de agradecimiento - S (m ³) a través de diferentes escenarios - Distrito L.....	107
Figura 46. NPWS (%) (izquierda) y Tamaño de agradecimiento - S (m ³) a través de diferentes escenarios - Distrito M.....	107
Figura 47. Combinaciones del número de edificios a ampliar de cada tipo	114
Figura 48. Combinaciones del número de edificios a ampliar de cada tipo basadas en los edificios existentes de Turín.	116

Lista de tablas

Tabla 1. Distribución normal del consumo de agua en edificios residenciales.....	19
Tabla 2. Coeficientes de reducción del consumo - R, para cada tecnología, y los respectivos volúmenes ahorrados.....	20
Tabla 3. Distribución eficiente del consumo de agua en edificios residenciales gracias a tecnologías adecuadas.....	20
Tabla 4. Uso del agua en el hogar: una mirada hacia atrás y hacia delante 50 años. Los diferentes usos del agua se han codificado por colores: tecnología (en azul) o comportamiento (en verde), pasado en texto oscuro y futuro en texto claro.....	22
Tabla 5. Opciones de diseño para la neutralidad hídrica.....	29
Tabla 6. Propiedades de la forma urbana relacionadas con WN	31
Tabla 7. Escenarios WN para CityPlan-Water en Londres.....	34
Tabla 8. Opciones de diseño WN aplicadas únicamente a nuevos desarrollos urbanos.	35
Tabla 9. Opciones de diseño WN para la rehabilitación de edificios existentes	35
Tabla 10. Opciones de diseño WN aplicadas a nuevos desarrollos urbanos y edificios existentes (fases de rehabilitación).	36
Tabla 11. WNI para cada escenario WN.....	37
Tabla 12. Parámetros de entrada para la evaluación del potencial de RWH.....	55
Tabla 13. Profundidad diaria de la lluvia y datos diarios de la demanda de agua.	55
Tabla 14. Cálculo del balance hídrico - método YAS	56
Tabla 15. Resultados de la simulación del depósito RWH.	59
Tabla 16. Índices de eficiencia de los RWH.	60
Tabla 17. Clasificación óptima de los edificios (deseada).....	63
Tabla 18. Estadísticas sobre edificios clasificados por número de apartamentos.....	64
Tabla 19. Número de edificios de viviendas en Turín, clasificados por número de plantas y apartamentos.....	65
Tabla 20. Clasificación Istat de edificios residenciales según el número de apartamentos.	66
Tabla 21. Número de apartamentos asignados a cada clase limitada.....	67
Tabla 22. Frecuencias porcentuales de los edificios residenciales de Turín, clasificados según el número de plantas y de viviendas/apartamentos (frecuencias aproximadas al número entero).	69
Tabla 23. Edificios representativos de las clases 2 a 6.	71
Tabla 24. Posibles edificios representativos de la clase 1.....	72
Tabla 25. Datos de población: Área submunicipal A /Barrios Centro y Crocetta).....	73
Tabla 26. Edificios en el área submunicipal A.	73
Tabla 27. Valores de $fknormy$ la correspondiente cantidad de edificios. Área submunicipal A.	73
Tabla 28. edificios representativos del área submunicipal A.....	74

Tabla 29. Datos de población: Área submunicipal B / Barrios de Santa Rita y Mirafiori Nord.	74
Tabla 30. Edificios en el área submunicipal B.	75
Tabla 31. Valores de <i>fknorm</i> y la correspondiente cantidad de edificios. Área submunicipal B.	75
Tabla 32. Edificios representativos del área submunicipal B.	76
Tabla 33. Datos de población: Área submunicipal C / barrios de San Paolo, Cenisia, Cit Turin y Pozzo Strada.	76
Tabla 34. Edificios en el área submunicipal C.	76
Tabla 35. Valores de <i>fknorm</i> y la correspondiente cantidad de edificios. Área submunicipal C.	76
Tabla 36. Edificios representativos del área submunicipal C.	77
Tabla 37. Datos de población: Área submunicipal D / Barrios de San Donato, Parella y Campidoglio.	78
Tabla 38. Edificios del área submunicipal D.	78
Tabla 39. Valores de <i>fknorm</i> y la correspondiente cantidad de edificios. Área submunicipal D.	78
Tabla 40. Edificios representativos del área submunicipal D.	79
Tabla 41. Datos de población: Área submunicipal E / barrios de Borgo Vittoria, Madonna di Campagna, Lanzo, uento y Le Vallette.	79
Tabla 42. Edificios del área submunicipal E.	80
Tabla 43. Edificios representativos del área submunicipal E.	80
Tabla 44. Datos de población: Área submunicipal F / Barrios Regio Parco, Barca, Bertolla, Barriera di Milano, Rebaudengo, Falchera y Villaretto.	81
Tabla 45. Edificios en el área submunicipal F.	81
Tabla 46. Edificios representativos del área submunicipal F.	82
Tabla 47. Datos de población: Área submunicipal G / Barrios de Aurora, Vanchiglia, Sassi y Madonna del Pilone.	83
Tabla 48. Edificios del área submunicipal G.	83
Tabla 49. Edificios representativos del área submunicipal G.	83
Tabla 50. Datos de población: Área submunicipal H / Barrios de Borgo Po, San Salvario y Cavoretto.	84
Tabla 51. Edificios del área submunicipal H.	84
Tabla 52. Edificios representativos del área submunicipal H.	85
Tabla 53. Datos de población: Área sub-municipal L / Nizza Millefonti, Lingotto, y barrios de Filadelfia.	86
Tabla 54. Edificios del área submunicipal L.	86
Tabla 55. Valores de <i>fknorm</i> y la correspondiente cantidad de edificios. Área submunicipal L.	86

Tabla 56. Edificios representativos del área submunicipal L.	87
Tabla 57. Datos de población: Área submunicipal M / Barrio Mirafiori Sud.....	87
Tabla 58. Edificios del área submunicipal M.	87
Tabla 59. Edificios representativos del área submunicipal M.	88
Tabla 60. Distribución del parque inmobiliario de Turín.....	90
Tabla 61. Demanda de agua de referencia de Turín para los edificios existentes.....	92
Tabla 62. Evaluación del potencial de recogida de agua de lluvia para cada edificio representativo, distrito.	93
Tabla 63. Evaluación del agua ahorrada anualmente para cada edificio y distrito representativos.	95
Tabla 64. Evaluación de la media anual de agua ahorrada para cada edificio representativo, distrito.	96
Tabla 65. Demanda eficiente de agua de los edificios existentes en Turín.....	97
Tabla 66. Potencial medio anual de RWH de cada edificio representativo.	101
Tabla 67. Potencial anual de referencia para RWH en Turín (instalaciones de consumo de agua estándar)..	102
Tabla 68. Ahorro medio anual de agua de cada edificio representativo (Implementación de RWH - Escenario 1)	108
Tabla 69. Ahorro medio anual de agua en Turín (instalaciones de consumo de agua estándar).108	
Tabla 70. Ahorro medio anual de agua de cada edificio representativo (Aplicación de aparatos de ahorro de agua)	109
Tabla 71. Ahorro de agua anual de referencia derivado de la implantación de electrodomésticos eficientes en Turín.....	109
Tabla 72. Ahorro medio anual de agua de cada edificio representativo (Implementación de RWH con aparatos eficientes - Escenario 2).....	109
Tabla 73. Ahorro anual de agua del sistema RWH con electrodomésticos eficientes en el uso del agua en Turín (Escenario 2).....	110
Tabla 74. Ahorro medio anual de agua de cada edificio representativo (Implementación de RWH con aparatos eficientes - Escenario 3).....	110
Tabla 75. Ahorro anual de agua del sistema RWH con electrodomésticos eficientes en el uso del agua en Turín (Escenario 3).....	111
Tabla 76. Edificios a ampliar de cada tipo, para cada distrito de Turín.....	113
Tabla 77. Número medio de edificios a ampliar de cada tipo de OR existente.	113
Tabla 78. Posibles combinaciones de Cantidad de edificios a ampliar de cada tipo para cada distrito de Turín.....	113
Tabla 79. Edificios a ampliar en función de los edificios existentes en Turín y del ahorro medio anual.....	115
Tabla 80. Posibles combinaciones de Cantidad de edificios a ampliar de cada tipo para cada distrito de Turín.....	115

Resumen

La escasez de agua es una preocupación creciente, ya que más del 40% de la población mundial vive en zonas donde la demanda de agua supera la oferta. Las ciudades deben adoptar prácticas sostenibles para garantizar la disponibilidad de recursos para las generaciones futuras. Alcanzar la neutralidad hídrica, es decir, equilibrar la demanda de agua mediante su ahorro, se ha convertido en un objetivo fundamental para las zonas urbanas que se enfrentan al crecimiento demográfico y a las presiones medioambientales. Aunque existen numerosos métodos para lograr este equilibrio, desde el reciclaje avanzado del agua hasta los sistemas de aguas grises, los edificios residenciales siguen siendo un punto de partida crucial. Esta tesis se centra en dos estrategias clave: Los sistemas de recogida de agua de lluvia (RWH) y el uso de electrodomésticos eficientes en el consumo de agua en los edificios existentes.

La tesis adopta un enfoque sistemático para evaluar cómo pueden contribuir la renovación de agua potable y los electrodomésticos eficientes al ahorro de agua en el sector residencial de Turín. Mediante la adaptación de los edificios residenciales existentes, el ahorro de agua puede redirigirse para abastecer la demanda de los nuevos desarrollos, evitando así la necesidad de aumentar la extracción de agua de fuentes naturales. Los sistemas RWH recogen y almacenan el agua de lluvia para usos domésticos no potables, como las cisternas de los inodoros y la lavandería, mientras que los electrodomésticos eficientes reducen el consumo de agua potable.

El estudio emplea el método del Edificio Representativo, analizando diferentes tipologías de edificios en los barrios de Turín. Los resultados demuestran que el potencial de neutralidad hídrica varía significativamente en función del tipo de edificio y su ubicación. Por ejemplo, en barrios como Crocetta y Centro, el ahorro de agua de los edificios rehabilitados (tipología de edificio 1) puede abastecer más que un edificio nuevo de tipología 6 en zonas de colinas, donde la demanda de agua es significativamente menor.

Sin embargo, la consecución de la neutralidad hídrica no es uniforme en todos los barrios. En las zonas con mayor demanda de agua, como el centro de la ciudad, son necesarios mayores esfuerzos y aplicar estrategias que superen las barreras del edificio, como las campañas de BGI y de concienciación social, para alcanzar el objetivo de neutralidad hídrica y mejorar el potencial de desarrollo residencial.

Aunque con las tecnologías actuales es posible realizar avances significativos hacia la neutralidad hídrica, es necesario seguir investigando para explorar la integración de los sistemas inteligentes y las innovaciones emergentes en materia de ahorro de agua. Además, los estudios futuros deberían analizar la variabilidad de la demanda de agua en las distintas estaciones y desarrollar estrategias específicas para cada región con el fin de mejorar la eficiencia hídrica y alcanzar la neutralidad hídrica en los entornos urbanos.

Introducción

En los últimos años, la necesidad de adaptarse a los retos que plantean el crecimiento demográfico y el cambio climático desde la perspectiva de la gestión del agua ha ido en aumento. Se han agravado problemas como las inundaciones, la escasez de agua, que afecta a más del 40% de la población mundial [1], y el deterioro de la calidad del agua. Estas presiones están afectando la disponibilidad de este preciado recurso y, específicamente, tendrán efectos a largo plazo sobre la capacidad de la industria del agua para proporcionar servicios asequibles y acueductos y sistemas de aguas residuales resilientes, lo que se ha convertido en un área crítica de preocupación para las ciudades debido al crecimiento de la población, la urbanización y los cambios en el estilo de vida de las personas, considerando que la demanda de agua potable ha aumentado al mismo ritmo que la demanda de vivienda. Por ejemplo, según datos de 2018, en el Reino Unido, los hogares siguen consumiendo alrededor de 140 litros de agua per cápita al día. En los próximos 50 años, se espera que su población aumente en aproximadamente 10 millones de personas, lo que añadirá una demanda de agua de más de medio billón de litros de agua al año, lo que representa un aumento del 10 % en la cantidad total de agua extraída del medio ambiente [2]. Todos estos problemas deben abordarse para garantizar que todo el mundo tenga acceso a un agua segura y fiable.

Teniendo en cuenta las condiciones actuales, es evidente que la adopción de enfoques que aprovechen los recursos hídricos ecológicos y las estrategias de gestión desempeñan un papel vital a la hora de abordar el impacto de los problemas relacionados con el agua en las personas y garantizar un suministro sostenible de agua limpia para las zonas urbanas residenciales. Una forma prometedora de lograr un equilibrio entre la demanda de nuevas construcciones y la conservación del agua es a través de un concepto denominado neutralidad hídrica, que se define en un marco de Neutralidad Hídrica desarrollado en el Reino Unido de la siguiente manera: "Para cada nueva construcción, la demanda de agua debe reducirse al mínimo y, a continuación, compensarse la demanda restante, de modo que la demanda total de agua del suministro público en una región definida sea la misma después de la construcción que antes" [3]. Se trata de encontrar formas inteligentes y precisas de controlar el consumo de agua potable y, al mismo tiempo, permitir nuevos desarrollos [4].

"Reducir el uso del agua, instalar sistemas de reutilización del agua y compensar cualquier demanda restante en la región local existente" son los pasos principales para lograr la neutralidad hídrica [3], pero hay una variedad de estrategias de gestión del agua verde para estos fines, como la instalación de electrodomésticos y accesorios eficientes en el uso del agua, la medición inteligente, la cultura del ahorro de agua, la recogida de agua de lluvia, el reciclaje de aguas grises o residuales. Todas ellas forman parte del objetivo de agua cero y, a nivel global, también contribuyen a los Objetivos de Desarrollo Sostenible 11, 12, 13, Ciudades y comunidades sostenibles, Consumo y producción responsables y Acción por el clima, respectivamente [1]. Estas medidas garantizan que las necesidades de agua de los nuevos proyectos de edificación residencial

puedan satisfacerse mediante el reciclado y el ahorro de agua en las urbanizaciones existentes. También es importante tener en cuenta que todas estas medidas requieren un cambio en la mentalidad y el comportamiento de las personas para que sean eficaces y así influenciar la elección de productos con demanda reducida por parte de los consumidores actuales y futuros y cambiar las prácticas de uso del agua [2].

Los sistemas de recogida de aguas pluviales son una de las soluciones más sostenibles y accesibles, ya que pueden ahorrar miles de litros de agua para usos residenciales no potables, como las cisternas de los inodoros, la colada y las actividades de jardinería, gracias a su gran capacidad para almacenar agua. Este enfoque no sólo reduce significativamente los niveles de consumo de agua potable y, por tanto, la demanda sobre el acueducto, sino que también ayuda especialmente a amenazar la gestión de las aguas pluviales, que es muy importante para reducir el riesgo de inundaciones urbanas. Además, la instalación de dispositivos y accesorios de ahorro de agua, como duchas de bajo caudal, inodoros de doble descarga, lavadoras de bajo consumo y lavavajillas con funciones de ahorro de agua, puede reducir significativamente el consumo doméstico de agua en los edificios residenciales, lo que puede beneficiar a los ámbitos medioambiental, económico y social. Principalmente, amplía la calidad del servicio al cliente al garantizar un suministro de agua fiable y sostenible, limitando las interrupciones del suministro. Además, al establecer este tipo de programas, se puede mejorar la asequibilidad, garantizando así el acceso al agua básica a una parte más amplia de la población. Para aplicar una buena gestión de los recursos hídricos es necesaria una visión que exija medidas proactivas en relación con el uso del agua.

Con la introducción de estas infraestructuras y estrategias de gestión ecológica del agua como primer paso en la planificación urbana, las ciudades podrían aspirar a alcanzar el punto de neutralidad hídrica en el que la demanda y el suministro de agua para la ciudad estén casi equilibrados, mientras que, a largo plazo, contribuye al desarrollo urbano sostenible y a la resiliencia al reducir también el consumo de energía y las emisiones de carbono para responder a las crisis del cambio climático, ya que frena la producción de aguas residuales y reduce la presión sobre los recursos hídricos.

El informe de Ofwat de 2018 destaca el potencial de ahorro significativo de agua que se obtiene de la implantación de la neutralidad hídrica en las ciudades como norma para las nuevas promociones de viviendas domésticas en un plazo relativamente corto [3]. La adopción de métodos de conservación reduce la vulnerabilidad del suministro de agua frente a riesgos catastróficos como fluctuaciones o perturbaciones del suministro. Hace que los hogares sean menos propensos a consumir agua y energía en mayores cantidades, lo que se traduce en un ahorro en las tarifas y facturas totales de los clientes y, en última instancia, en una disminución del coste global de explotación. Con la conservación del agua como primer paso, este enfoque proactivo contribuye igualmente a los objetivos de mitigación del cambio climático, al reducir el consumo

de energía y las emisiones de carbono. Estos programas de conservación consisten tanto en la reparación de fugas como en el uso de métodos de ahorro de agua, como los que se utilizarán en este documento (RWH y electrodomésticos ahorradores), para que se cubra la amplia brecha existente entre la oferta y la demanda. Precisamente, estos aspectos constituyen la base para la asimilación de las medidas de conservación del agua como parte de las políticas medioambientales generales, lo que convierte el objetivo de una gestión eficaz de los recursos hídricos en una prioridad persistente de la sociedad contemporánea.

Para garantizar la utilización eficiente de nuestros recursos hídricos y la aplicación eficaz de las estrategias de agua verde que acabamos de mencionar, es crucial actualizar la normativa urbanística de las ciudades. En concreto, debe exigirse a los nuevos desarrollos urbanísticos que cumplan las normas de gestión y eficiencia en el uso del agua, lo que podría lograrse mediante la implantación de sistemas comunitarios de recogida de agua de lluvia y reutilización del agua [2], y la implantación de electrodomésticos ahorradores de agua. Esto no sólo ayudaría a conservar el agua, sino que también garantizaría que los edificios utilizan de forma sostenible este valioso recurso.

Dada la compleja situación hídrica a la que se enfrentan hoy en día los principales centros urbanos y considerando la eficacia de las técnicas de gestión de las aguas verdes, el principal propósito de esta tesis es analizar la probabilidad y los efectos de poner en marcha sistemas de recogida de aguas pluviales y equipos domésticos eficientes en el uso del agua en Turín (Italia) para alcanzar la neutralidad hídrica. Los objetivos principales son dos: En primer lugar, cuantificar el potencial real de ahorro de agua potable en los edificios residenciales existentes si todos estuvieran equipados con sistemas de recogida de aguas pluviales (RWH) y equipos eficientes en el uso del agua y, en segundo lugar, determinar la posibilidad de alcanzar la neutralidad hídrica durante el nuevo desarrollo residencial real de la propia ciudad de Turín, adoptando estas estrategias de conservación del agua tanto a escala del edificio como de la ciudad. Este ahorro de agua se utilizaría para satisfacer la demanda de agua potable de los nuevos edificios residenciales de la ciudad.

Esta tesis centra su atención en la ciudad de Turín y pretende saber cómo conseguir la neutralidad hídrica utilizando el agua potable ahorrada en los edificios residenciales existentes, que se obtendría si todos estuvieran equipados con electrodomésticos ahorradores de agua y un sistema de recogida y distribución de agua de lluvia (sistema RWH). Ese ahorro de agua se utilizaría para satisfacer la demanda de agua potable de los nuevos edificios residenciales de la ciudad. Los costes e implicaciones potenciales están fuera del alcance de este trabajo de tesis y requerirán una investigación más profunda para garantizar un conocimiento completo de su impacto y la posibilidad de planificar en consecuencia.

1. El agua en los edificios

Las estrategias de agua verde pueden aplicarse para hacer que los edificios residenciales sean más eficientes en términos de consumo de agua potable y su aplicación tiene impactos potenciales en diferentes sectores, como el Agua, la Energía, la Alimentación y el Ecosistema y sus interdependencias [5].

Hay varias cuestiones relacionadas con el agua en los edificios residenciales, como el consumo de agua, los factores que influyen y las oportunidades de conservación. El uso de dispositivos de ahorro de agua se presenta como una técnica de conservación del agua en los edificios residenciales que ha demostrado reducciones significativas en el consumo de agua, con un estudio que informa de una reducción de hasta el 83,26% en edificios verticales [6]. Otro estudio analiza el potencial de la recogida de agua de lluvia, los accesorios de fontanería que ahorran agua, la reutilización de aguas grises y el agua condensada de los aparatos de aire acondicionado para contribuir a un ahorro significativo de agua en los edificios [7]. Por todo ello, se han evaluado las implicaciones medioambientales del consumo de agua durante el ciclo de vida en edificios residenciales plurifamiliares, revelando impactos sustanciales durante la fase de tratamiento del agua bruta, lo que subraya la necesidad de prácticas sostenibles de gestión del agua [8], que al mismo tiempo desempeñen un papel significativo en la creación de ciudades resilientes y sostenibles desde el punto de vista hídrico.

Los estudios han identificado varios factores que influyen en el consumo de agua de los edificios residenciales, como el número de residentes, las precipitaciones mensuales, la temperatura máxima diaria y las características de los edificios, como la antigüedad, la superficie total y la presencia de sistemas alternativos de suministro de agua.[9] [10]. Se ha observado que factores sociodemográficos como los ingresos, el tamaño de la familia y la presencia de niños tienen una relación significativa con el consumo de agua residencial [11]. Los factores de comportamiento, incluidas las preferencias individuales en las actividades que consumen agua, pueden influir en el consumo total de agua per cápita en los edificios residenciales. Un estudio sobre edificios residenciales urbanos de varios pisos descubrió que la presencia de inquilinos en varias zonas, como la cocina y el baño, así como actividades específicas de consumo de agua, contribuían en gran medida a la variabilidad del consumo total de agua per cápita [12].

Otra cuestión que puede tenerse en cuenta al hablar del agua en los edificios, pero que no se desarrollará en este documento, es el contenido de agua virtual de los edificios, que considera el agua utilizada en la producción/construcción del edificio. Se ha estudiado esta cuestión, destacando la importancia de comprender los requisitos de agua incorporada y operativa de los edificios residenciales para las prácticas de diseño sostenible [13].

Las oportunidades de ahorro de agua en los edificios residenciales incluyen la instalación de accesorios que ahorren agua, la comprensión de los factores que impulsan el consumo de agua en

interiores [14]. A pesar de los avances tecnológicos en aparatos que ahorran agua, el comportamiento individual y la percepción del confort siguen influyendo en la eficiencia hídrica [15].

1.1. Aparatos existentes que implementan agua y su eficiencia

En Italia, como en muchos otros países, los edificios residenciales representan una parte importante del consumo total de agua y energía. Los tipos de aparatos utilizados en estos edificios y su eficiencia pueden influir enormemente en este consumo. Las variaciones en las instalaciones y aparatos de agua, junto con las diferentes rutinas y preferencias de los usuarios, dan lugar a altos niveles de variabilidad en el consumo de agua residencial, lo que subraya la necesidad de adoptar comportamientos de conservación y la adopción de instalaciones más eficientes [16].

Los electrodomésticos e instalaciones eficientes pueden contribuir significativamente a reducir el consumo de agua en los edificios residenciales. Por ejemplo, las lavadoras de alta eficiencia y los inodoros de doble descarga pueden reducir el consumo de agua hasta un 50% y un 67%, respectivamente, en comparación con los modelos tradicionales [17]. En la actualidad, los edificios residenciales italianos suelen utilizar lavadoras de carga frontal, ya que suelen consumir menos agua y energía que los modelos de carga superior. Muchas lavadoras modernas incorporan diversas funciones de ahorro de energía. Los inodoros suelen ser la fuente de la mayor parte de las aguas residuales de los edificios residenciales, contribuyendo a casi el 30% del consumo medio de agua potable. Los inodoros tradicionales siguen siendo comunes y pueden consumir una cantidad significativa de agua, de 3,5 a 7 galones por descarga. Pero hay una tendencia creciente a instalar inodoros de alta eficiencia (HET), es decir, inodoros de bajo caudal o de doble descarga que permiten a los usuarios seleccionar la cantidad de agua adecuada para cada descarga, consumiendo así menos agua. El modelo moderno de doble descarga consume entre 2.6 litros y 4 litros por descarga, lo que supone sólo un 20% en comparación con el inodoro antiguo [18].

Los grifos tradicionales pueden tener caudales más altos que los grifos con la etiqueta WaterSense, que están diseñados para consumir menos agua sin comprometer el rendimiento. Los grifos de bajo caudal se fabrican específicamente para ahorrar agua y mantener la presión del agua [19]. Los dispositivos con sensores de agua que pueden incorporarse a lavabos, grifos y otros accesorios del baño reducen el caudal de agua en un 30% respecto al caudal estándar [18], lo que reduce el consumo de agua sin sacrificar la presión del agua. Por otro lado, la introducción de aireadores en grifos tradicionales que funcionan a una velocidad media de 15 litros/minuto puede reducir la velocidad a 6 litros/minuto [20]. Esta técnica puede ahorrar el 50% del agua utilizada al permitir que el aire del agua cubra un área más amplia, mejorando así la eficacia del lavado pero, al mismo tiempo, reduciendo el caudal de agua [21].

Los cabezales de ducha antiguos pueden tener caudales más altos, lo que aumenta el consumo de

agua. Los cabezales de ducha con la etiqueta WaterSense y los de bajo caudal pueden contribuir al ahorro de agua. Sustituir los cabezales de ducha tradicionales por otros eficientes, como los que llevan la etiqueta WaterSense o los de bajo caudal, puede ayudar a ahorrar hasta 19 litros de agua al día, con un potencial de ahorro de agua de hasta un 50% en comparación con las duchas normales de flujo libre [18]. El último electrodoméstico que hay que tener en cuenta es el lavavajillas; los más antiguos pueden consumir más agua por ciclo que los modelos más nuevos y eficientes energéticamente. Estos electrodomésticos suelen venir con diferentes opciones de ciclo de lavado para optimizar el uso del agua y la energía.

Además de los aparatos que ahorran agua, los sistemas de recogida de agua de lluvia también pueden contribuir a la eficiencia hídrica. Para reducir la dependencia y la presión sobre los suministros municipales de agua y disminuir el riesgo de inundaciones urbanas, en lugar de enviar toda el agua de lluvia como escurrimiento al alcantarillado, estos sistemas la captan en los tejados de los edificios y la almacenan en depósitos para su posterior distribución y uso con la ayuda de tuberías. El diámetro y el material de las tuberías se diseñan en función de la superficie del tejado y de la intensidad de las precipitaciones en la región concreta. Estos y otros factores, como la demanda de agua no potable de los ocupantes del edificio, la estación seca, los costes y la disponibilidad de espacio, afectan al tamaño del depósito. Al mismo tiempo, esta tecnología de conservación del agua se considera rentable, con bajos costes de instalación y mantenimiento, salvo el coste de limpieza periódica.

La recogida de agua de lluvia es una técnica convencional de ahorro de agua que a menudo se ignora, pero un pequeño depósito de agua que recogiera la precipitación anual en un hogar familiar podría reducir la demanda de agua en un 100%. Las ciudades tienen un gran potencial para recoger agua de lluvia, sobre todo porque una gran parte de las zonas urbanas está cubierta por tejados o superficies impermeables. [22]. En zonas con precipitaciones adecuadas, los sistemas de RWH pueden abastecer una parte significativa de las necesidades de agua de un edificio [17]. El agua de lluvia puede utilizarse para diversos usos domésticos no potables, como las cisternas de los inodoros, la jardinería, la colada y la limpieza del hogar. Según un estudio realizado en Sicilia, la captación de agua de lluvia puede cubrir hasta el 80% de la demanda de agua de los edificios residenciales, dependiendo del clima y del tamaño del depósito de agua de lluvia [23].

1.2. Demanda de agua

Varios factores influyen en las pautas de consumo de agua de los edificios residenciales. Dentro de los factores ambientales, los estudios han demostrado que el clima, incluidas las precipitaciones y la temperatura, influye en el consumo de agua de los hogares [24]. Como se presenta en [25], varios estudios han demostrado que las variables meteorológicas, como la temperatura, afectan significativamente al consumo de agua, con aumentos en la temperatura que normalmente conducen a un mayor consumo de agua (Ashoori et al. 2016; Toth et al. 2018; Manouseli et al.

2019; Xenochristou et al. 2020). Sin embargo, los patrones de demanda de agua también se ven afectados por factores sociodemográficos, tipos de usuarios y fluctuaciones diarias, por lo que es esencial tener en cuenta estos aspectos a la hora de predecir el consumo futuro de agua (Mamade et al. 2014; Fiorillo et al. 2020; Xenochristou et al. 2020; Xenochristou et al. 2021). Se prevé que el cambio climático altere la demanda de agua, lo que podría crear desequilibrios en los recursos hídricos y las capacidades de almacenamiento, especialmente en regiones como el Mediterráneo (La Jeunesse et al. 2016).

Hay un patrón general que suele observarse en muchas regiones de clima templado, donde la demanda de agua varía estacionalmente. Durante los periodos más cálidos, el caudal es bajo en comparación con los adyacentes, como ocurre en agosto: Estos son los días en los que gran parte de la población está ausente por vacaciones, por lo que el consumo desciende y puede haber un aumento del uso de agua en interiores durante los meses más fríos (diciembre - febrero), cuando los sistemas de calefacción pueden requerir algo de agua, pero se reduce la demanda general para la higiene personal y el uso de agua en exteriores. Esta situación es la contraria en las localidades turísticas, ya que aumenta la población consumidora [25].

También existen patrones diarios en los que el consumo de agua tiende a aumentar por las mañanas y por las tardes, cuando los hogares se duchan, utilizan la cocina para las comidas y realizan otras actividades cotidianas. Además, los días de colada pueden contribuir a picos intermitentes en el consumo de agua, especialmente si varios hogares utilizan sus lavadoras simultáneamente. Un estudio realizado en el Reino Unido mostró un aumento del lavado de ropa los domingos por la mañana y los primeros días de la semana, y una disminución del lavado de ropa los días laborables [26].

Se ha demostrado que los factores de desarrollo urbano, como el tamaño, la densidad y la antigüedad de los edificios, influyen en el consumo de agua en las viviendas. Las zonas de bajo consumo de agua suelen estar situadas en barrios de alta densidad y más antiguos [27]. En cuanto a los factores demográficos, como el tamaño del hogar, los ingresos, la presencia de niños y el nivel educativo, los estudios han encontrado una relación con el consumo de agua residencial. Por ejemplo, los hogares más grandes, los de mayores ingresos y la presencia de niños se han asociado a un mayor consumo de agua [24]. Por el contrario, se ha observado que los hogares con un mayor nivel educativo muestran un comportamiento más respetuoso con el medio ambiente en lo que respecta a la demanda de agua [28].

Otro aspecto a tener en cuenta es el económico, en el que la tarificación del agua, la propiedad de las empresas de suministro de agua y el desempleo también influyen en las pautas de consumo de agua. Concretamente, el precio volumétrico medio del agua se ha identificado como un importante factor predictivo de las diferencias en el consumo residencial, y las tarifas más bajas se asocian a un mayor consumo de agua [29]. La propiedad pública de las empresas de suministro de agua se ha relacionado con tarifas más bajas y un mayor consumo de agua en algunas zonas [30]. Se ha

observado que las personas desempleadas tienen un comportamiento más respetuoso con el medio ambiente en lo que respecta a la demanda de agua [28].

Hay otro aspecto que influye en el consumo residencial de agua, que es la aplicación de estrategias tecnológicas en los edificios residenciales para reducir la demanda de agua potable. Se ha demostrado que la presencia de instalaciones de ahorro de agua en los hogares tiene una relación significativa con el consumo de agua, y que los hogares necesitan mejoras significativas en los hábitos de ahorro de agua. También se ha observado que el uso de fuentes de agua alternativas, como la recogida de agua de lluvia, influye en el consumo de agua de los hogares, y que los distintos métodos de recogida de agua influyen en las pautas de consumo [24].

Los 2 últimos aspectos tecnológicos se aplicarán más adelante en este documento como principales estrategias para reducir la demanda de agua potable en los edificios residenciales. Sin embargo, no se tendrán en cuenta los factores medioambientales, demográficos y económicos, ya que no se considerarán los patrones de consumo de agua para establecer la demanda de agua, y sólo se establecerá una cantidad fija considerando un valor estándar.

Siguiendo la ley italiana, el Decreto del Presidente del Consejo de Ministros 4/3/1996 establece que la cantidad mínima de agua potable doméstica que debe garantizarse a los usuarios es, $v_{min} = 150$ litros/día/habitante. Sin tener en cuenta la introducción de electrodomésticos eficientes en los edificios, casi la mitad de la demanda total se destina a usos no potables distribuidos de la siguiente manera: aproximadamente el 30% para las cisternas de los inodoros, cerca del 12% para la colada, alrededor del 5% para la limpieza de la casa y otros lavados y, por último, el 4% para regar las plantas [31].

Todos los usos de agua potable y no potable con sus respectivos consumos en una vivienda amueblada con instalaciones y electrodomésticos de consumo normal (no necesariamente eficientes) se enumeran en la Tabla 1 en una base diaria per cápita (Ver Figura 1) y se utilizan como referencia para estimar el ahorro de agua gracias a tecnologías adecuadas como las mencionadas anteriormente (aireadores rompechorros, reductores de caudal, desagües de doble botón para inodoros, cisternas de doble descarga con volúmenes máximos de 6L y 3L, etc. [32]) y que más adelante serán utilizados. Ilaria (2023), basándose en el PRASSI DI RIFERIMENTO UNI/PdR 13.1:2019, sugiere utilizar las prescripciones sobre los coeficientes de reducción del consumo - R para los diferentes componentes domésticos para calcular el agua ahorrada obtenida gracias a la instalación de los aireadores de chorro frangi para grifos y duchas y de las aletas de doble botón para el inodoro [32], [33]. Los resultados respectivos se presentan en la Tabla 2, incluida la demanda final de agua potable que considera el ahorro (Tabla 3 y Figura 2).

Tabla 1. Distribución normal del consumo de agua en edificios residenciales.

Usos interiores (edificio residencial)		Consumo V (l/persona.día)
Potable	Alimentación (cocinar alimentos y bebidas)	7,0
	Lavavajillas	7,0
	Bañera, ducha	40,0
	Higiene personal (sin bañera/ducha)	13,5
No potable	Inodoros	45,0
	Lavadora	30,0
	Limpieza doméstica - Grifería	7,5
Total		150,0

Extraído y modificado de [32].

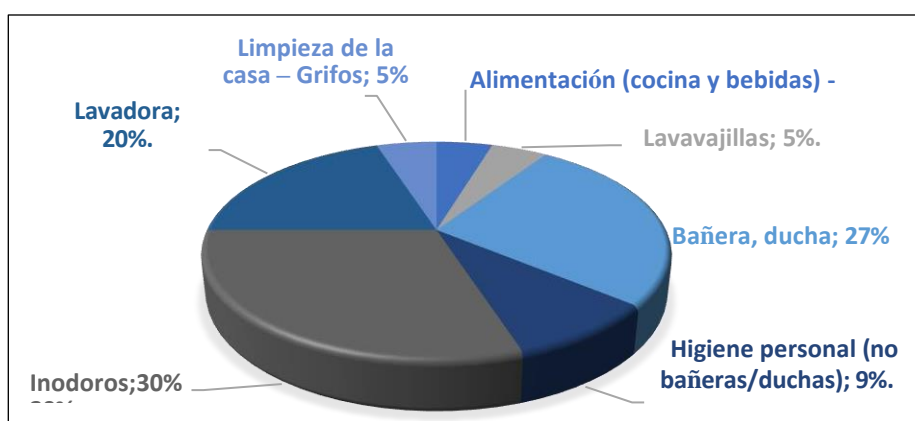


Figura 1. Distribución de la demanda normal de agua de los hogares.

Tabla 2. Coeficientes de reducción del consumo - R, para cada tecnología, y los respectivos volúmenes ahorrados.

Usos interiores (edificio residencial)		Consumo V (l/persona.día)	R (%)	Ahorro (l/persona.día)
Potable	Alimentación (cocinar alimentos y bebidas)	7,0	0	0,00
	Lavavajillas	7,0	10	0,70
	Bañera, ducha	40,0	7	2,80
	Higiene personal (sin bañera/ducha)	13,5	10	1,35
No potable	Inodoros	45,0	20	9,00
	Lavadora	30,0	0	0,00
	Limpieza doméstica - Grifería	7,5	10	0,75
Total		150,0		14,60

Recuperado y modificado de [32] (Original en [33]).

Tabla 3. Distribución eficiente del consumo de agua en edificios residenciales gracias a tecnologías adecuadas

	Usos interiores (edificio residencial)	Consumo eficiente V (l/persona.día)
Potable	Alimentación (cocinar alimentos y bebidas)	7,0
	Lavavajillas	6,3
	Bañera, ducha	37,2
	Higiene personal (sin bañera/ducha)	12,2
No potable	Inodoros	36,0
	Lavadora	30,0
	Limpieza doméstica - Grifería	6,8
	Total	135,4

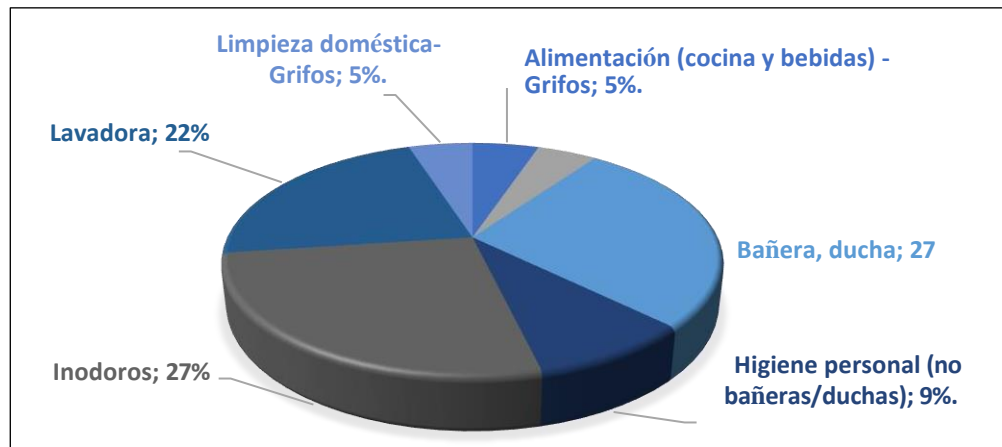


Figura 2. Distribución de la demanda eficiente de agua en los hogares.

El consumo de agua para usos domésticos en los edificios ha experimentado cambios significativos en los últimos cincuenta años debido a la dinámica social, tecnológica y medioambiental. Históricamente, los patrones de consumo de agua se caracterizaban por prácticas menos eficientes, como los inodoros de alta descarga y la escasa disponibilidad de electrodomésticos de bajo consumo. A mediados del siglo XX, la mayor parte del agua que se utilizaba a diario en los hogares se destinaba principalmente a la higiene personal, la colada y la cocina, y esto se hacía sobre todo mediante un duro trabajo manual que conllevaba un gran consumo de agua. Sin embargo, a medida que avanzaba la tecnología y crecía la concienciación de la gente sobre la escasez de agua, en las últimas décadas ha habido una tendencia hacia prácticas de uso más eficiente del agua. Por ejemplo, los inodoros de doble descarga, las lavadoras de bajo consumo de agua y las tecnologías inteligentes de uso del agua se han hecho más comunes en los hogares contemporáneos [34], [35].

En cuanto a las perspectivas futuras, las proyecciones sugieren una evolución continua de las prácticas de uso del agua, impulsadas tanto por las innovaciones tecnológicas como por el cambio de actitudes hacia la conservación del agua. El cuadro adjunto ofrece una visión global de estas tendencias (Cuadro 4), mostrando cómo han evolucionado las prácticas de uso del agua desde

1968 hasta la actualidad y ofreciendo perspectivas sobre la posible evolución futura para 2043 y 2068. Los escenarios futuros predicen la adopción de inodoros de descarga ultrabaja, métodos de limpieza sin agua y sistemas integrados de reciclado de agua, junto con cambios de comportamiento como una mayor concienciación sobre el despilfarro de agua y el uso de tecnologías domésticas inteligentes para la detección de fugas [2]. Del examen de estas tendencias se desprende que la trayectoria del uso residencial del agua avanza hacia una mayor eficiencia y sostenibilidad, como reflejo de los esfuerzos más amplios para abordar los retos mundiales del agua.

Tabla 4. Uso del agua en el hogar: una mirada hacia atrás y hacia delante 50 años. Los diferentes usos del agua se han codificado por colores: tecnología (en azul) o comportamiento (en verde), pasado en texto oscuro y futuro en texto claro.

	1968 -50 years	1993 -25 years	2018 Now	2043 +25 years	2068 +50 years
Water use in the home					
WC flushing	> 12 l/flush Inside & outside WCs Night water, chamber pots	7.5 l/flush multiple inside WCs Flush everything	Dual 6/4 l/flush Flush only wee & poo	< 4 l Lower flush WCs Replace with rain or grey water flush	Ultra low flush WCs Zero water WCs
Personal bathing	1 bath/week, washing only Flannel wash, teeth clean once/day	Few showers Central heating/hot water systems	Increasing importance of personal hygiene Transition to 1 shower/day Teeth cleaning 2/day	Low flow shower heads Low flow taps Teeth cleaning without water Change attitudes to personal bathing	Digital / smart showers Recycling showers Waterless showers Creating spaces to relax without water
Clothes washing	Hand clothes washing Weekly washday	Emergence of front loader washing machines Twin tub washing machines	Water & energy efficient washing machines Washing on demand Wear clean clothes every day	More efficient washing machines	Self cleaning clothes Waterless washing machines
Dish washing	Hand dish washing Daily dish washing	Emergence of dish washing machines Daily dish washing	Increased uptake of water & energy efficient dishwashers	More efficient dishwashers	Self cleaning dishes and utensils Waterless dishwashers
Cleaning	Water based cleaning More tap water drunk	More use of cleaning products	More bottled water & drinks More ready meals	Smart lower flow taps Change attitudes to water wastage – not leaving taps running	Waterless chemical free cleaning - Nanotechnology
Cooking	More washing of garden produce	More pets	Potentially more tap water used for drinking (moving away from bottles)	Increase in point of use treatment/conditioning of tap water	
Drinking	Fewer pets				
Plumbing losses	Plumbing losses largely due to cistern inlet valves, taps and joints Syphon flush systems – no leaks	Increased numbers of leaking WCs from drop valves Growth in the number of appliances attached to the plumbing system	Leak free WC flush designs Change attitudes to water wastage - leaks	Non drip tap designs IoT growth in home leak detection and warning systems	Leak free plumbing
Water use outside the home					
Garden/lawn watering	More garden grown produce Use of RWH for garden use	Smaller gardens, less garden produce Green lawns – more watering	Smarter RWH and GWR systems for gardens Smart irrigation systems	Drought resistant plants/lawns Design of new homes have RWH or GWR included for garden use	
Car washing	Fewer cars Use of buckets for washing	Sunday car washing routine	More cars More use of 'pop up' car cleaning facilities Cars cleaned away from the home	Waterless car washing products Use recycled water for cleaning	Stay clean technology for car paints/coatings
Hard surface washing	Use of buckets (recycled water and brushing for washing)	Pressure washers for patio and decking washing			
Customer supply pipes	Largely unaware of CSP leaks	Increased metering leads to greater awareness Different policies for repair/replace in different companies	Potential issues with domestic fire sprinklers Greater support/help for repair/replace	Smart meter detection and alarm Smart Apps for customers	

Tomado de [2].

1.3. Abastecimiento de la demanda de agua potable en edificios nuevos.

El abastecimiento municipal de agua es el método más utilizado para suministrar agua potable limpia y segura a los edificios residenciales, garantizando un suministro continuo y adecuado. Implica una compleja infraestructura compuesta por tuberías, bombas e instalaciones de tratamiento que transportan el agua desde su fuente, que pueden ser ríos, lagos o pozos de agua subterránea, hasta los hogares [36]. Antes de llegar a los usuarios finales, el agua se somete a rigurosos procesos de tratamiento como filtración, desinfección y otros procedimientos que dependen de la calidad del agua de origen para garantizar que cumple las normas de seguridad para beber, cocinar y otros usos domésticos [37]. Además, el suministro municipal de agua está sometido a una estricta reglamentación por parte de organizaciones como la Organización

Mundial de la Salud (OMS) y la Agencia de Protección Medioambiental (EPA) para mantener las normas de calidad y seguridad del agua [38].

El suministro municipal de agua suele considerarse fiable, con una presión y un caudal constantes. Sin embargo, las mejoras de las infraestructuras, las sequías o las emergencias imprevistas pueden causar interrupciones [39]. La combinación de sistemas hídricos convencionales y contemporáneos se emplea para apoyar a la sociedad de forma tecnológica y sostenible. Según diversos estudios, los sistemas de recogida de agua de lluvia (RWH) ofrecen varias ventajas al suministro de agua residencial para muchos usos no potables, reduciendo la dependencia de los suministros municipales de agua. Entre ellos se incluye la atención a la demanda adicional de agua generada por el crecimiento de la población en regiones densamente pobladas. Por ejemplo, un sistema de captación de agua de lluvia para el riego de exteriores en el sureste de Florida fue diseñado para satisfacer potencialmente el 54% de la demanda adicional total de agua, lo que demuestra la capacidad de los sistemas de captación de agua de lluvia para aliviar la presión sobre los sistemas centralizados de suministro municipal de agua. [40]. Además, los sistemas RWH contribuyen a la rentabilidad al suministrar agua a un coste significativamente menor que las alternativas centralizadas, con un ahorro sustancial de energía que aumenta aún más su atractivo [40].

Además, estos sistemas desempeñan un papel crucial en la retención de las aguas pluviales, ya que el potencial de la instalación de RWH en los barrios para mitigar el riesgo de inundaciones en las zonas urbanas está muy relacionado con la cantidad de precipitaciones [41]. Así pues, la implantación de sistemas de RWH en edificios nuevos no sólo ofrece una alternativa sostenible de suministro de agua, sino que también contribuye a la conservación del medio ambiente y a la rentabilidad. No obstante, a la hora de integrar los sistemas de captación de agua de lluvia en las nuevas construcciones residenciales, hay que tener muy en cuenta aspectos como la capacidad de almacenamiento suficiente para satisfacer la demanda de agua durante todo el año, la limpieza de los tejados y las lagunas en los métodos de tratamiento del agua. Además, las implicaciones económicas, que no se considerarán en este documento a efectos prácticos, incluyendo el coste dinámico de generación, el periodo de amortización y el apoyo financiero gubernamental, deben evaluarse para la sostenibilidad financiera de los diseños de RWH, especialmente en viviendas unifamiliares ([42], [43] [44]). Por lo tanto, es esencial comprender en profundidad los beneficios, las consideraciones de diseño y los retos asociados a los sistemas de RWH para suministrar agua de forma eficaz a los nuevos edificios, optimizando al mismo tiempo la rentabilidad y la conservación del medio ambiente.

La expansión de las ciudades está provocando una mayor demanda de agua, un mayor riesgo de inundaciones urbanas y elevados niveles de contaminación de las aguas fluviales. En consecuencia, es necesario adoptar un enfoque integrado basado en sistemas de abastecimiento de agua tradicionales y alternativos para el desarrollo y la gestión del agua. Como se presenta en [4],

el concepto de neutralidad hídrica (Water Neutrality, WN) aborda estas preocupaciones crecientes sobre las presiones hídricas en las zonas urbanas, proporcionando directrices, orientadas a minimizar los impactos sobre la disponibilidad hídrica urbana y a compensar las tensiones mediante la mejora de los edificios existentes. Como se menciona en [4], los trabajos previos de Hoekstra (2008), Hoekstra et al. (2011) y Makin et al. (2021) indican que el concepto de WN implica equilibrar la demanda de agua reduciendo su consumo y mejorando su eficiencia.

Lograr la neutralidad hídrica en las ciudades requiere un enfoque multifacético, en el que el agua ahorrada en los edificios existentes mediante estrategias como los electrodomésticos eficientes, la recogida de aguas pluviales (RWH) y el reciclaje de aguas grises (GWR), y las campañas de concienciación social, pueden utilizarse para abastecer la demanda de agua potable de los nuevos edificios [4]. Este enfoque es eficaz, no sólo porque garantiza una alternativa de suministro de agua sostenible a la creciente demanda de agua en las ciudades de rápido crecimiento, sino porque también contribuye al ahorro de costes y a la preservación del medio ambiente, como demuestra un estudio de caso realizado por Ghisi y Ferreira, donde encontraron que el uso de RWH y electrodomésticos eficientes en el uso del agua podría reducir la demanda de agua de un edificio residencial hasta en un 45% [45].

1.4. El nexo entre agua, energía, alimentos y ecosistemas

Las tensiones sobre el uso residencial del agua y los problemas relacionados son multidimensionales y responden a distintas demandas, como la conservación del agua, el cambio de fuentes de agua y el nexo del agua con distintos tipos de sectores [5]. La necesidad de minimizar el uso del agua en los edificios se acentúa debido a los cambios climáticos progresivos y a la perspectiva de problemas de acceso al agua en las ciudades gracias al crecimiento de la población y al aumento de la urbanización. Por ello, promotores, ingenieros y arquitectos se enfrentan al reto de aumentar el suministro de agua a través de fuentes alternativas como el agua de lluvia y el agua de pozo [46], para incrementar la eficiencia de los sistemas urbanos, lo que también apoyará la creación de ciudades resilientes y sostenibles, garantizando el desarrollo económico, la equidad social y la protección de los ecosistemas.

Hay un ejemplo claro y concreto de tecnologías verdes en las que el impacto positivo no sólo se refleja en el sector del agua, sino también en los de la energía, la alimentación y los ecosistemas Figura 3. Techos verdes multicapa. Hablamos de las cubiertas verdes multicapa, un tipo de sistema de recogida de aguas pluviales más desarrollado, no sólo por su estructura más compleja, sino también por la variedad de sus beneficios. En relación con el nexo agua-energía, las cubiertas verdes multicapa contribuyen a enfriar el aire y a reducir la isla de calor urbana, disminuyendo la temperatura de la superficie circundante de los edificios hasta 5° y 9° [47]. Además, el agua recogida puede utilizarse para refrescar las calles durante los periodos calurosos y secos. Además, la energía potencial del agua almacenada a cierta altura puede convertirse en trabajo mecánico

que, con la instalación de sistemas microhidroeléctricos, puede crear una fuente sostenible de energía eléctrica [48].

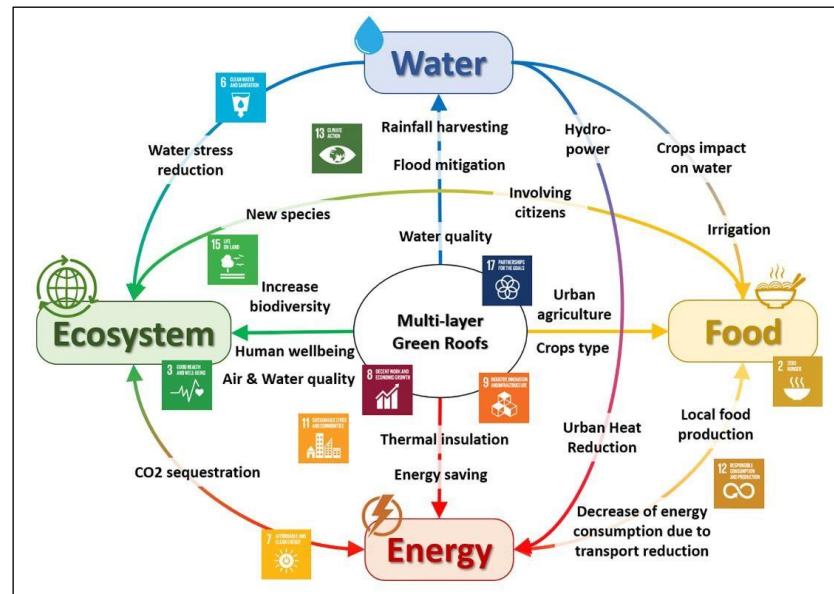


Figura 3. Impacto de las cubiertas verdes multicapa en el nexo entre agua, energía, alimentos y medio ambiente
Extraído de [5].

Otro sector relacionado con la energía es el alimentario, en el que las cubiertas verdes multicapa ayudan a aumentar la producción de alimentos, en concreto, la producción local de alimentos, reduciendo el transporte de alimentos y la generación de contaminación, y reducen las pérdidas de energía, pero también contribuyen al desarrollo de pautas de consumo y producción sostenibles, aumentando la concienciación sobre el consumo sostenible de alimentos.

Por otro lado, el papel de las cubiertas verdes multicapa en el sector Agua-Energía corresponde al almacenamiento del agua de lluvia recogida para el riego de los huertos de tejado, necesario para la agricultura urbana, y reduce la presión sobre el sistema de abastecimiento de agua potable [49]. Cuando existe una red de cubiertas verdes multicapa es posible alimentar el entorno mediante una red de depósitos accionados por gravedad.

Otra relación importante en la que incide este tipo de cubierta verde es el nexo ecosistema-energía. Esta herramienta puede reducir la huella de carbono de las ciudades gracias a su vegetación [50]. Además, se reduce el uso de sistemas de calefacción y refrigeración, lo que contribuye al ahorro energético y a la protección del ecosistema gracias a su poder de aislamiento térmico [51]. Además, existe otro nexo con la energía, el sector alimentario. Las cubiertas verdes favorecen la agricultura urbana y, al mismo tiempo, recrean un hábitat natural para las diferentes especies necesarias para la supervivencia de las plantas, mejorando la biodiversidad urbana gracias a la creación de corredores verdes. Además de los beneficios económicos de la producción de

alimentos en zonas urbanas, también son importantes las mejoras sociales y sanitarias al aumentar la capacidad del edificio, ya que son útiles para enseñar a los ciudadanos los principios de higiene en la producción y procesamiento de alimentos y el uso y gestión adecuados de los residuos orgánicos [5].

El último nexo importante es entre el ecosistema y el agua. Desde esta perspectiva, el agua de lluvia recogida en los tejados verdes puede utilizarse para fines domésticos, como jardinería, descarga del inodoro o actividades de limpieza, reduciendo la demanda de agua potable y la presión sobre el acueducto, aumentando el agua potable disponible para todos y disminuyendo la infraestructura de recogida de agua y las redes de tuberías necesarias. De esta manera, se limitan los impactos antrópicos sobre el medio natural y se generan beneficios para los ecosistemas. Este es el nexo más importante y en el que nos centraremos en este trabajo, ya que está directamente relacionado con el principio de neutralidad hídrica y también con el sexto objetivo de desarrollo sostenible, que promueve una gestión sostenible del agua y el saneamiento que garantice la disponibilidad de agua [52]. Estudios realizados en diferentes ciudades italianas han demostrado un importante ahorro de agua gracias a la instalación de depósitos de recogida de agua de lluvia. En una de las ciudades, la reutilización del agua de lluvia recogida en depósitos para usos no potables permite ahorrar entre un 38% y un 65% de agua para depósitos de tamaños comprendidos entre 1 y 50 m³ [53]. En el segundo estudio de caso, se analizó un edificio de 4 pisos y se alcanzó un ahorro de agua del 26,71% [54].

2. Neutralidad hídrica, el problema

La urbanización y el cambio climático han provocado un aumento de la demanda de viviendas, lo que a su vez incrementa la demanda de agua, el potencial de inundaciones y el nivel de contaminación del agua de los ríos [4]. Las zonas urbanas se enfrentan a diversos retos relacionados con el agua, como la contaminación de las fuentes de agua, la falta de suministro de agua potable, el saneamiento, la gestión de residuos sólidos, las inundaciones provocadas por las tormentas, los hundimientos, el impacto ambiental y las enfermedades [55]. Además de los retos hídricos comunes, los conflictos urbanos relacionados con el uso del agua presentan importantes problemas sociales, económicos y medioambientales, como problemas de salud ambiental, ocupación ilegal de zonas vulnerables, gestión ineficaz de los recursos hídricos y falta de acceso a agua de calidad [56], [57]. En particular, los conflictos relacionados con el agua en las zonas urbanas pueden surgir por la insuficiencia de agua, el exceso de agua o el agua gravemente contaminada, lo que provoca tensiones entre las poblaciones urbanas y rurales, y diferentes prácticas de utilización del agua [57].

Para lograr una gestión sostenible del agua en las zonas urbanas y mitigar los efectos de los problemas relacionados con el agua, es necesario un enfoque basado en sistemas integrados, como la neutralidad hídrica. Este trabajo de tesis pretende demostrar el potencial para lograr la neutralidad hídrica en Turín, por ello, inicialmente, se introducirá como referencia un marco de neutralidad hídrica para el diseño sistémico de nuevos desarrollos urbanos, desarrollado por Puchol-Salort P. et al (2022) [4]. Este marco describe el concepto de neutralidad hídrica, su funcionamiento, los elementos esenciales que deben tenerse en cuenta para lograr la neutralidad hídrica y cómo se aplicó en el Reino Unido.

2.1. Concepto de neutralidad hídrica

En la gestión del agua urbana, el concepto de neutralidad hídrica ha surgido como una forma de equilibrar la nueva demanda de agua provocada por el crecimiento urbano. Este concepto responde a la preocupación por el creciente estrés hídrico en las ciudades debido al crecimiento de la población, la urbanización y el cambio climático. Su objetivo es el uso neto cero de agua, minimizando al mismo tiempo el impacto de los nuevos desarrollos en el medio ambiente y la sociedad mediante la mejora de la eficiencia hídrica y la reducción del consumo de agua [4]. Este enfoque de planificación urbana del futuro se centra en la mejora del parque de viviendas existente con opciones de diseño WN para compensar el impacto de los nuevos desarrollos residenciales. La aplicación de la neutralidad hídrica a escala urbana implica integrar en la planificación urbana prácticas sostenibles de gestión del agua, como instalaciones eficientes, reciclaje de aguas grises, campañas de concienciación social, recogida de aguas pluviales e infraestructuras verde-azules para los nuevos desarrollos urbanos y los hogares existentes, y requiere un enfoque de diseño

sistémico que tenga en cuenta tanto la infraestructura física como los factores socioeconómicos que afectan al uso del agua [4].

2.2. Metodología

Para superar el impacto de las nuevas urbanizaciones en la sostenibilidad del agua y abordar la complejidad de las interdependencias entre el entorno construido y el natural y las presiones actuales y futuras sobre el agua a escala de la ciudad, es necesario integrar la planificación urbana con la gestión del agua para comprender las interacciones entre los procesos de uso del suelo, las infraestructuras hídricas y la calidad del agua [4]. Para ello, Puchol-Salort et al. (2022) no sólo desarrollaron el concepto de WN utilizando un enfoque de diseño sistémico para la futura planificación urbana, sino que también introdujeron el marco CityPlan-Water, que utiliza el modelo integrado de gestión del agua urbana CityWat (Dobson y Mijic, 2020) y un análisis espacial de los parámetros clave de la forma urbana para evaluar la neutralidad hídrica en Londres, Reino Unido. CityPlan-Water ofrece una evaluación cuantitativa de la neutralidad hídrica a través del Índice de Neutralidad Hídrica (WNI) para diferentes opciones de diseño WN. Este marco puede utilizarse a varias escalas urbanas y, en este caso, se centró en una escala de ciudad. Además del marco, los autores también mostraron cómo lograr la WN a escala de ciudad considerando diferentes escenarios y a qué nivel se compensan los impactos de los nuevos desarrollos dentro y fuera del área de desarrollo.

2.2.1. Marco sistémico de diseño y evaluación, CityPlan-Water.

Para abordar la complejidad de las interdependencias entre el entorno construido y el natural y las presiones hídricas actuales y futuras a escala de la ciudad, se ha propuesto CityPlan-Water como herramienta para la futura planificación urbana sostenible con el fin de diseñar viviendas neutras desde el punto de vista hídrico. La metodología CityPlan-Water utiliza un proceso iterativo para evaluar la seguridad hídrica urbana y determinar si los desarrollos urbanos propuestos cumplen los objetivos de neutralidad hídrica mediante la representación espacial SIG. Guía a los usuarios desde las líneas de base iniciales hasta nuevos escenarios de desarrollo con neutralidad hídrica, teniendo en cuenta al mismo tiempo los requisitos medioambientales y normativos [4].

El diseño sistémico de las ciudades (Figura 4) implica el diseño tradicional y el pensamiento sistémico. Considera el proceso de planificación como un todo, en el que las capas individuales, como las infraestructuras hídricas urbanas, pertenecen a un sistema urbano complejo. Por otro lado, los impactos relacionados con el agua a escala de la ciudad se evalúan a través del concepto de seguridad del agua urbana (UWS), que integra la evaluación de la demanda, el riesgo de inundaciones y la calidad del agua [4]. En este caso, el proceso de planificación urbana considera como línea de base el impacto existente, a continuación, los diferentes escenarios de neutralidad

hídrica (combinación de múltiples intervenciones a escala de la ciudad para mejorar la NH), después sigue la evaluación del impacto y, por último, la definición del índice de neutralidad hídrica para medir el éxito de un escenario de planificación urbana en la consecución de la NH. En la fase de evaluación del impacto, se realiza una evaluación cuantitativa de la seguridad hídrica urbana mediante herramientas específicas (QGIS para definir la forma urbana: zonas de tejado, zonas verdes, zonas permeables/impermeables, y población y hogares, y CityWat para definir los indicadores del UWS: demanda de consumo urbano, riesgo de inundaciones urbanas y calidad del agua de los ríos) [4].

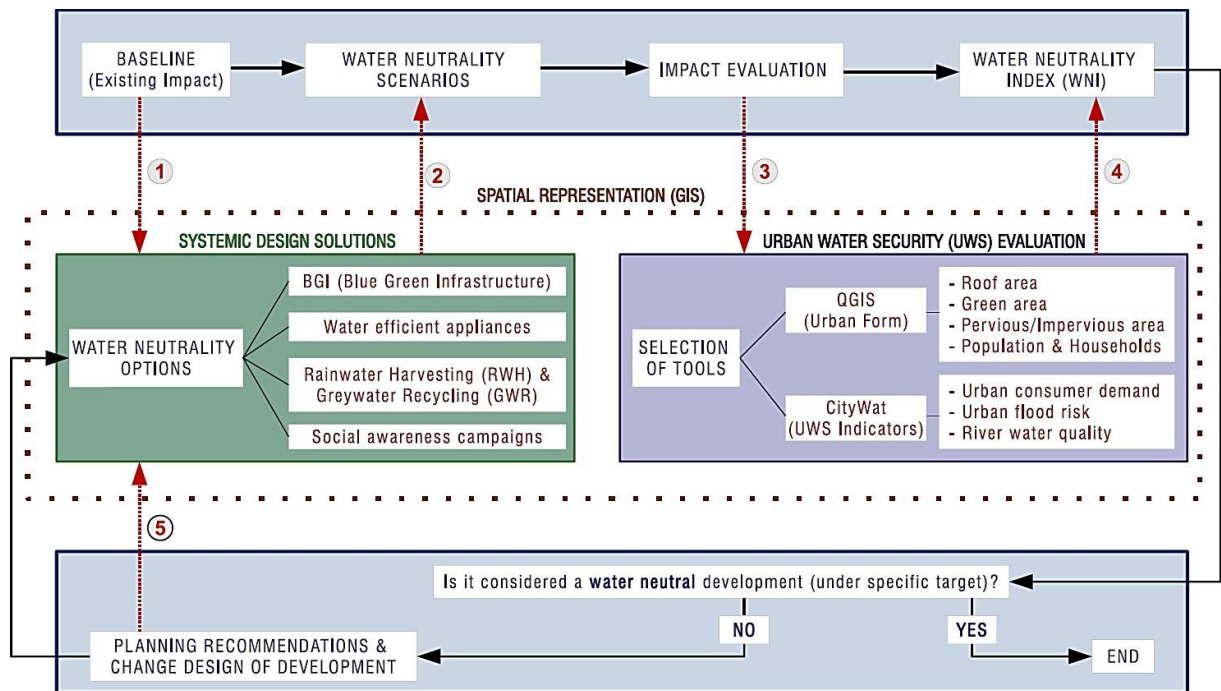


Figura 4. Marco de diseño sistemático WN.
Extraído y modificado de [4].

2.2.2. Concepto de diseño sistémico para la neutralidad hídrica

Como ya se ha mencionado, para abordar la complejidad del impacto del desarrollo urbano, además de la planificación urbana, también es necesario aplicar estrategias de gestión del agua en las ciudades. Por ello, este marco integra las soluciones sistémicas de diseño de la WN de la Tabla 5 (infraestructura azul-verde, electrodomésticos eficientes en el uso del agua, recogida de aguas pluviales y reciclaje de aguas grises, y campañas de concienciación social) dentro o fuera de la zona de desarrollo en el proceso de planificación urbana, para evaluar el aumento de los impactos hídricos urbanos existentes en diferentes escenarios de diseño urbano (Figura 5). La evaluación de los escenarios de la WN evaluará la eficacia de las opciones de diseño WN [4].

En la Tabla 5 se presentan las opciones de diseño de ruido blanco seleccionadas que se consideran

en los escenarios para su aplicación como soluciones de retroadaptación, incluyendo definiciones, ejemplos de aplicación, referencias bibliográficas y principales partes interesadas implicadas [4].

Tabla 5. Opciones de diseño para la neutralidad hídrica.

WN DESIGN OPTIONS	DEFINITION	EXAMPLES	REFERENCES	KEY STAKEHOLDERS INVOLVED
Blue Green Infrastructure (BGI)	All types of nature-based solutions applied to the urban environment and aligned to natural water processes	Permeable paving; engineered stormwater controls; blue and green roofs; green façades; hanging gardens and vertical urban farms; parks and open spaces; ponds and waterways; and, urban gardens	Bozovic et al., 2017; Kabisch et al. 2017; Nesshöver et al., 2017; Zaid et al., 2018; Keeler et al., 2019; Ferrans et al., 2022	Developers & Central and Local Government
Water efficient appliances	Fixtures that use less water while providing a similar performance to conventional ones	Certified taps; toilets; baths; showers; and, plumbing accessories	Millock and Nauges, 2010	Developers & Citizens
Water reuse systems	Rainwater Harvesting (RWH): Collect and store rainwater in a tank, generally from building roofs or other land surfaces Greywater Recycling (GWR): Recycle and reuse household wastewater primarily from showers and bathtubs	Garden water butts; underground direct-pumped tanks; roof gravity or indirect-pumped tanks Direct use systems (only for watering plants); sand filter systems; and, wetlands	Li et al., 2009 Campisano et al., 2017	Developers, Local Government & Citizens
Social awareness campaigns	Activities that aim to educate citizens and increase their awareness in causes such as water consumption or behavioural patterns	Social media campaigns; local workshops; web-based or printed advertisement; and, public engagement events	Stavenhagen et al., 2018	Central and Local Government, Water Companies & Citizens

Obtenido de [4].

El diagrama del concepto de diseño sistémico de neutralidad hídrica (Figura 5) explica cómo el marco ayuda a lograr un equilibrio entre el nuevo desarrollo urbano y los impactos de las fuentes de agua existentes. El diagrama ilustra los dos tipos de escenarios de diseño urbano considerados: el escenario "Business As Usual (BAU)" y el escenario "Water Neutrality (WN)". En el escenario BAU, los nuevos desarrollos urbanos aumentan la demanda de agua e impactan en el sistema hídrico urbano, por lo que el cálculo del Impacto del Desarrollo (DI) de los nuevos desarrollos se añade a los impactos de los desarrollos existentes. Este escenario implica una construcción y un diseño tradicionales, que utilizan principalmente superficies impermeables o pavimentadas, por lo que no se aplican estrategias de WN y el DI es el máximo [4].

Por el contrario, los escenarios WN incluyen opciones de diseño para reducir estos impactos a diferentes niveles en función de la magnitud de la intervención, mediante intervenciones in situ (nuevos edificios y terrenos) (tecnologías y prácticas eficientes en el uso del agua para reducir la demanda), e intervenciones ex situ (adaptación de las infraestructuras existentes) (restauración de las fuentes naturales de agua o mejora de la gestión del agua en otros lugares). El objetivo es compensar cualquier aumento en la demanda de agua de los nuevos desarrollos mediante la reducción del uso del agua en los existentes o la mejora de la seguridad hídrica urbana, por lo que el impacto residual de los nuevos desarrollos después de aplicar las opciones de diseño de la WN también debe tenerse en cuenta y se define como Impacto de la Neutralidad Hídrica del Desarrollo (WNDI). Si el WNDI es cero, se alcanza la neutralidad hídrica (línea azul en la figura 5), lo que significa que los escenarios WN propuestos compensan completamente los impactos del nuevo

desarrollo [4].

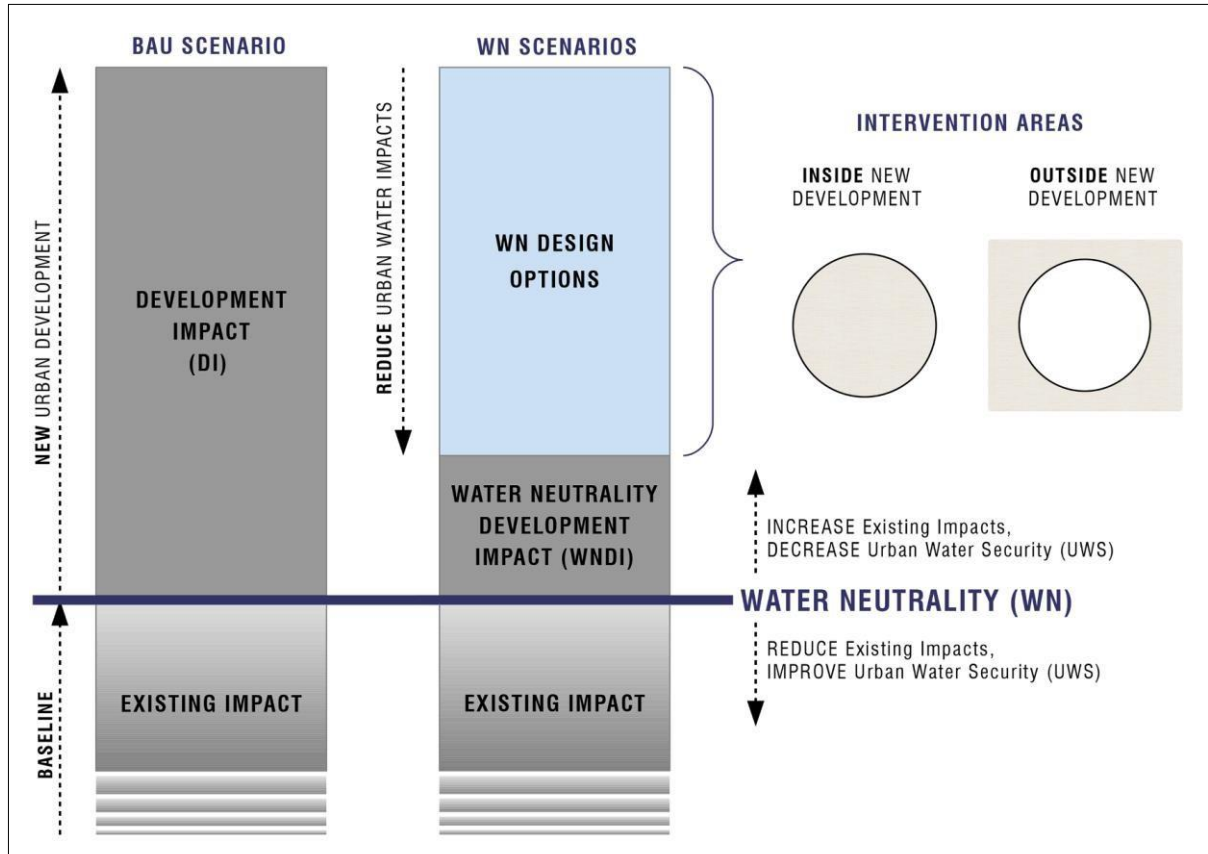


Figura 5. Concepto de diseño sistémico WN.
Tomado de [4].

2.2.3. Índice de neutralidad hídrica

Como parte del marco de CityPlan-Water, un paso importante del proceso es determinar el potencial de los escenarios WN implementados para alcanzar el objetivo de neutralidad hídrica. Por ello, es importante tener en cuenta el Índice de Neutralidad Hídrica (WNI) (Ecuación 1) para comparar el Impacto en el Desarrollo (DI) en el escenario BAU y el Impacto en el Desarrollo de la Neutralidad Hídrica (WNDI) en los escenarios WN. El objetivo es lograr la neutralidad hídrica, es decir, que el impacto total sea neutro y que los niveles de UWS permanezcan inalterados ($WNI=100\%$) o incluso obtener un desarrollo urbano positivo para el medio ambiente ($WNI > 100\%$) [4].

$$WNI = \frac{DI - WNDI}{DI} \times 100(\%)$$

Ecuación 1
Tomado de [4].

2.2.4. Entender la forma urbana desde la neutralidad hídrica a través de datos espaciales

Para el paso de línea base previo al desarrollo del marco CityPlan-Water, es importante conocer el sistema hídrico urbano existente mediante el análisis de las propiedades de la forma urbana de la ciudad directamente relacionadas con UWS y WN (Tabla 6). El marco utilizó el índice de superficie total, porcentaje y superficie media del plan para describir las propiedades de la forma urbana. Los datos de total, densidad/media y tamaño medio se incluyeron para representar las propiedades de la forma urbana relacionadas con la población [4]. Los datos de forma urbana se utilizaron de dos maneras. En la primera, los datos se implementaron en el modelo CityWat para garantizar la precisión de las entradas, y el segundo uso fue para crear mapas de densidad, a través de la Ecuación 2 [4].

$${}_x\lambda = \frac{A_x}{A_T}$$

Ecuación 2
Obtenido de [4].

- A_x , la superficie del tipo de cobertura del suelo a partir de LSOA (última columna del cuadro 6).
- A_T , superficie total.

Tabla 6. Propiedades de la forma urbana relacionadas con WN.

DATA SOURCE	WN URBAN FORM PROPERTIES			
	URBAN FORM	INFORM	VISUALISATION	
			AREA FRACTION MAPS	SUBSCRIPT x (Eq. 2)
Land cover raster data	Roof area	Rainwater harvesting storage capacity and urban density	Roof area density	Buildings
	Blue and green area	Amount and density of natural services (water and vegetation)	Blue & green area density	Water + tree canopy + low vegetation + tree over pervious surface
	Total pervious area	City's drainage capacity and stormwater runoff	Total pervious area density	Blue and green area + bare soil + pervious roadside + rail
	Total impervious area		Total impervious area density	Buildings + impervious surfaces + impervious roads + impervious roadside + tree over impervious surface + tree over impervious road/roadside + bridge/structure
UK Census data	Population	Water demand patterns and wastewater production	Population density	Given by UK Census
	Households		Average Household size	Given by UK Census

Tomado de [4].

2.2.5. Indicadores de seguridad del agua en las zonas urbanas.

Se seleccionaron tres indicadores clave para la seguridad hídrica urbana (UWS). Estos indicadores se eligieron en función de cómo afectarían las opciones de diseño de la red WN propuestas a los indicadores de la seguridad hídrica urbana. Además, se tuvieron en cuenta los distintos niveles de participación de las partes interesadas en la aplicación del diseño de la red WN. La demanda de los consumidores urbanos, medida por la media diaria del agua total suministrada en megalitros al día, el riesgo de inundaciones urbanas, medido por la media del exceso de escorrentía de aguas pluviales en megalitros al día, y la calidad del agua del río, medida por la media diaria del contenido de fósforo en el río en miligramos por litro. Estos indicadores son relevantes para las compañías de aguas, las autoridades locales de planificación y las agencias medioambientales, respectivamente [4].

2.2.6. Evaluación de la neutralidad hídrica

Siguiendo el proceso de CityPlan-Water, el tercer paso está dedicado a la evaluación de los impactos de los escenarios WN utilizando los indicadores UWS descritos anteriormente, combinando el modelo CityWat y QGIS. El modelo integrado de gestión del agua urbana CityWat, codificado en Python, permitió realizar una evaluación completa de los sistemas hídricos urbanos. Se utilizó para simular el flujo y la calidad del agua mediante ecuaciones de balance de masas y se validó con datos históricos de Londres, lo que lo hace fiable para proyectar indicadores de sistemas hídricos urbanos a escala de ciudad o de zona de aguas residuales semidistribuida. El modelo CityWat incorporó los parámetros de forma urbana de la Tabla 6 (número total de hogares, población total, superficie de tejados, porcentaje impermeable, superficie verde total, etc.) y simuló los impactos existentes. El crecimiento previsto de la vivienda y los datos de población proyectados se utilizaron para aplicar diferentes opciones de diseño neutras en agua y crear escenarios neutros en agua [4].

El proceso consistió en crear opciones de diseño de la red de agua para acomodar los nuevos desarrollos y utilizar simulaciones de CityWat para verificar si la adaptación compensa los nuevos impactos de la demanda de consumo urbano y el riesgo de inundación. Las opciones de diseño se modelaron como cambios en los parámetros de la forma urbana en CityWat, teniendo en cuenta factores como la capacidad de recogida de aguas pluviales, la demanda de consumo basada en la población prevista y la superficie impermeable. CityWat se ejecuta con una periodicidad diaria y los indicadores del UWS se presentan como valores medios diarios. Todo este proceso se siguió para utilizar los valores UWS para calcular el Índice de Neutralidad Hídrica (WNI) y sus métricas en porcentajes. Si los resultados del WNI mostraban que una urbanización propuesta cumplía el objetivo de neutralidad hídrica previamente establecido, el proceso se daba por concluido. En caso contrario, se necesitaban recomendaciones de planificación adicionales o debían aplicarse nuevas

opciones de neutralidad hídrica hasta alcanzar el objetivo [4].

2.3. Aplicación en el Reino Unido

Como se menciona en [4], según Garner et al. (2017) y Miller et al. (2017) se espera que el Reino Unido experimente un aumento de las inundaciones, las sequías y la degradación de la calidad del agua de los ríos debido al cambio climático y la urbanización. Se prevé que la población de Londres alcance los 10,8 millones de ciudadanos en 2041, con un aumento de 70000 personas al año (Committee on Climate Change, 2019; GLA, 2021) [4], lo que creará la necesidad de un aumento medio de 66000 nuevas viviendas al año durante al menos veinte años, de las cuales alrededor del 50% serán asequibles (GLA, 2021) [4].

En el Reino Unido, el concepto de neutralidad hídrica se ha aplicado en marcos de planificación urbana para mitigar el impacto de la demanda de agua debida a la construcción de nuevas viviendas. Un estudio de caso centrado en Londres utilizó el marco "CityPlan-Water", una herramienta de diseño sistémico que integra modelos de gestión del agua urbana con datos espaciales. El marco evalúa cómo pueden combinarse distintas intervenciones en materia de agua y saneamiento a escala urbana para alcanzar los objetivos deseados de neutralidad hídrica [4].

Para comprender la forma urbana de Londres, se tuvieron en cuenta algunas propiedades específicas relacionadas con el ruido blanco: El área del tejado, el área azul-verde y el área total permeable e impermeable se tomaron de un conjunto de datos ráster de cobertura del suelo de 2 m del British Geological Survey, y los datos de población y tamaño de las viviendas se obtuvieron del Censo 2011UK. Asimismo, para analizar las propiedades de la forma urbana de Londres, el autor consideró los 32 distritos en los que se divide Londres, que también se dividen en zonas más pequeñas denominadas Lower Layer Super Output Areas (LSOAs), accesibles desde la API del censo del Reino Unido. El patrón urbano incluye una cuadrícula distorsionada que irradia desde el centro de la ciudad y varía en escala y densidad, con áreas centrales que tienen espacios compactos y grandes zonas verdes, mientras que los suburbios están más dispersos y rodeados de terrenos abiertos y un cinturón verde (GLA, 2021) [4].

Para aplicar las estrategias de NW no sólo a escala de desarrollo urbano, sino también a nivel de ciudad, se aplicó el enfoque de diseño sistémico. El modelo CityWat evaluó todo el sistema hídrico urbano de Londres desde una perspectiva global, y los escenarios de desarrollo se aplicaron a escala de la ciudad. El proceso de desarrollo de escenarios comienza con las simulaciones de línea de base y BAU, que no incluyen ninguna opción de diseño WN (parte superior de la Tabla 7). La línea de base tiene en cuenta el impacto de los hogares existentes y la población total real y toma en consideración la proyección de vivienda y población a 10 años para el escenario BAU de Londres. Además, en cada escenario se introdujo información relativa a los edificios y las zonas verdes e impermeables [4].

Tabla 7. Escenarios WN para CityPlan-Water en Londres.

WN SCENARIOS	Number of homes with WN design options		WN design options implemented	
	New housing	Existing housing	New housing	Existing housing
Baseline (London Existing)	-	-	-	-
BAU (10-year housing projection)	-	-	-	-
(L) RETROFIT Stage 3 (I + K)	522,870	432500 homes & 19 km ² of land	Water efficient appliances, BGI (Green roofs), Social campaigns, RWH & GWR	Water Efficient appliances, RWH & BGI (Green spaces, urban gardens & Permeable paving)

Tomado y modificado de [4].

A continuación, para desarrollar los escenarios WN, se aplicaron las opciones de diseño de la Tabla 5 (Tabla 8, Tabla 9 y Tabla 10) en viviendas nuevas y existentes, junto con el número de viviendas implicadas [4]. Para mejorar la eficiencia hídrica, se propuso una combinación de medidas. Esta incluía la instalación de electrodomésticos con un ahorro de agua en torno al 35% en todos los hogares nuevos (Escenario A), la aplicación de soluciones BGI en la infraestructura de los edificios nuevos con un 80% de superficie de tejado verde (Escenario B) y la realización de campañas de concienciación social para reducir la demanda de agua en un 4% para los ciudadanos que vivieran en viviendas nuevas (Escenario C) [4].

El número de ciudadanos en los nuevos hogares se calculó a partir del número medio de personas por hogar en Londres (estimado en 2,5) multiplicado por el número de nuevos hogares previstos. El tamaño del depósito de recogida de aguas pluviales es de 400 litros por cada nuevo hogar, basándose en la capacidad media de los depósitos utilizados habitualmente para los hogares individuales y en la menor capacidad de los depósitos de los edificios de pisos (escenario D). Para aumentar la reutilización del agua, se instaló un sistema de reutilización de aguas grises con una tasa de reciclaje del 50% en todas las viviendas nuevas (Escenario E). El escenario F combina todas las opciones de diseño de la red de agua de los escenarios A a E (véanse más detalles en la Tabla 8) [4].

Tabla 8. Opciones de diseño WN aplicadas únicamente a nuevos desarrollos urbanos.

(A) Efficient appliances in new homes	522,870	-	Water efficient appliances	-
(B) 80% green roofs in new homes	522,870	-	BGI (Green roofs)	-
(C) Citizens concerned with water	522,870	-	Social campaigns	-
(D) RWH in new homes	522,870	-	RWH	-
(E) GWR systems in new homes	522,870	-	GWR	-
(F) (A + B + C + D + E)	522,870	-	Water efficient appliances, BGI (Green roofs), Social campaigns, RWH & GWR	-

Tomado y modificado de [4].

Tras especificar las opciones para las viviendas nuevas, se especificaron escenarios de desarrollo para la rehabilitación de viviendas e infraestructuras urbanas existentes (Tabla 9), como la implementación de electrodomésticos eficientes en el consumo de agua en 432000 viviendas existentes, casi el mismo número de viviendas existentes (Escenario G), y la instalación de sistemas de recogida de aguas pluviales para hacer frente al riesgo de inundaciones y a la calidad de los ríos (Escenario H) [4].

Tabla 9. Opciones de diseño WN para la rehabilitación de edificios existentes.

WN DESIGN OPTIONS APPLIED TO EXISTING BUILDINGS ONLY (RETROFIT)				
(G) Retrofit homes with efficient appl.	-	432,500	-	Water efficient appliances
(H) Retrofit homes with RWH	-	432,500	-	RWH
(I) Add BGI to the existing London land	-	(19 km ² of land)	-	BGI (Green spaces, urban gardens & Permeable paving)

Extraído y modificado de [4].

Esta modernización se ejecutó en fases (Tabla 10). La primera fase (Escenario J) fue el producto de combinar el Escenario F con el Escenario G (opciones de WN en edificios nuevos más electrodomésticos eficientes en viviendas existentes), y la segunda fase (Escenario K) mezcló el Escenario H y el Escenario J, no sólo para actuar sobre la reducción del consumo de agua sino también sobre el riesgo de inundaciones y la calidad del río. En concreto, para compensar los impactos del riesgo de inundación urbana por el nuevo desarrollo proyectado, se añadieron soluciones de BGI permeables (Escenario I) [4].

Estos escenarios, que incluyen soluciones de modernización a los edificios nuevos y a los existentes, se combinaron para compensar los impactos sobre el sistema hídrico urbano de los nuevos desarrollos en la tercera y última etapa de modernización (Escenario L) (Parte inferior de la Tabla 7) [4].

Tabla 10. Opciones de diseño WN aplicadas a nuevos desarrollos urbanos y edificios existentes (fases de rehabilitación).

(J) RETROFIT Stage 1 (F+G)	522,870	432,500	Efficient appliances, BGI (Green roofs), Social campaigns, RWH & GWR	Water efficient appliances
(K) RETROFIT Stage 2 (H+J)	522,870	432,500	Water efficient appliances, BGI (Green roofs), Social campaigns, RWH & GWR	Water efficient appliances & RWH

Tomado y modificado de [4].

Para evaluar la seguridad de las aguas urbanas, se han utilizado tres indicadores clave. El primero es la demanda de los consumidores urbanos, relevante para las compañías de agua de Londres, el segundo es el riesgo de inundaciones urbanas, un indicador importante para las autoridades de planificación de Londres, y el último es la calidad del agua del río Támesis, una preocupación para la Agencia de Medio Ambiente de Inglaterra / England's Environment Agency (EA) [4].

Siguiendo el marco de diseño sistémico para lograr la neutralidad hídrica, la aplicación de Londres se desarrolló en consonancia con el objetivo del Plan de Londres de construir 522870 nuevas viviendas en la ciudad para 2030. Los resultados obtenidos se centran en primer lugar en un aspecto relacionado con las propiedades de la forma urbana de la ciudad, destacando la heterogeneidad de las formas urbanas en diferentes partes de la ciudad y haciendo hincapié en la necesidad de opciones específicas de diseño de la red de agua. Los resultados también subrayan las variaciones en la superficie de los tejados, la superficie impermeable, la densidad de población y el tamaño de los hogares en las distintas zonas de Londres, señalando la concentración de edificios y superficies impermeables en el centro de Londres, lo que conlleva riesgos potenciales

de inundación. Además, examinó las cuestiones relacionadas con los espacios verdes, los patrones de demanda de agua y la producción de aguas residuales en el centro de la ciudad. En general, los resultados subrayan la importancia de comprender estas propiedades de la forma urbana para una planificación eficaz de la gestión del agua [4].

Tras evaluar la Seguridad Hídrica Urbana (UWS) en Londres utilizando el modelo CityWat y los resultados de las diferentes simulaciones de escenarios, se calculó el Índice de Neutralidad Hídrica para diferentes indicadores de la UWS (Tabla 11). Por ejemplo, el WNI mostró que la aplicación de una combinación de opciones de diseño WN, como electrodomésticos eficientes en el uso del agua, sistemas de reutilización del agua y campañas de concienciación social en Londres, puede compensar el impacto de los nuevos desarrollos en la demanda de agua en un 70%, lo que indica que la demanda de los consumidores urbanos no se neutralizó completamente hasta el escenario J. Para compensar totalmente el riesgo potencial de inundaciones urbanas y mantener la calidad del agua en toda la ciudad, es necesario aplicar intervenciones como la recogida de aguas pluviales y la Infraestructura Azul-Verde en los nuevos desarrollos urbanos y adaptar aproximadamente 432.000 hogares londinenses existentes (Escenario L). La calidad del agua alcanzó una puntuación máxima de WNI = 99 [4].

Tabla 11. WNI para cada escenario WN.

WATER NEUTRALITY (WN) SCENARIOS	Urban Water Security (UWS) Indicators		
	Urban consumer demand (Consumer supplied, ML/day)	Urban flood risk (Excess stormwater runoff, ML/day)	River water quality (Phosphorus content, mg/l)
	Water Neutrality Index (WNI, %)		
WN DESIGN OPTIONS APPLIED TO NEW URBAN DEVELOPMENTS ONLY			
(A) Efficient appliances in new homes	35	4	25
(B) 80% green roofs in new homes	0	35	8
(C) Citizens concerned with water	5	1	3
(D) RWH in new homes	18	8	10
(E) GWR systems in new homes	14	2	8
(F) (A + B + C + D + E)	71	48	63
WN DESIGN OPTIONS APPLIED TO EXISTING BUILDINGS ONLY (RETROFIT)			
(G) Retrofit homes with efficient appliances	29	3	20
(H) Retrofit homes with RWH	16	7	9
(I) Add BGI to the existing London land	0	45	11
WN DESIGN OPTIONS APPLIED TO NEW URBAN DEVELOPMENTS AND EXISTING BUILDINGS (RETROFIT STAGES)			
(J) RETROFIT Stage 1 (F + G)	100	51	84
(K) RETROFIT Stage 2 (H + J)	105	57	88
(L) RETROFIT Stage 3 (I+K)	105	100	99

Tomado de [4].

3. Aplicación del concepto de neutralidad hídrica a la ciudad de Turín.

Este estudio se centra en el sector residencial de la ciudad de Turín, capital de la región del Piemonte, una zona urbana del noroeste de Italia (Figura 6), situada en una amplia y fértil llanura al este de los Alpes. Está situada en el valle del río Po, bordeado por los ríos Po, Sangone, Dora Riparia y Stura di Lanzo, a 239 m.s.n.m. en el caso de la zona urbana llana, y a 715 m.s.n.m. en la zona montañosa oriental, con una población de más de 846.926 habitantes a 1 de enero de 2024, ocupando 130,2 km² [58], [59], [60].



Figura 6. Posición de Turín en el mapa de Italia.
Tomado de [58].

Según los datos anuales de población publicados por el Istat, la Figura 7 muestra que, durante más de 30 años, la ciudad de Turín ha experimentado una tasa de crecimiento demográfico negativa; concretamente, de 2022 a 2024, la ciudad sufrió un ligero descenso anual del 0,11%. Sin embargo, este hecho ha provocado que nuestra preocupación no se centre principalmente en las consecuencias del crecimiento demográfico oficial de Turín, sino en el impacto del cambio climático, la población flotante, la inmigración legal e ilegal y los residentes temporales con fines académicos. El aumento de la demanda de agua potable en ciudades como Turín persiste a pesar

de las recientes tendencias demográficas negativas, impulsado por varios factores complejos. En primer lugar, la ciudad cuenta con un importante número de personas que trabajan en Turín durante el día pero residen en otros lugares. Esta afluencia diaria afecta al consumo anual de agua, ya que introduce una población flotante que consume recursos sin estar contabilizado entre los residentes permanentes. Además, Turín se ha convertido en un centro de inmigrantes, incluidos los indocumentados, cuyo consumo de agua no se contabiliza en las estimaciones de población predefinidas, lo que contribuye a aumentos imprevistos de la demanda. La ciudad también alberga residentes temporales, como estudiantes universitarios, cuya presencia fluctuante repercute aún más en la demanda de agua de forma impredecible. Estas dinámicas no sólo sugieren la necesidad de considerar un crecimiento constante de la demanda de agua en Turín, sino también la complejidad de prever de forma precisa las necesidades de agua, lo que hace necesario un enfoque global de la gestión del agua que tenga en cuenta a todos estos usuarios transitorios y no tradicionales para garantizar un suministro de agua sostenible y la planificación de infraestructuras [61].

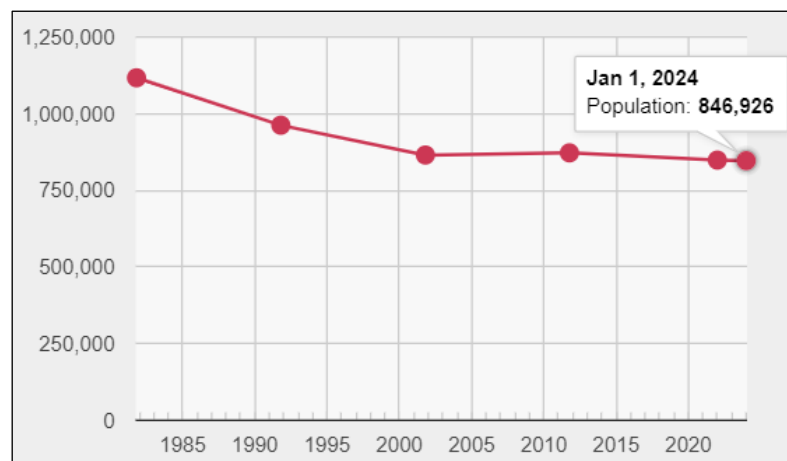


Figura 7. Evolución anual de la población de Turín. Obtenido de: CityPopulation.de [62].

Turín tiene un clima templado, caracterizado por variaciones estacionales (Figura 8). Los inviernos suelen ser fríos, con temperaturas medias que oscilan entre 0,8 °C y 5,5 °C, nieblas frecuentes y nevadas ocasionales, mientras que los veranos son cálidos y húmedos, con temperaturas que suelen oscilar entre los 15,4°C y 25,4°C, incluyendo periodos muy calurosos, con temperaturas que superan los 35°C. La temperatura media anual ronda los 12°C, siendo enero el mes más frío y julio el más cálido. Las precipitaciones están tranquilamente bien distribuidas a lo largo del año. La ciudad recibe unos 900 mm de precipitaciones al año, con picos en primavera (mayo) y otoño (noviembre), cada uno de los cuales recibe 127 mm y 145 mm de lluvia respectivamente, lo que hace que estas estaciones sean ideales para maximizar la eficiencia de la RWH y una opción viable para complementar las necesidades de agua potable proporcionando

una fuente de agua sostenible para usos no potables, como las cisternas de los inodoros y el riego de jardines [63]. Los periodos secos corresponden a los meses de invierno, especialmente enero (29 mm) y febrero (39 mm). Los niveles de humedad son moderados, en torno al 60-70% de media, y la duración de la insolación varía, con días más cortos en invierno y más largos y soleados en verano.

Dadas las condiciones climáticas de Turín, los sistemas de captación de agua de lluvia pueden captar cantidades significativas de agua de lluvia, especialmente durante los meses más húmedos, y almacenarla para su uso durante los periodos más secos. Las precipitaciones de moderadas a abundantes en primavera y otoño ofrecen la oportunidad de ahorrar agua en entornos residenciales y municipales, lo que convierte a la captación de agua de lluvia en un complemento práctico de las estrategias de gestión del agua de la ciudad.

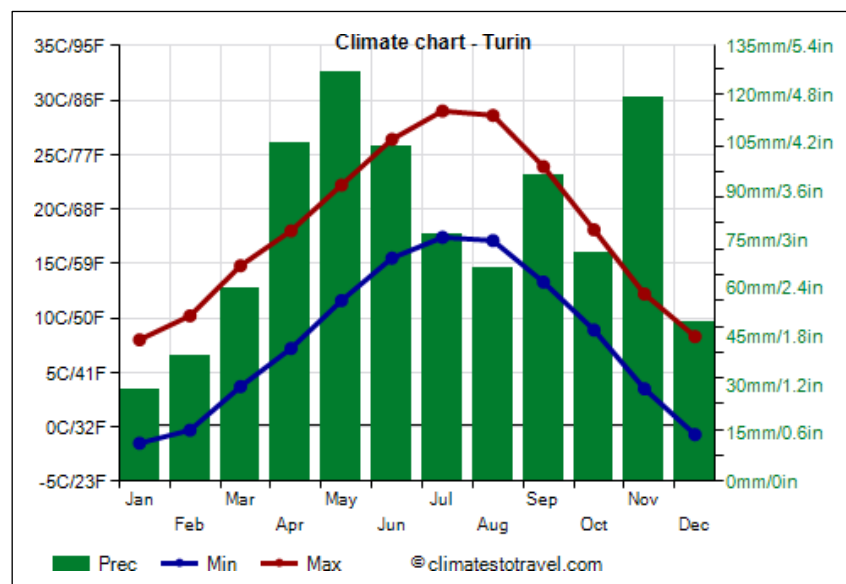


Figura 8. Gráfico climático de Turín (media 1991-2020)
Obtenido de [63].

Teniendo en cuenta los posibles escenarios futuros relacionados con el clima y las precipitaciones en Turín, la recogida de agua de lluvia (RWH) representa una estrategia válida para hacer frente a los retos derivados del cambio climático, como los cambios previstos en los patrones de temperatura y precipitación para finales de siglo. Según las proyecciones climáticas recogidas en la página web del CMCC [64], se espera que Turín experimente los siguientes cambios:

Aumento de la temperatura y olas de calor: En escenarios sin políticas climáticas, las temperaturas estivales en Turín podrían aumentar más de 6 °C en 100 años, con un aumento de la frecuencia de las olas de calor (medido por el índice de duración de las olas de calor, WSDI), especialmente en verano. Esto aumentará probablemente la demanda de agua durante los periodos más calurosos, por lo que la fontanería de agua caliente será esencial para garantizar un suministro de agua fiable durante los picos de consumo (Figura 9) [64].

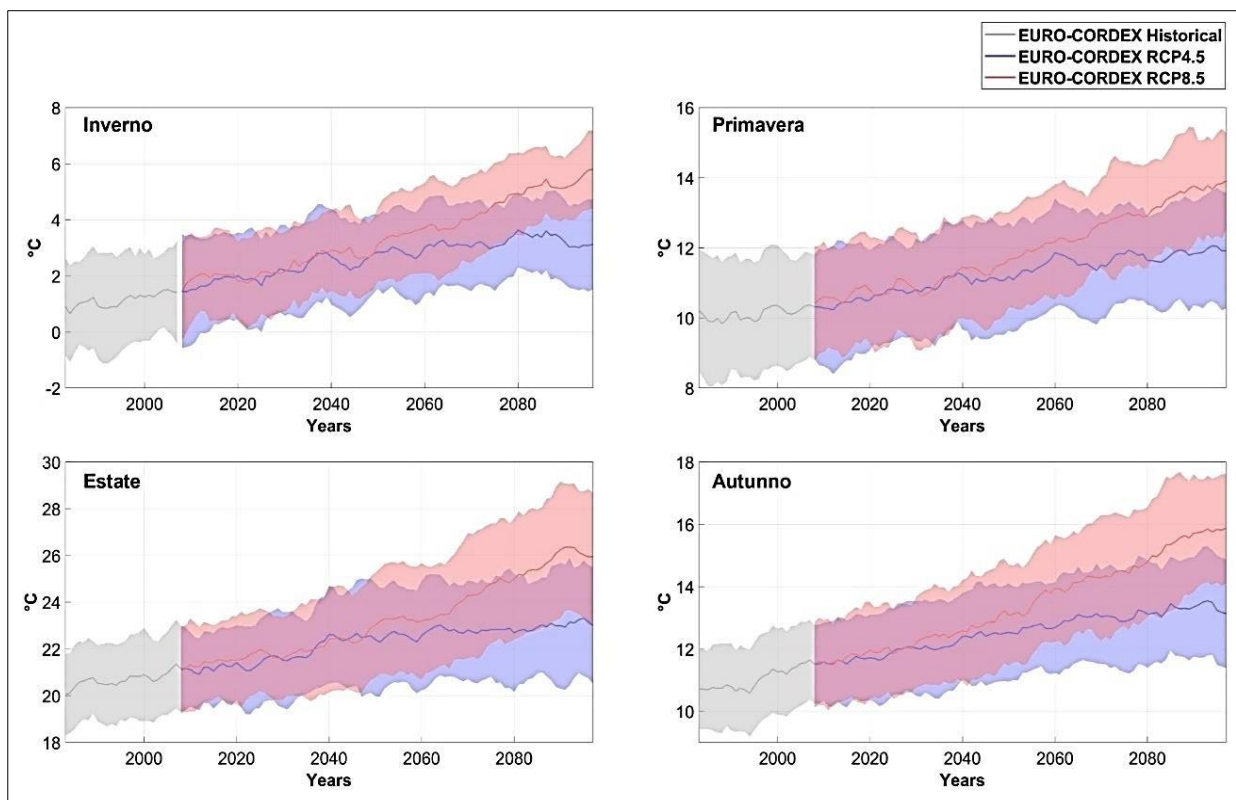


Figura 9. Cambios estacionales de la temperatura media en los modelos EURO-CORDEX. En rojo, el escenario sin políticas climáticas, y en azul, el escenario con políticas climáticas. La línea gruesa indica la media de los resultados producidos por diferentes modelos para el mismo escenario considerado. El área coloreada representa la dispersión de los modelos que componen el conjunto de modelos EURO-CORDEX, en torno al valor medio, para el mismo escenario. Obtenido de [64].

Patrones de precipitación: Debido a la compleja evaluación de este parámetro por su dependencia de múltiples factores y a la influencia del cambio climático, las predicciones son muy inciertas. Sin embargo, el modelo COSMO-CLM prevé una fuerte disminución de las precipitaciones estivales y un ligero aumento de las otoñales en un escenario sin políticas. Incluso en escenarios con políticas climáticas, se espera una ligera disminución de las precipitaciones en invierno y primavera y una disminución más acusada en verano. Teniendo en cuenta estos cambios, la captación y el almacenamiento de agua de lluvia durante las estaciones más húmedas (por ejemplo, el otoño) para utilizarla durante los periodos más secos, sobre todo en verano, cuando se espera que disminuyan las precipitaciones. Aunque las proyecciones también indican incertidumbre en las precipitaciones extremas, los sistemas de RWH pueden amortiguar estas incertidumbres almacenando el exceso de agua de lluvia durante las precipitaciones extremas y liberándola gradualmente durante los periodos de escasez, estabilizando así la disponibilidad de agua [64].

Por lo tanto, la implantación de sistemas de producción de agua de lluvia en Turín permitiría mitigar los efectos negativos de esta variabilidad climática, reduciendo la dependencia de los

recursos de agua potable y mejorando la resistencia de la ciudad al cambio climático previsto.

Para el presente estudio, como característica sociodemográfica de los barrios de Turín, debemos tener en cuenta la densidad de viviendas. Por ejemplo, en los barrios alrededor del centro de la ciudad (4,5,6 y 11), la densidad de viviendas es alta, mientras que el porcentaje de ciudadanos económicamente asistidos es medio-bajo. En el caso de los barrios con colinas (21 y 22), la densidad de viviendas y el porcentaje de ciudadanos económicamente asistidos son bajos. También hay situaciones contrastadas entre barrios; en el barrio 18 (Barriera di Milano), el porcentaje de ciudadanos económicamente asistidos es medio-alto y la densidad de viviendas también es alta, mientras que ocurre lo contrario en el barrio 22, donde vive parte del rango más envejecido de la población, por lo que la densidad de viviendas es baja, teniendo en cuenta que pertenecen a una clase económica óptima [60].

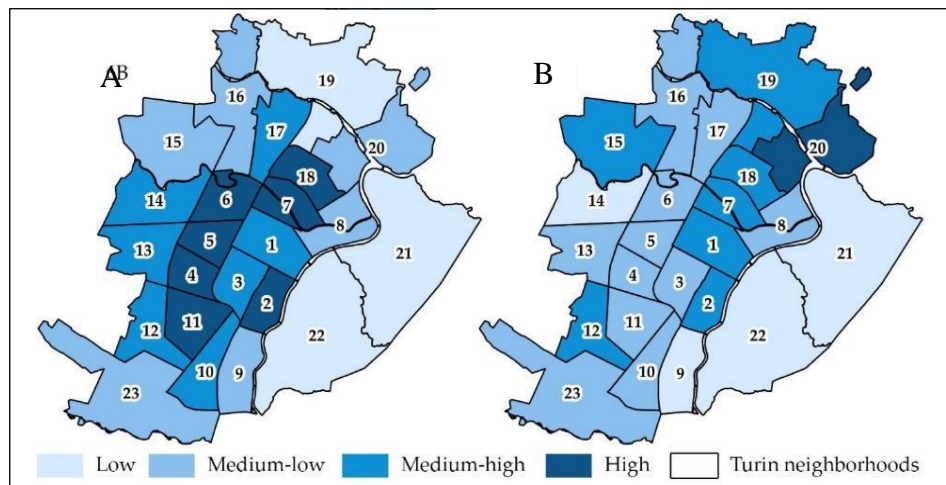


Figura 10. A - Densidad de viviendas y B - Porcentaje de ciudadanos económicamente asistidos de los barrios de Turín. Extraído y modificado de [60].

Al igual que la densidad de viviendas está relacionada con el porcentaje de personas que reciben ayudas económicas, dependiendo de la zona de la ciudad en la que se encuentren, también existe una relación entre la zona y la tipología de las viviendas, mostrando una división bien definida entre la parte oriental montañosa y la parte occidental llana. La zona montañosa presenta casas de baja altura (de 1 a 3 pisos) con amplios jardines en zonas de crestas y pequeños valles. En cambio, la zona llana, que abarca el centro histórico y las instituciones de la ciudad, está formada predominantemente por edificios de varias plantas (de 2 a 10) organizados en bloques ortogonales. Las observaciones aéreas revelan un predominio de zonas boscosas, prados y jardines en la parte montañosa, con baja densidad de viviendas, mientras que la parte llana está densamente edificada, con ocasionales jardines públicos y privados. La densidad residencial de la ciudad es mayor en la zona de llanura ampliada, que creció significativamente después de que Turín se convirtiera en la capital del Ducado de Saboya a principios del siglo XVII. En aquella época, la colina se utilizaba principalmente para fines agrícolas, al igual que el resto de la llanura fuera de la ciudad antigua.

Fue más tarde cuando la parte llana de la ciudad se expandió, dando lugar a la aparición de características urbanas y edificatorias diferenciadas dentro de zonas homogéneas [31]. Tal y como identificó Matteo Carollo en su trabajo de tesis (2020) [31], la división cualitativa aproximada de estas zonas, basada en el mapa administrativo de Turín (Figura 11), puede ser la siguiente:

- El centro histórico, construido principalmente en los siglos XVII y XVIII, presenta casas con patios interiores, normalmente de 3 a 5 plantas.
- El ensanche del siglo XVIII-XIX (como los barrios de San Secondo y San Salvario), caracterizado por casas construidas en torno a un patio y casas "enrejadas"; la forma de la planta es más regular que en el centro histórico.
- La expansión de finales del siglo XIX-principios del XX, como algunas partes de los barrios de Crocetta, Cenisia y San Paolo, caracterizada por edificios de 4-6 plantas con una planta de 2-3 apartamentos por planta.
- La gran expansión demográfica y de vivienda de la posguerra, caracterizada por edificios de hormigón armado de entre 5 y 10 pisos (por ejemplo, los barrios de Santa Rita, Mirafiori, Pozzo Strada, Falchera y Le Vallette). En esta zona, los edificios más antiguos de principios del siglo XX, como las villas Art Nouveau de dos plantas del barrio de Santa Rita, destacan entre los edificios de apartamentos predominantes de los 60's y los 70's [31].

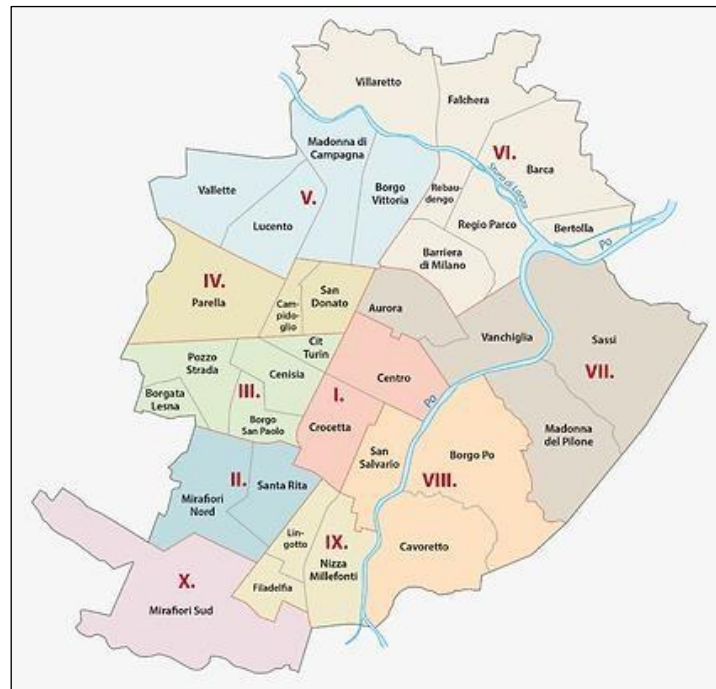


Figura 11. Barrios de Turín.
Tomado de [65].

Según las estadísticas sobre el agua del Istat, el consumo de agua residencial en 2022 representa aproximadamente el 77% de la demanda total de agua en Turín, es decir, 57.489 metros cúbicos

al año [66], lo que pone de relieve la importancia de abordar el uso del agua en este sector.

Además, el clima de Turín se caracteriza por veranos calurosos e inviernos moderados, con una precipitación media anual de unos 800 mm [67]. A continuación, según el Plan de Resiliencia Climática de Turín 2030, la cuestión de los recursos hídricos no es una de las principales vulnerabilidades destacadas. "Los principales retos asociados al cambio climático a los que deberá hacer frente Turín se refieren al aumento de las inundaciones debidas a precipitaciones intensas, incluso repentinas, cada vez más frecuentes e intensas." [68]. Esta condición climática presenta oportunidades para la recogida de aguas pluviales como estrategia viable no sólo para reducir el riesgo de inundaciones y reducir la carga del alcantarillado, sino también para complementar la demanda de agua no potable y ahorrar agua potable. Al centrarse en los edificios residenciales de Turín, este trabajo de tesis se alinea con los objetivos de sostenibilidad de la ciudad y contribuye a los esfuerzos más amplios para lograr la neutralidad hídrica y promover prácticas sostenibles de gestión del agua urbana [69].

3.1. Recolección de aguas lluvias - RWH

La utilización del agua de lluvia para usos domésticos en edificios residenciales es una forma importante de reducir el desperdicio de agua potable, promover un uso más consciente y concienciado y conseguir ahorros significativos, no sólo desde el punto de vista del agua, sino también desde el económico, con reducciones de costes de hasta el 50%.

La recogida de agua de lluvia es una tecnología ecológica que recoge, transporta y almacena el agua de lluvia procedente de zonas de captación como tejados, el suelo o infiltraciones de rocas para su uso posterior. El agua recogida debe almacenarse normalmente en un depósito de agua de lluvia o el agua recogida puede utilizarse para recargar las aguas subterráneas. La introducción del agua de lluvia es esencial en este procedimiento, ya que controla la infiltración de las aguas pluviales y contribuye a la capa freática. Este método se ha utilizado en todo el mundo durante más de 4 mil años, principalmente en las regiones áridas y semiáridas del planeta, para complementar las necesidades de agua para uso humano, doméstico, ganadero y de riego a pequeña escala. Hoy en día, la recogida de agua de lluvia se considera un método nuevo, eficaz y sencillo de ahorrar recursos hídricos [70].

Existen dos tipos principales de recogida de agua de lluvia: la basada en estructuras terrestres y la basada en estructuras de tejado. La recogida terrestre implica la recogida de la escorrentía de las superficies terrestres en diques, estanques, depósitos y embalses, mientras que la recogida en tejados implica la recogida de la escorrentía de las superficies de los tejados, lo que proporciona una fuente de agua más limpia y adecuada para beber. Según Gould y Nissen- Petersen, la recogida de agua de lluvia puede clasificarse en dos categorías, Figura 12 en función del tipo de superficie de captación y del nivel de funcionamiento [71]. Nos centraremos en los sistemas de captación en tejados en edificios residenciales, sabiendo que el agua de lluvia de los tejados es popular como

opción doméstica, ya que la fuente de agua está cerca de las personas y, por tanto, requiere un mínimo de energía para recogerla. Otra ventaja es que toda la propiedad, el mantenimiento y la autoridad del sistema se confía a los particulares y no a otros miembros de la comunidad.

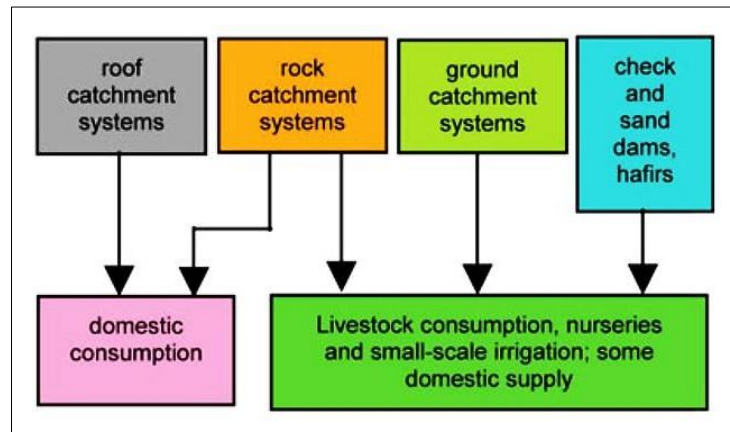


Figura 12. Sistemas de recogida de agua de lluvia a pequeña escala y usos. Obtenido de [70].

3.1.1. Áreas de aplicación de sistemas de recolección de aguas lluvias

Los sistemas de recogida de agua de lluvia pueden instalarse tanto en edificios nuevos como en los ya existentes [70], una situación ideal si queremos aplicarla en las ciudades para alcanzar la neutralidad hídrica respecto a la demanda de agua potable. El agua de lluvia recogida es una fuente gratuita de agua no potable, por lo que es adecuada principalmente para abastecer usos domésticos interiores y exteriores que no requieren agua potable, como las cisternas de los inodoros, el lavado de escaleras, la lavandería, el riego de jardines domésticos y el baldeo de calles (Figura 13). Para la colada y la limpieza doméstica, el agua recogida de la lluvia es ventajosa porque no favorece la formación de cal, lo que conlleva un menor consumo de productos desincrustantes. Además, la mejor acción limpiadora del agua de lluvia reduce la cantidad de detergente necesaria en un 50% aproximadamente. Para otros usos domésticos como la jardinería, regar las actividades con agua de lluvia también es beneficioso, ya que favorece la absorción óptima de minerales en las plantas. Y para las cisternas de los inodoros, no contribuye a la formación de cal. Otra posibilidad, como el agua de lluvia es relativamente limpia, con un tratamiento adecuado puede incluso utilizarse como fuente de agua potable [72].

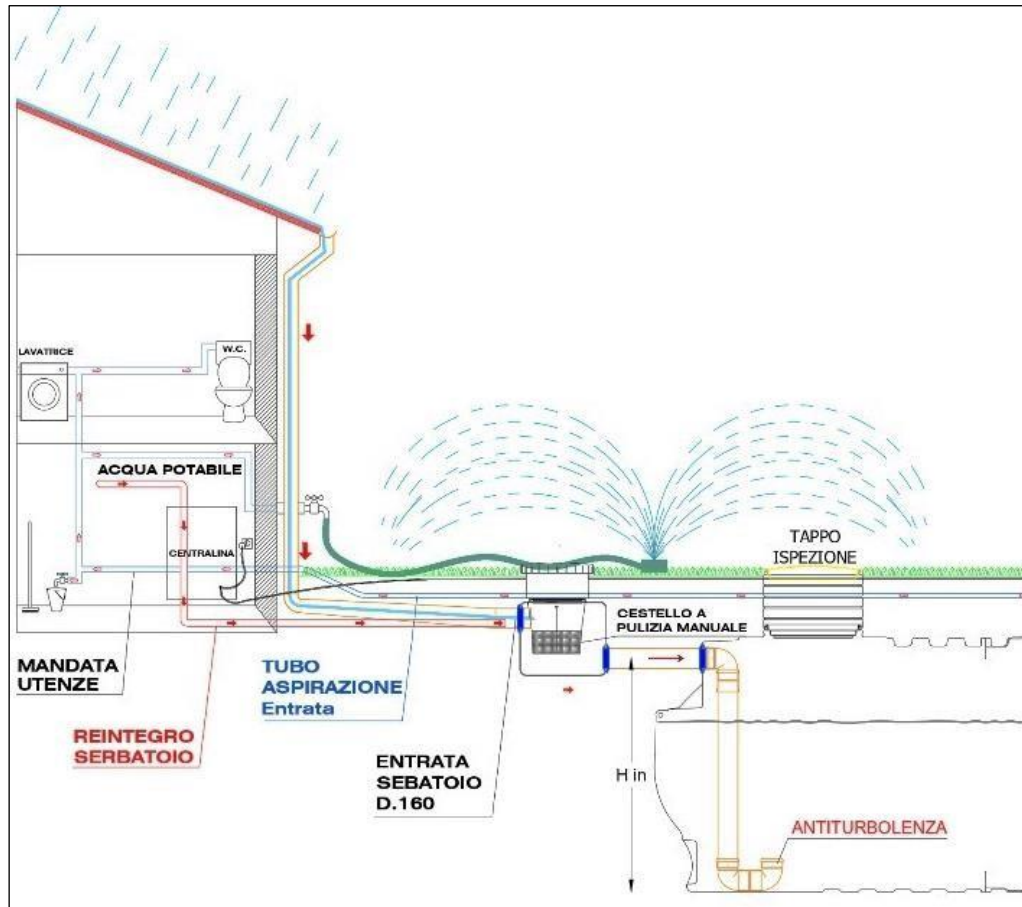


Figura 13. Áreas de aplicación doméstica de RWH.
Tomado de [72].

3.1.2. Componentes de un sistema de recolección de agua de lluvia en la azotea

Aunque el agua de lluvia puede recogerse de muchas superficies, los sistemas de recolección de agua de lluvia más comunes son los de los tejados, sobre todo porque la calidad del agua recogida suele ser relativamente alta cuando se toman las medidas adecuadas de instalación y mantenimiento.

Los componentes de los sistemas de captación y almacenamiento de agua de lluvia para uso doméstico pueden variar en dimensiones, materiales y cantidad debido a factores económicos y climatológicos del lugar de instalación, sin embargo, se consideran al menos, cuatro componentes primarios (Ver Figura 14). El área de captación corresponde a la superficie destinada a recoger el agua, en este caso, el área efectiva de cubierta, que posteriormente distribuye el agua al sistema de conducción formado por canalones y tuberías. Los canalones recogen y transportan el agua de lluvia desde el tejado hasta el sistema de drenaje, que a su vez transporta el agua hasta una unidad de almacenamiento [73]. Este tercer componente corresponde a la estructura o conjunto de estructuras físicas destinadas a almacenar el agua. Y, por último, el sistema de suministro consiste en un grifo o una bomba, en función de las características y necesidades del edificio [73].

A. Zona de influencia

Este sistema de recogida es una estructura básica como tejados y canalones que conducen el agua de lluvia al depósito de almacenamiento. Los tejados son una buena opción para captar el agua de lluvia, ya que pueden recoger grandes volúmenes de agua de lluvia. El almacenamiento real y potencial del agua de lluvia varía en función de factores como la intensidad de la lluvia, la superficie del tejado, el tipo de material de cubierta y el entorno. Los tejados deben estar hechos de materiales químicamente inertes, como madera, plástico, aluminio o fibra de vidrio. Algunos de los mejores materiales para tejados son las pizarras, las tejas de arcilla, las tejas de hormigón, la chapa ondulada galvanizada y los tejados de paja de hojas de palmera. Lo ideal es no pintar ni recubrir las superficies, pero si se utiliza pintura, debe ser no tóxica, sin plomo [70].

B. Sistema de transporte

Es necesario un sistema de transporte para trasladar el agua de lluvia desde la zona de captación hasta el sistema de almacenamiento mediante la conexión de tuberías de desagüe y tuberías desde la azotea hasta uno o varios bajantes que transportan el agua recogida a través de un sistema de filtrado hasta el depósito. La red de tuberías puede estar hecha de materiales como polietileno (PE), polipropileno (PP) o acero inoxidable. Es importante filtrar el agua de lluvia antes de almacenarla en un depósito y antes de utilizarla, para eliminar cualquier partícula o residuo. El tipo de sistema de filtrado elegido debe basarse en las condiciones de construcción. Es aconsejable utilizar filtros de bajo mantenimiento con un alto rendimiento de filtrado y caudal de agua. Además, también deben instalarse sistemas de "primera descarga", que filtren la lluvia inicial y la desvíen fuera del tanque de almacenamiento, para eliminar los contaminantes en la primera lluvia. Esta cantidad de agua también se tendrá en cuenta a la hora de estimar la eficiencia del RWHS [70].

C. Sistema de almacenamiento

Para almacenar el agua de lluvia para su uso posterior, se puede construir un tanque de almacenamiento o cisterna, ya sea sobre el suelo, lo más habitual para la recogida en tejados, parcialmente bajo tierra, o bajo tierra, lo más habitual para los sistemas de captación en el suelo, pero en términos generales, depende del espacio disponible. Este componente de un sistema de recogida de agua de lluvia suele ser el más caro, ya que requiere un diseño y una construcción meticulosos para garantizar la durabilidad, la estanqueidad y la prevención de la contaminación del agua. Cuando se construyen depósitos subterráneos, es importante utilizar materiales y diseños que puedan soportar la presión del suelo circundante y del agua cuando el depósito está vacío, así como los posibles daños causados por las raíces de los árboles. Estos depósitos pueden fabricarse con materiales como hormigón armado, fibra de vidrio, polietileno, acero inoxidable, madera, metal o tierra. La elección del material depende en gran medida de lo que esté disponible localmente y sea asequible. Se pueden utilizar distintos tipos de depósitos, como los cilíndricos de ferrocemento, los grandes recipientes de mortero con forma de jarra y los depósitos de polietileno individuales o interconectados, que son los más populares por su facilidad de limpieza y conexión

al sistema de tuberías. Lo ideal es que los depósitos se sitúen cerca de la fuente de agua y del lugar donde se vaya a utilizar el agua para minimizar la distancia de transporte. También es importante garantizar una entrada de agua pluvial tranquila para evitar la alteración de los sedimentos, así como utilizar un filtro de extracción flotante para extraer el agua de la parte más limpia del depósito. Además, un sifón de rebosadero inclinado y un diseño cerrado ayudan a gestionar los residuos y evitan la entrada de insectos y animales. La capacidad necesaria del depósito depende principalmente del volumen de agua que pueda recogerse (en función de la superficie del tejado y los niveles locales de precipitaciones), el consumo de agua previsto (en función de la ocupación y el uso) y la duración prevista de las condiciones de sequía (duración de la sequía) [70].

D. Sistema de entrega

Un sistema de suministro de agua de lluvia suele consistir en una pequeña bomba, un depósito a presión y un grifo, y se utiliza cuando no es posible el suministro in situ por gravedad. Si el agua de lluvia se destina al consumo humano, debe desinfectarse, normalmente mediante filtración y/o desinfección con ozono o UV, para que sea apta para el consumo [70].

Componentes adicionales que sirven a diversos propósitos (Figura 15): Uno de ellos es el sistema de primera descarga, un recurso utilizado para desviar la escorrentía inicial de agua de la zona de captación, que contiene contaminantes acumulados en el tejado como polvo, hojas, heces de animales, piedras y otros elementos. Esta agua suele ser la más contaminada, constituyendo un riesgo potencial para la salud y afectando a la eficacia del sistema. La implantación de un sistema de primera descarga es importante, ya que los estudios han demostrado que el agua desviada contiene altos niveles de contaminantes como turbidez, fósforo, nitrógeno, zinc y *Escherichia Coli*, mientras que el agua posterior recogida en el depósito es significativamente más limpia. Es aconsejable utilizar equipos automatizados diseñados para desviar al alcantarillado los primeros 20-25 litros de escorrentía que entran en el tanque de almacenamiento. Otro componente es el filtro, que puede ser una obstrucción física, química o biológica comúnmente compuesta por una malla metálica y de nylon colocada a la entrada del tanque, que elimina los contaminantes o partículas del agua. Un tercer accesorio es la tubería de rebose, que drena el exceso de agua del tanque hacia el sistema de alcantarillado, evitando la inundación del edificio. El último es el sistema de bombeo, que distribuye el agua almacenada en caso de que los dispositivos para suministrar el agua no potable estén situados a mayor altitud [73].

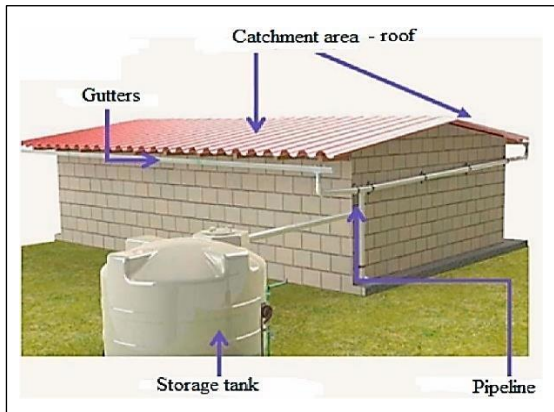


Figura 14. Principales componentes de un sistema RWHS doméstico.
Tomado de [73].

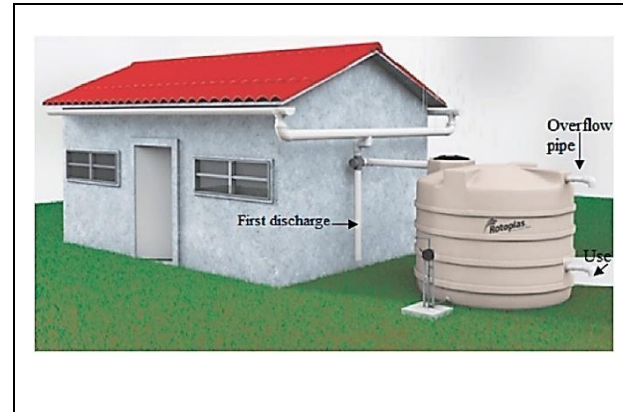


Figura 15. Componentes secundarios del RWHS.
Tomado de [73].

3.1.3. Eficacia de la recolección de aguas lluvias

La elección de los materiales, el diseño arquitectónico y la construcción, el mantenimiento regular y el volumen de precipitaciones son factores determinantes de la eficacia de los sistemas de recogida de aguas pluviales.

La medida de eficiencia más utilizada, conocida como coeficiente de escorrentía, Φ , representa la proporción de lluvia que se convierte en escorrentía, correspondiendo a un valor entre 0,0 y 1,0, situándose generalmente en 0,8. Depende de la porosidad y la pendiente del tejado, así como de la altura de las precipitaciones y la evaporación. Las tejas de cemento suelen arrojar un coeficiente de escorrentía anual de aproximadamente 0,75 en materiales de cubierta, mientras que las tejas de arcilla suelen reunir menos de 0,50 en función del enfoque específico de recogida. Las láminas de plástico y metal presentan la mayor eficiencia, que oscila entre 0.80 - 0.90 [70].

El buen funcionamiento de un sistema de recogida de aguas pluviales depende de un sistema de canalones bien diseñado y cuidadosamente montado. Cuando el sistema de canalones y bajantes se adapta y mantiene correctamente, más del 90% del agua de lluvia recogida en el tejado puede conducirse al depósito de almacenamiento. Los materiales más utilizados para los canalones y las bajantes son el metal y el plástico, aunque los productos a base de cemento, el bambú y la madera también son opciones viables [70].

La primera descarga - ff , expresada en milímetros, que se introdujo en el apartado anterior también debe tenerse en cuenta a la hora de estimar la cantidad neta de agua disponible para el abastecimiento de la demanda de agua no potable. Como esta parte de la precipitación no se recoge porque es rica en contaminantes, antes de ir al alcantarillado se utiliza para limpiar el tejado. Un valor común considerado para la primera descarga debe ser superior a un milímetro de precipitación ($ff > 1mm$).

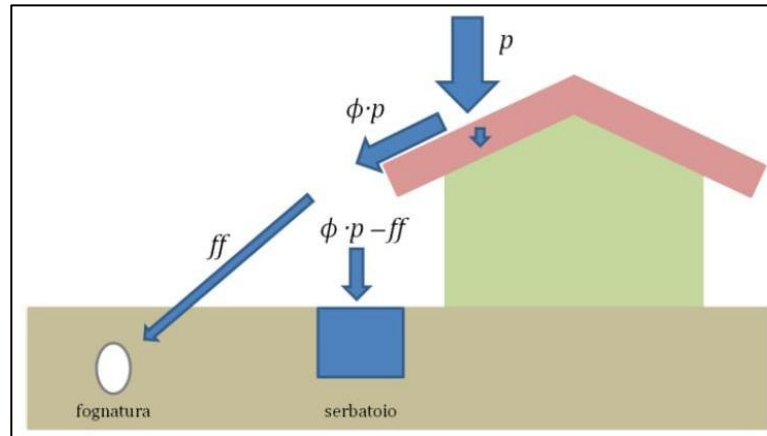


Figura 16. Elementos que intervienen en el esquema de eficiencia del RWH. Precipitación - p , Coeficiente de escorrentía - Φ , y Primera descarga - ff . Tomado de [31].

3.1.4. Criterios utilizados para seleccionar el sistema de recogida de agua de lluvia para uso doméstico.

A la hora de seleccionar sistemas de recogida de agua de lluvia para uso doméstico deben tenerse en cuenta varios factores [70]. En cuanto al tipo y tamaño de la zona de captación, se considera la superficie representativa del tejado del edificio, que se describirá más adelante en la sección *Superficie del tejado*. En cuanto a los datos pluviométricos locales y los patrones meteorológicos, se utilizará la información pluviométrica correspondiente a un periodo de 30 años para la ciudad de Turín, basada en una escala diaria teniendo en cuenta que no se dispone de datos pluviométricos muy detallados. Se tiene en cuenta el tamaño de la familia o el número de ocupantes según el edificio representativo. A continuación, la duración del periodo de sequía también es un factor importante, pero no se tendrá en cuenta directamente en este estudio. A continuación, la fuente de agua alternativa, que en estas circunstancias será el agua potable del acueducto de la ciudad. Por último, el costo del sistema de captación de agua lluvia implementado, pero que a efectos prácticos no será desarrollado y descrito con un alto nivel de detalle en este trabajo; sólo será considerado indirectamente al elegir el tanque de almacenamiento de agua lluvia, limitando su tamaño.

3.1.5. Demanda de agua no potable

Como se indica en la Tabla 1, la demanda total de agua para usos domésticos es de 150 litros/(persona-día), y el 55% de esa cantidad puede abastecerse con agua no potable (Figura 17), lo que significa que 82,5 litros/(persona-día) podrían suministrarse con agua de lluvia. Por otro lado, si se instalan dispositivos de ahorro de agua adecuados en los edificios residenciales, se prevé una reducción de la demanda total de 135,5 litros/(persona-día), como se muestra en la Tabla 3; es decir, el 54% de esa cantidad (Figura 18), que se destina a cubrir 72,8 litros/(persona-día) de la demanda de agua no potable.

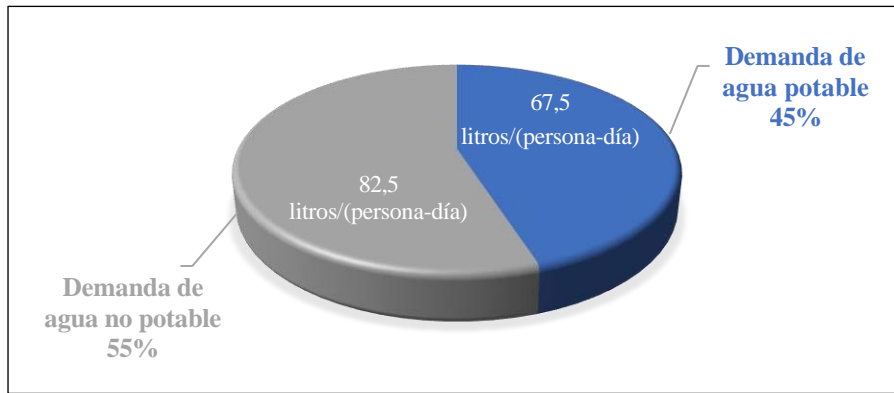


Figura 17. Distribución de la demanda doméstica normal de agua potable y no potable

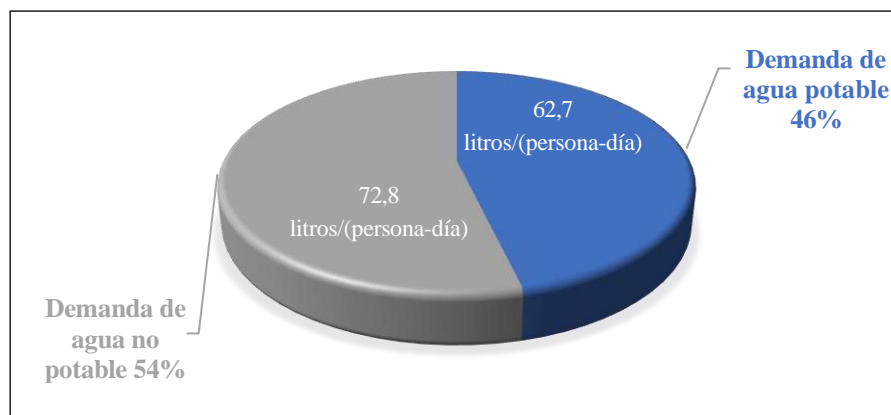


Figura 18. Distribución de la demanda doméstica eficiente de agua potable y no potable.

3.1.6. Suministro de agua de lluvia

Como parte de esta tesis, pretendemos evaluar el potencial de expansión de la construcción residencial en Turín reduciendo la demanda global de los edificios existentes, lo que aliviará la presión sobre el acueducto. Es crucial estimar con precisión la disponibilidad de agua de lluvia en la zona a lo largo del año, ya que será la fuente principal para satisfacer las necesidades de agua no potable. La eficacia del sistema de recogida de aguas pluviales depende de la demanda de agua no potable y del tamaño de la zona de captación, pero también de la cantidad y distribución del agua disponible para satisfacer esa demanda. Si la demanda de agua no potable de un edificio supera el suministro disponible, el sistema funcionará con menos eficacia de la prevista, independientemente del tamaño del depósito de almacenamiento.

Si la cantidad de agua de lluvia disponible para el suministro supera la demanda, se espera que la eficiencia de ahorro del sistema sea mayor. Esto es especialmente cierto si el tanque de almacenamiento es lo suficientemente grande como para maximizar el ahorro, pero al mismo tiempo presenta problemas de practicidad, ya que para obtener la mayor eficiencia del sistema también es necesario un tanque notablemente grande, lo que en la mayoría de los casos es inviable

desde el punto de vista constructivo y económico. La situación sería distinta si el tanque se dimensionara en función de la rentabilidad del sistema.

La precisión de los datos pluviométricos garantiza que el sistema pueda satisfacer de forma fiable la fracción prevista de la demanda de agua no potable (en el caso de Turín, no es posible cubrir con agua de lluvia la demanda total de agua no potable de la mayoría de los edificios representativos debido a la menor pluviosidad en comparación con la demanda de agua, que es significativamente mayor). Los datos pluviométricos que se utilizarán posteriormente en los cálculos de RWH para Turín consideran el registro de las estaciones meteorológicas de Turín gestionadas por la agencia regional para la protección del medio ambiente del Piamonte - ARPA, para un periodo de 30 años a partir del 1 de enero de 1990 con un paso temporal diario. Este enfoque pretende evitar centrarse únicamente en datos históricos y, en su lugar, tiene en cuenta los patrones de precipitación reales. De este modo, podemos hacernos una idea de las condiciones climáticas que cabe esperar en un futuro próximo [74] [75].

Para disponer de una muestra estadísticamente representativa de los datos pluviométricos del periodo de 30 años, se introduce la Figura 19 para representar la altura pluviométrica total mensual media de Turín, que también sigue los patrones de la Figura 8, mostrando 2 picos de precipitación en primavera e invierno. De esta síntesis de datos se obtiene una altura de precipitación total de 860,3 milímetros para el año medio.

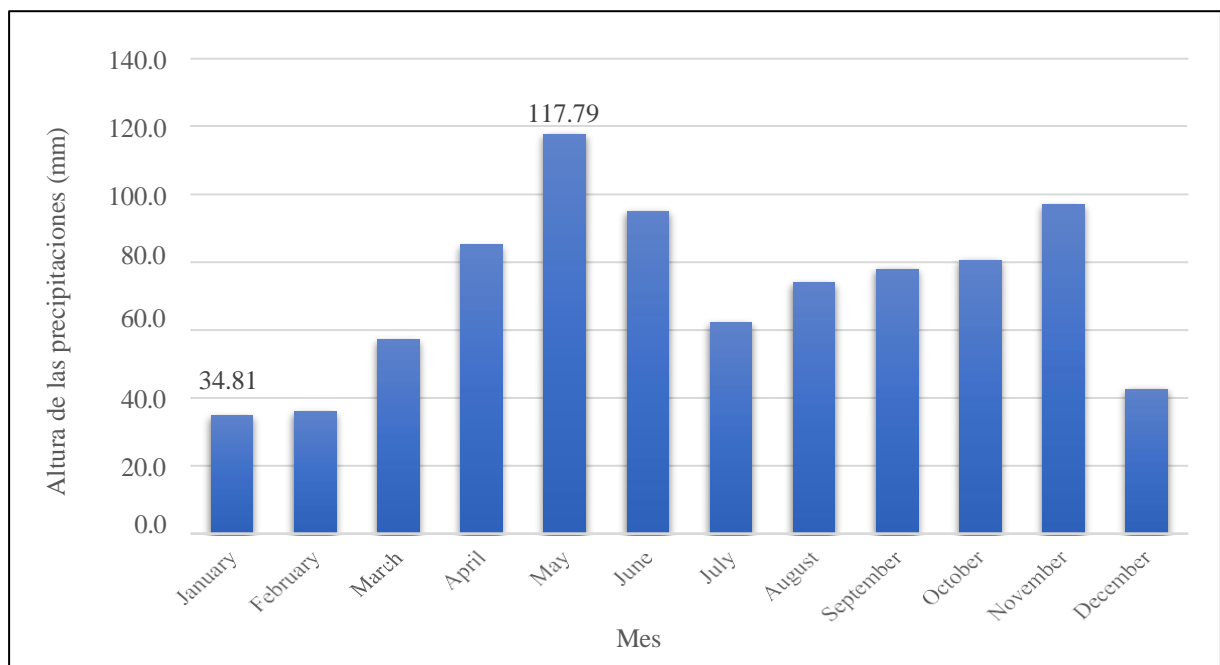


Figura 19. Altura media mensual de las precipitaciones para un periodo de 30 años (1990-2020).

Para soportar la decisión de tomar datos para 30 años, se presentan dos casos concretos. En el primero, Figura 20, la tendencia de la precipitación mensual a lo largo del año 1990 muestra el

comportamiento esperado para Turín, que son dos picos de precipitación en primavera y otoño, con una altura total de precipitación anual de 622mm, mientras que si vamos más allá, en el año 2020, Figura 21, esta tendencia se modifica, ya que los periodos en los que se concentran las lluvias se han distribuido un poco en el año, atribuyéndose ahora las estaciones más lluviosas a abril, julio y noviembre, con una altura total de precipitación anual de 910,8mm.

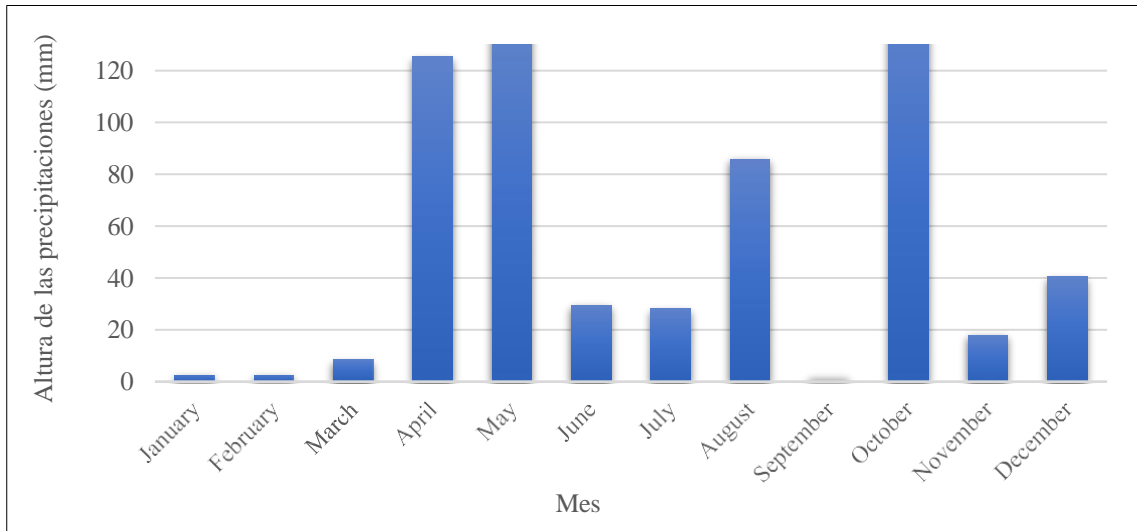


Figura 20. Altura total de las precipitaciones mensuales (mm) - 1990.

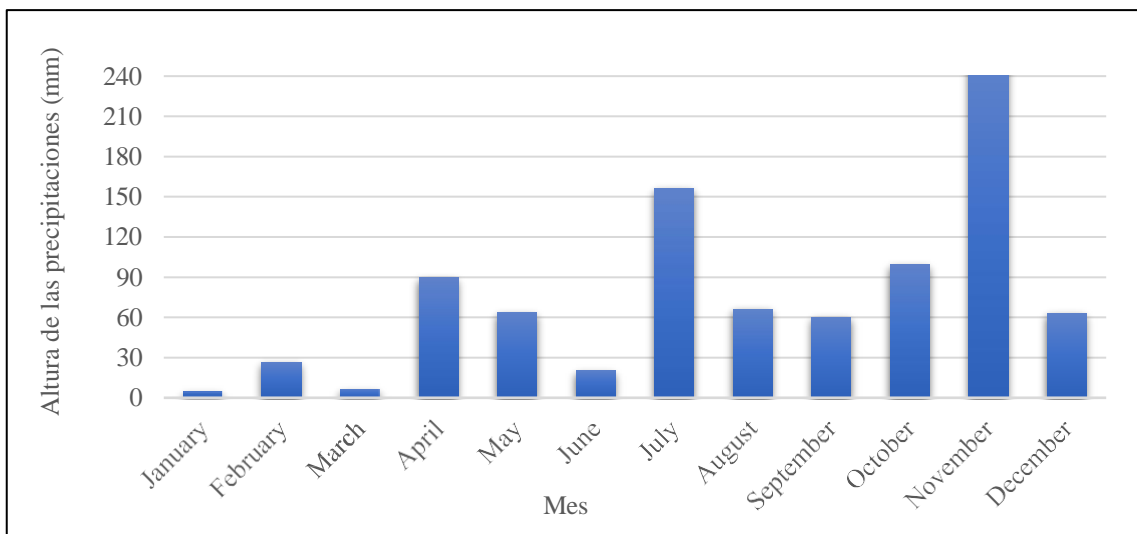


Figura 21. Altura total de precipitación mensual (mm) - 2020.

3.1.7. Método YAS

Es necesario seguir un método para dimensionar el tanque de almacenamiento del sistema RWH para usos interiores. En el presente documento, se utiliza la norma UNI/TS 11445:12 que describe

los criterios y procedimientos para diseñar, instalar y mantener sistemas RWH para usos no potables [76], siguiendo su método analítico, Método YAS (Yield after spillage), como se hace normalmente en Italia. El método se utilizará para evaluar el rendimiento del depósito simulando su comportamiento a escala diaria, haciendo uso de los datos pluviométricos de 30 años.

YAS, o Yield After Spillage, se refiere a un método utilizado en los sistemas de RWH en el que el rendimiento del agua de lluvia recogida se calcula después de considerar cualquier exceso. Básicamente, significa que el sistema permite primero que se desborde el exceso de agua antes de medir el agua disponible (véase la figura 22). Este método ayuda a analizar la eficacia y fiabilidad de la recogida de agua de lluvia teniendo en cuenta la capacidad del depósito y la demanda de agua no potable (demanda de agua de lluvia).

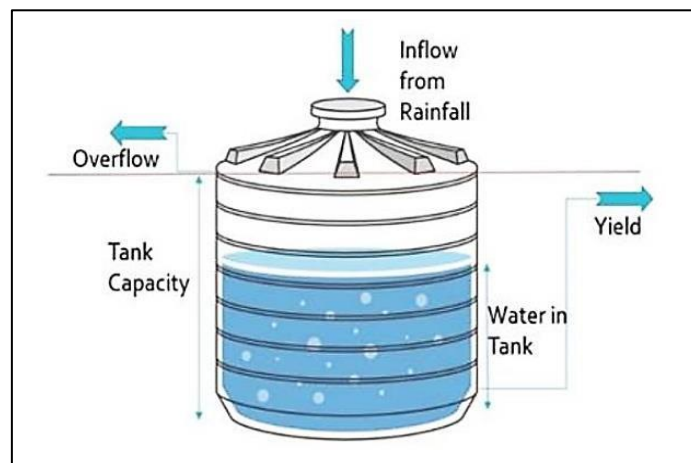


Figura 22. Funcionamiento del tanque de almacenamiento RWH. Tomado de [77].

Se requieren algunos parámetros de entrada específicos relacionados con el edificio, sus características físicas y ocupacionales, y es necesario introducirlos en las celdas resaltadas en gris de la Tabla 12. El primero corresponde a la superficie del tejado - H que funciona como zona de captación del sistema de RWH y debe seleccionarse en función de cada superficie representativa del tejado del edificio (apartado 3.2.1.2). Los valores del coeficiente de escorrentía - ϕ y de la primera descarga - ff toman normalmente valores de 0,8 y 1,0mm respectivamente, como se presenta en el apartado 3.1.3.. El primer coeficiente representa la fracción de agua de lluvia que fluye fuera del tejado en lugar de ser absorbida o evaporada y que puede almacenarse posteriormente o enviarse al sistema de alcantarillado en caso de que se trate de la primera descarga. Cuanto mayor sea ϕ , mayor será el potencial de recogida de agua de lluvia, que según la norma, se asigna un valor de 0,8 a las cubiertas inclinadas impermeables. En el caso de la medida ff , se asume como 1 mm para garantizar una limpieza adecuada del tejado tras un periodo seco antes de empezar a almacenar el agua de lluvia.

A continuación, también se debe considerar el Volumen inicial de agua en el depósito - s_0 . En este

caso se suma para que sea cero. Otro parámetro es la demanda diaria de agua no potable por persona - $D_{no\ potable}$, que se elige en función del uso y del estado de las instalaciones de agua. En este caso, se trata de usos residenciales del agua, en edificios equipados de forma ordinaria, es decir, con aparatos de consumo normal (no eficientes), o edificios modernizados, equipados con accesorios que ahorran agua. Según el cuadro 1, la demanda normal de agua no potable es de 82,5 litros por persona y día, mientras que el cuadro 3 indica que el consumo diario eficiente de agua no potable es de 72,8 litros por persona al día. Otro factor asociado al propio edificio, es el número de personas que lo ocupan - P . También se selecciona en función de la clase de edificio representativo, como se describirá más adelante en el apartado 3.2.1.2.

Tabla 12. Parámetros de entrada para la evaluación del potencial de RWH.

PARÁMETROS		
Superficie del techo - H		m^2
Coefficiente de escorrentía - ϕ		(-)
Primera descarga - ff		mm
Volumen inicial de agua en el depósito - s_0		m^3
Demanda de agua no potable/(persona.día) - $D_{no\ potable, n}$		L/(persona.día)
Número de personas - P		
Capacidad del depósito - S		m^3

Extraído y modificado de [32].

Además de los parámetros relacionados con el edificio, se requieren datos sobre la altura diaria de las precipitaciones - Profundidad de la lluvia (mm), durante 30 años, que para la simulación del depósito se acompañan de valores diarios de demanda de agua no potable, dados en metros cúbicos para todo el edificio, según la clase. Se calcula considerando la demanda diaria de agua no potable de una sola persona en litros, y los ocupantes del edificio que se está analizando (Ecuación 3). Estos datos se registran en la Tabla 13.

$$D_{non-potable, t} (m^3 / RB_n \cdot day) = \frac{D_{non-potable, n} (l/person \cdot day) \cdot P}{1000}$$

Ecuación 3

Tabla 13. Profundidad diaria de la lluvia y datos diarios de la demanda de agua.

Día	Profundidad de la lluvia (mm)	D no potable, t (m^3 / RB_n)
1	0	2,39
2	0	2,39
...
...
10950	13.6	2,39

Tomado y modificado de [32].

Por último, la capacidad del depósito - S se asigna siguiendo el método YAS, que se basa en un balance hídrico, representado por la ecuación 4. El procedimiento de cálculo se divide en diferentes etapas en el cuadro 14:

$$V_t = q_t + V_{t-1} - Y_t - O_t$$

Ecuación 4
Obtenido de [76]

donde,
 V_t = volumen de agua en el día t = m^3 ; $q_t + V_{t-1} - Y_t$; $S - Y_t$
 q_t = volumen de lluvia en el día t
 Y_t = volumen de agua suministrada en el día t = m^3 ; d_t ; V_{t-1}
 O_t = volumen de desbordamiento en el día t

Tabla 14. Cálculo del balance hídrico - método YAS

Lluvia neta (mm)	Caudal, q_t (m ³)	Rendimiento Y_t (m ³)	Volumen final, V_t (m ³)	Desbordamiento, O_t (m ³)	Almacenado (m ³)
-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-

Para el cálculo de la precipitación neta - Lluvia neta (mm), se consideran algunos de los parámetros descritos anteriormente en la Tabla 12, el coeficiente de escorrentía y la medición de la primera descarga del tejado. En primer lugar, el coeficiente de escorrentía nos indica el porcentaje de lluvia que puede ser recogida porque no se queda en el tejado, y en segundo lugar, la primera descarga se incluye en el cálculo en los casos en que la profundidad de la lluvia (mm) afectada por el coeficiente de escorrentía es inferior a 1mm. Si se da esta condición, el valor asignado a la lluvia neta es cero, ya que este primer mm de lluvia debe ser enviado al alcantarillado, porque no puede ser recogido debido a su alto contenido en contaminantes. La ecuación general de la lluvia neta (Ecuación 5) es la siguiente:

$$Netrain(mm) = Raindepth(mm) \cdot \phi - ff \quad \text{Si,} \\ Raindepth(mm) \cdot \phi - ff < 0 \rightarrow Nertain(mm) = 0$$

Ecuación 5

Luego, el volumen de lluvia para cada día - Inflow, q_t (m³) es estimado considerando la superficie del techo - H (m²) y el valor calculado anteriormente de Lluvia neta (mm), como se muestra en la Ecuación 6. Este será el volumen de agua que alimentará el tanque de almacenamiento, representado por la flecha hacia abajo en la Figura 23:

$$Inflow, q_t (m^3) = \frac{Net\ rain(mm) \cdot H(m^2)}{1000}$$

Ecuación 6

La cantidad de agua de lluvia recogida que debe suministrarse al edificio, representada por la

flecha que apunta hacia la derecha en la Figura 23, se denota como $Y_t (m^3)$, y se determina evaluando dos valores (véase la Ecuación 7). El primer valor considera el volumen de agua disponible en el depósito, mientras que el segundo representa la demanda diaria de agua de los usuarios. La evaluación compara estos dos valores y, en función del valor más limitado (es decir, el mínimo entre ambos), se determina el volumen de agua que debe suministrarse. Por ejemplo, si el día "t" el edificio necesita 3 metros cúbicos de agua de lluvia para usos de agua no potable, pero la cantidad actual de agua almacenada en el depósito es sólo de 2,5 metros cúbicos, el sistema suministrará sólo los 2,5 metros cúbicos de agua de lluvia disponibles a pesar de la mayor demanda.

El primer día de la simulación, el valor que sustituye al volumen final del día anterior - V_{t-1} , que se comparará con la demanda, es el Volumen inicial de agua en el depósito - S_0 , y según los parámetros de entrada, es cero, suponiendo que el día 1, el depósito de almacenamiento está completamente vacío.

$$Y_t (m^3) = \min d_t ; V_{t-1}$$

Ecuación 7

donde,

- d_t , demanda de agua no potable en metros cúbicos.
- V_{t-1} , volumen de agua del día anterior al día t.

A continuación, se estima el volumen final de agua - $V_t (m^3)$ que resta el agua suministrada al edificio, bien del volumen acumulado de agua de lluvia que entró y del agua que se había acumulado hasta el suministro anterior de agua no potable al edificio, bien de la capacidad del depósito (véase la ecuación 8). Está representado por la parte resaltada del tercer depósito de la Figura 23.

$$V_t (m^3) = \min \{ q_t + V_{t-1} - Y_t ; S - Y_t \}$$

Ecuación 8

donde,

- q_t , volumen de lluvia en el día t en metros cúbicos.
- V_{t-1} , volumen de agua del día anterior al día t.
- Y_t , volumen de agua suministrada en el día t.
- S, capacidad del depósito de almacenamiento.

Como el rendimiento del sistema RWH se evalúa teniendo en cuenta los vertidos, necesitamos estimar el desbordamiento, un volumen de agua que es función del volumen final (véase la ecuación 9). Se trata del agua que se envía al alcantarillado, una vez superada la capacidad total de almacenamiento del depósito, antes del rendimiento. Se denota en la figura 23 con la flecha hacia arriba.

$$O_t (m^3) = q_t + V_{t-1} - Y_t - V_t$$

Ecuación 9

donde,

- q_t , volumen de lluvia en el día t en metros cúbicos.
- V_{t-1} , volumen de agua del día anterior al día t.
- Y_t , volumen de agua suministrada en el día t.
- V_t , volumen final de agua.

El último paso de la simulación es calcular el volumen de agua de lluvia almacenada - Stored (m^3).

$$Stored(m^3) = V_t - V_{t-1} + Y_t$$

Ecuación 10

donde,

- v_t , volumen final de agua en el día t.
- v_{t-1} , volumen de agua del día anterior al día t.
- Y_t , volumen de agua suministrada en el día t.

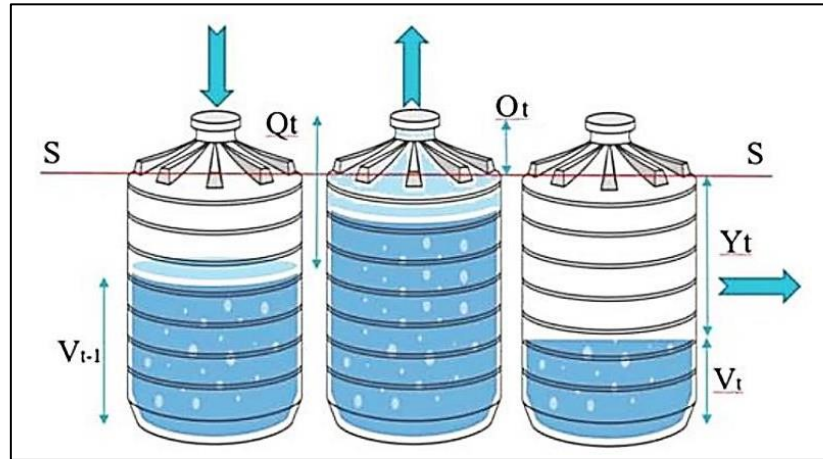


Figura 23. Representación del método YAS. Tomado de [77].

Tras ejecutar toda la simulación, los resultados obtenidos incluyen el valor de la demanda total de agua no potable (Ecuación 11) como suma de todas las demandas diarias durante 30 años. Es el mismo procedimiento para casi todos los parámetros restantes de la Tabla 15: La afluencia total se indica en la Ecuación 12, el rendimiento total en la Ecuación 13, el desbordamiento total en la Ecuación 14, el agua almacenada total en la Ecuación 15. Es diferente para el promedio anual de agua almacenada. En este caso, estimamos el promedio anual de agua ahorrada en el periodo de referencia de 30 años, como se indica en la ecuación 16. Este valor se utilizará para estimar el ahorro de agua obtenido de la implantación de sistemas RWH en edificios residenciales existentes y en nuevas urbanizaciones.

$$Tot. demand_n (m^3) = \sum_{t=1}^n D_{non-potable,t} (m^3/RB)_n$$

Ecuación 11

$$Tot. inflow_n (m^3) = \sum_{t=1}^n Inflow, q_t (m^3)$$

Ecuación 12

$$Tot. yield_n (m^3) = \sum_{t=1}^n Y_t (m^3)$$

Ecuación 13

$$Tot. overflow_n (m^3) = \sum_{t=1}^n O_t(m)^3$$

Ecuación 14

$$Tot. stored water_n (m^3) = \sum_{t=1}^n Stored_t (m)^3$$

Ecuación 15

$$Year average saved water(m^3) = \frac{Tot. yield_n (m^3)}{30}$$

Ecuación 16

Tabla 15. Resultados de la simulación del depósito RWH.

Demanda total (m³)	Tot. Afluencia (m³)	Rendimiento total (m³)	Desbordamiento total (m³)	Agua almacenada total (m³)	Promedio anual de agua ahorrada (m³)
-	-	-	-	-	-

Combinando los resultados anteriores es posible identificar dos índices importantes relacionados con el ahorro potencial de agua y el volumen óptimo del depósito (Índices de eficiencia, véase la Tabla 16). El primero corresponde al índice de ahorro de agua no potable - NPWS (%), que cuantifica la parte de la demanda de agua no potable que se sustituye por agua de lluvia (véase la ecuación 17); cuanto mayor sea este valor, mayor será el grado de sustitución de agua potable por agua de lluvia. El segundo índice es la eficiencia del uso completo del agua de lluvia - FURE (%), que nos da una idea de la capacidad de retención del sistema RWH, en otras palabras, cómo de capaz es el depósito de almacenar el agua de lluvia disponible que entra en el sistema. Se representa mediante la Ecuación 18.

$$NPWS(\%) = \frac{\sum_{t=1}^n Y_t}{\sum_{t=1}^n D_{non-potable,t}}$$

Ecuación 17

$$FURE(\%) = \frac{\sum_{t=1}^n Stored_t}{\sum_{t=1}^n Inflow, q_t}$$

Ecuación 18

Un tercer índice que puede estimarse es el grado de desbordamiento (véase el cuadro 16), que representa el porcentaje de agua de lluvia recogida por el sistema que no puede ser almacenada por el depósito debido a limitaciones de capacidad (véase la ecuación 19). Este exceso de agua de lluvia se envía al alcantarillado. Además de afectar a la eficacia y el rendimiento del sistema de RWH, también interviene en la gestión del riesgo de inundaciones, ya que la parte del agua de lluvia que no se utilizó para satisfacer la demanda de los edificios debe depositarse ahora en el sistema de aguas residuales. Cuanto menor sea el grado de desbordamiento, mejor, ya que significa que el agua de lluvia que se recogió no se desperdició y reducirá la presión actual sobre las redes de alcantarillado de la ciudad.

$$Overflowdegree(\%) = \frac{Tot. overflow_n}{Tot. inflow_n}$$

Ecuación 19

Tabla 16. Índices de eficiencia de los RWH.

NPWS (%)	FURE (%)	Grado de desbordamiento (%)
-	-	-

Los índices NPWS y FURE dependen en gran medida de la capacidad del depósito elegido. Por ello, hemos procedido a dimensionar el depósito de almacenamiento de agua caliente sanitaria, un componente que requiere especial atención:

Consideraciones de referencia para diseñar el tamaño del tanque de almacenamiento:

Es importante establecer los requisitos mínimos para diseñar el depósito de un sistema de recogida de aguas pluviales (RWH) con el fin de garantizar una aplicación viable de esta estrategia sostenible en el mundo real. Esto incluye cuestiones de constructibilidad, así como de viabilidad económica, sobre todo teniendo en cuenta que, para las intervenciones en edificios residenciales, la financiación procede principalmente de fuentes privadas limitadas.

Basándose en el trabajo de Fewkes et.al. (2000), Carollo et al. (2022) sugieren considerar una capacidad mínima del tanque de almacenamiento a respetar, teniendo en cuenta que la simulación se realiza en base diaria (ver Ecuación 20) [78]:

$$S/Q \geq 0,01$$

donde,

- S, capacidad del tanque de almacenamiento seleccionado (m³)
- Q, caudal medio anual de agua de lluvia (m³)

Ecuación 20

Otra directriz que sigue el autor para elegir un tamaño adecuado del depósito de agua de lluvia para usos interiores procede de la norma italiana UNI/TS11445 [76]. La norma tiene en cuenta la entrada anual de agua de lluvia y la demanda anual de agua no potable para definir la capacidad del depósito - S (véase la ecuación 21). Su objetivo es garantizar que el 10% de la entrada anual de agua de lluvia o el 10% de la demanda anual pueda almacenarse en el depósito [78].

$$S = 10\% \cdot \min\{Annual\ average\ inflow, q(m^3); Annual\ average\ Demand_{non-potable} (m^3)\}$$

$$S = 10\% \cdot \min \left\{ \frac{Tot. inflow_n (m^3)}{30} ; \frac{Tot. demand_n (m^3)}{30} \right\}$$

Ecuación 21

Tomado de [76], [78]

Una consideración diferente que el autor toma de Asadieh et al. (2016) y Gnecco et al. (2013) está directamente relacionada con la eficiencia en el ahorro de agua. Afirma que la capacidad del

depósito previamente estimada con la Ecuación 21, debe garantizar al menos el NPWS_{min} (Ecuación 23), que varía en función de la eficiencia máxima (Ecuación 22) [78].

$$NPWS_{max}(\%) = f(S \rightarrow \infty)$$

Ecuación 22

$$NPWS_{min}(\%) = 80\% \cdot NPWS_{max}(\%)$$

Ecuación 23
Obtenido de [78]

Asegurándose de respetar estos requisitos y de no bajar nunca del 80% del rendimiento máximo del sistema, se espera obtener un tamaño de depósito adecuado para el sistema de RWH.

Dimensionamiento del depósito de RWH - Escenario A

El primer escenario forma parte de la evaluación de referencia y evalúa el potencial de ahorro de agua potable mediante la implantación de sistemas de RWH en edificios existentes, en condiciones normales (equipados con electrodomésticos de consumo de agua estándar).

En este caso, el tanque de almacenamiento se dimensiona para garantizar la máxima eficiencia en términos de ahorro de agua, es decir, la capacidad de almacenamiento será lo suficientemente grande como para que los NPWS alcancen el valor máximo, sin tener en cuenta las implicaciones prácticas y económicas de construir un tanque tan grande.

Dimensionamiento del depósito RWH - Escenario B

Por razones prácticas, la eficacia de ahorro de agua que es posible conseguir con un tamaño de depósito razonable no se corresponde con el máximo. Por este motivo, en esta situación, nos ceñimos estrictamente a las consideraciones de referencia anteriores para elegir el tamaño del depósito de almacenamiento. Esto significa que, en primer lugar, definimos la capacidad del depósito (S) mediante la ecuación 21; a continuación, establecemos el rendimiento máximo posible mediante la ecuación 22 y, basándonos en él, estimamos el rendimiento mínimo necesario mediante la ecuación 23. Este paso nos da la información para realizar la primera comprobación (Ecuación 24) que permite identificar si el sistema cumple los requisitos mínimos de eficiencia en términos de ahorro de agua. Debe hacerse una segunda comprobación, siguiendo la Ecuación 20, para garantizar cierta capacidad de almacenamiento del depósito a lo largo del año.

$$S \geq NPWS_{min}(\%)$$

Ecuación 24

3.2. Concepto de edificio representativo

Para cuantificar el ahorro de agua conseguido con la implantación de sistemas de recogida de aguas pluviales en edificios y, a continuación, escalarlo a nivel de ciudad, el método elegido debe

tener en cuenta las características de la zona urbana en general, incluidos factores como los mencionados en el apartado 3.1.4; en este apartado, nos centraremos en factores relacionados con el edificio, como la zona de captación y el número de ocupantes. El método del edificio representativo aborda estos requisitos seleccionando edificios que caracterizan la zona urbana, lo que permite un análisis escalable y más aproximado que puede aplicarse en distintos entornos urbanos. Este enfoque permite estimar el ahorro de agua y es útil para ampliar el análisis al nivel de la ciudad debido a sus ventajas específicas:

A. Escalabilidad

Al utilizar un edificio representativo como modelo, el método permite proyectar el potencial de ahorro de agua a diferentes escalas urbanas, desde edificios individuales hasta ciudades enteras. Por eso, en este caso, la extrapolación es esencial, ya que la medición directa en todos los edificios no es una idea práctica [78].

B. Precisión en entornos urbanos diversos

Precisión en entornos urbanos diversos: Las zonas urbanas suelen tener una gran variedad de estilos arquitectónicos. El método del edificio representativo da cabida a esta diversidad, garantizando que las estimaciones de ahorro de agua reflejen las características específicas de los distintos barrios en lugar de aplicar un modelo único para todos [79].

C. Optimización de los recursos

No es factible analizar el potencial de ahorro de agua de un sistema de RWH a gran escala considerando edificio por edificio, y este enfoque nos ayuda a hacer predicciones fiables sin necesidad de recopilar y procesar una cantidad masiva de datos. Ahorra tiempo y dinero al utilizar eficazmente un conjunto de datos más pequeño.

3.2.1. Método de los edificios representativos

Una metodología bien definida en cuanto a la definición de los edificios representativos aplicada a la ciudad de Turín ya ha sido desarrollada por Carollo (2020) [31] en su trabajo de tesis y será presentada en este documento para posteriormente simular el funcionamiento del tanque y así conocer su capacidad óptima de almacenamiento y los índices de eficiencia correspondientes.

La ciudad de Turín debe dividirse en zonas para que dentro de cada una de ellas sea posible elegir clases de edificios de los tipos más repetidos y cada unidad esté representada por un edificio distintivo, con un número suficiente de estos edificios previstos. Según Carollo (2022) [78], centrándose en las clases de edificios con una prevalencia superior al 10% dentro del parque total de edificios.

Es esencial clasificar los edificios de la ciudad en función de parámetros adecuados y conocer la

cantidad correspondiente a cada tipo, por lo que el autor consideró dos parámetros para identificar el edificio representativo: la superficie del tejado (área de captación) y los ocupantes (para conocer la demanda de agua de cada edificio). Además, se necesita información correspondiente al número de edificios representados en cada clase (para conocer la demanda total de agua de cada tipología de edificio). Como este tipo de datos no siempre está registrado y disponible, el autor también incluyó metadatos como el número de apartamentos, plantas, población del distrito, número de familias y superficie media de los apartamentos.

Carollo (2020) creó una tabla de clasificación (Tabla 17), con dos entradas de datos principales, columnas que representan rangos de áreas de tejado y filas que representan rangos de ocupantes. Cada celda muestra el número de edificios en una zona específica de la ciudad con el correspondiente número de ocupantes y superficie de tejado. Sin embargo, esta clasificación no sirvió para cuantificar las frecuencias relativas y establecer qué categorías están más extendidas. Por lo tanto, fue necesaria una estrategia alternativa para identificar los edificios representativos.

Tabla 17. Clasificación óptima de los edificios (deseada).

Zona X	Superficie del techo (m)²				
Ocupantes	15-20	21-30	31-40	41-50	...
1-2	q11	q12	q13	q14	
3-5	q21	q22	q23	q24	
6-8	q31	q32	q33	q34	
9-11	q41	q42	q43	q44	
12-14	q51	q52	q53	q54	
...					

Extraído y modificado de [31].

3.2.1.1. Datos utilizados para clasificar los edificios.

Como no se disponía de los datos de clasificación ideales, fue necesario recurrir a la información obtenida del censo de población y vivienda de 2011 realizado por el Instituto Nacional de Estadística de Italia (Istat) [80]. Este censo arroja estadísticas relativas a los tipos de edificios residenciales y a la población, que están disponibles a varias escalas geográficas, incluidos los niveles regional, provincial y municipal. Para los municipios grandes, se utiliza una partición más detallada conocida como "áreas submunicipales" (area sub comunale - ASC), que en el caso de Turín comprende un agregado de barrios (Figura 24).



Figura 24. Mapa catastral de Turín con los límites de las áreas submunicipales y una lista con sus respectivos nombres. Extraído y modificado de Carollo (2020) [31].

(El autor ha tomado la información de ISTAT y del Geoportal del municipio de Turín).

A la hora de clasificar los edificios residenciales, se tienen en cuenta factores como el número de apartamentos y de plantas, mientras que la superficie del tejado no forma parte de los criterios de clasificación. Para cada área submunicipal, según Carollo (2020) [31], ISTAT proporciona datos sobre:

- Clasificación de los edificios en función del número de apartamentos, lo que significa la cantidad q_i de edificios para cada tipo del cuadro 18.
- Clasificación del edificio en función del número de plantas, similar a la anterior y con las clases de la Tabla 19.
- Población residente y
- Número de familias.

Tabla 18. Estadísticas sobre edificios clasificados por número de apartamentos.

Descripción	N° de edificios, q_k
≥ 16 apartamentos	q_1
$9 \leq$ apartamentos ≤ 15	q_2
$5 \leq$ apartamentos ≤ 8	q_3
3 ó 4 apartamentos	q_4
2 apartamentos	q_5
1 apartamento	q_6

Tomado y modificado de Carollo (2020) [31].

A escala municipal, se proporciona otra estadística que considera simultáneamente el número de apartamentos y el número de plantas de los edificios residenciales, para poder conocer el número de edificios para cada combinación de plantas y apartamentos (Tabla 19), y también, sumando las cantidades presentes en el cuadro 19, el número total de edificios de la ciudad de Turín es igual a 36158 unidades.

Tabla 19. Número de edificios de viviendas en Turín, clasificados por número de plantas y apartamentos.

Tipo	N° de apartamentos	N° de pisos				Total
		1	2	3	≥ 4	
6	1	1745	1998	333	51	4127
5	2	699	2248	545	83	3575
4	3-4	383	1997	1259	482	4121
3	5-8	234	916	1455	2978	5583
2	9-15	108	162	658	6790	7718
1	≥16	48	47	196	10743	11034
Total		3217	7368	4446	21127	36158

Tomado y modificado de Carollo (2020) [31].

3.2.1.2. Determinación de edificios representativos

Dado que las estadísticas ISTAT proporcionan datos a escala submunicipal, para la subdivisión del territorio de la ciudad en zonas se utiliza la partición en áreas submunicipales [31].

Como ya se ha mencionado, las características más notables del edificio representativo son:

- Número de habitantes
- Superficie del techo

Método de determinación de edificios representativos - Resumen.

El método para seleccionar los edificios representativos se basa en datos estadísticos relacionados con el número de apartamentos. Este método consiste en elegir un edificio representativo para cada clase de apartamentos en un área submunicipal, lo que da como resultado un total de seis edificios para cada área submunicipal, que serán los mismos para toda la ciudad. El edificio representativo de cada clase tendrá un número de interiores próximo a la media de esa clase; para elegir el número de apartamentos del edificio representativo de la clase superior a ilimitado (" ≥ 16 "), se introducirá la restricción de conservación de población.

Para establecer el número de ocupantes del edificio representativo genérico, se considera el tamaño medio de la familia en el área submunicipal.

Además, la superficie de techo se establece en función de la clasificación municipal, que incluye simultáneamente dos parámetros, el número de plantas y el número de viviendas/apartamentos dentro de cada clase, lo que permite establecer el número de plantas más frecuente dentro de cada clase, que luego se atribuye al edificio representativo de la clase correspondiente. A continuación, se identifica la forma del edificio (el par de valores de plantas y pozos/apartamentos) en la ciudad utilizando Google Maps-Street View, y se mide su superficie utilizando planos catastrales. Este procedimiento detallado garantiza la determinación precisa de los atributos del edificio representativo. Se supone que esta superficie es la del tejado del edificio. El procedimiento se explica detalladamente a continuación.

Habitantes / Ocupantes

El procedimiento para calcular el número de ocupantes del edificio presentado en el método de Carollo sigue un artículo científico [81], que asigna a cada vivienda/apartamento la familia media del ASC (Atlante Statistico dei Comuni / Atlas Estadístico de los Municipios) al que pertenece el edificio, definida en la Ecuación 25:

$$\text{Tamaño medio de la familia} = \frac{n^{\circ} \text{ inhabitants ASC}}{n^{\circ} \text{ families ASC}}$$

Ecuación 25
Tomado y modificado de [31]

La población del edificio es la suma de los habitantes de cada apartamento redondeada al entero (ecuación 26), es decir:

$$n^{\circ} \text{ ocupantes}_k = \text{tamaño medio de la familia} \cdot n^{\circ} \text{ apartamentos}_k$$

Ecuación 26
Extraído y modificado de [31]

En cuanto al número de apartamentos, ISTAT, como ya se ha mencionado, proporciona las cantidades de edificios q_k clasificados por el número de apartamentos, como en la Tabla 18. En el cuadro 20 las clases están numeradas.

Tabla 20. Clasificación Istat de edificios residenciales según el número de apartamentos.

Clase	Descripción	N° de edificios, q_k
1	≥ 16 apartamentos	q^1
2	$9 \leq \text{apartamentos} \leq 15$	q^2
3	$5 \leq \text{apartamentos} \leq 8$	q^3
4	3 ó 4 apartamentos	q^4
5	2 apartamentos	q^5
6	1 apartamento	q^6

Tomado y modificado de [31]

Como se presenta en la Tabla 20, cada clase no tiene valores únicos de apartamentos correspondientes, y la clase 1 no está limitada. Sin embargo, el autor [31] eligió en su método un valor interior para asociarlo a cada clase limitada. Era esencial que este valor estuviera próximo al valor central del intervalo de clases, como se indica en el cuadro 21.

Tabla 21. Número de apartamentos asignados a cada clase limitada.

Clase	N° de apartamentos
2	12
3	6
4	3
5	2
6	1

Tomado y modificado de [31]

Para conocer el número de habitantes del edificio de clase 1, que no tiene límite superior en términos de apartamentos, el autor estableció una restricción, es decir, asegurar que el modelo de área sub-municipal que se está construyendo conduce a una población total igual a la real, o que en la transición entre la realidad del área sub-municipal y el modelo de la misma se conserva el número de habitantes. Obsérvese cómo la conservación de la población del CSA conduce a un valor de la demanda global de agua del CSA igual al que se produce en la realidad.

A partir de la imposición de esta restricción y del cálculo de los habitantes de las otras clases de edificios, se obtienen los habitantes que debe contener el edificio representativo de la clase 1.

La población de una clase genérica limitada de edificios se calcula multiplicando el número de edificios pertenecientes a esa clase por la población de su edificio representativo: para ello es necesario calcular la frecuencia relativa (o porcentaje) de cada clase, ya que a continuación sólo se tendrán en cuenta las clases que superen el umbral de frecuencia del 10%:

$$f_k = \frac{q_k}{n^\circ \text{ buildings}} \quad - n^\circ \text{ edificios, el número de edificios residenciales en la CSA (suma de los } q_k \text{ de las seis clases).}$$

Ecuación 27
Extraído y modificado de [31]

Una vez eliminadas las clases con f_k inferior al 10%, las frecuencias de las clases K^* restantes se normalizan del siguiente modo:

$$f_k^{norm} = \frac{f_k}{\sum_{k=1}^{K^*} f_k}$$

Ecuación 28
Tomado y modificado de [31]

Los edificios se redistribuyen según las f_k^{norm} y la población relativa a la clase k es obtenida:

$$\text{población}_c \text{ clase}_k = n^\circ \text{ ocupantes}_k \cdot f_k^{norm} \cdot n^\circ \text{ edificios}$$

Ecuación 29
Tomado y modificado de [31]

Para la clase 1, si hay que tenerla en cuenta porque supera el umbral, evidentemente no se puede realizar este cálculo, al no conocer el término *apartamentos1* y por tanto los ocupantes1, pero imponiendo la conservación de la población, se puede obtener la población de la clase 1 por diferencia:

$$population_{class_1} = population_{real} - \sum_{k=2}^{K^*} population_{class_k} \quad \text{where,} \\ - population_{real}, \text{ real ASC population, from ISTAT.}$$

Ecuación 30
Extraído y modificado de [31]

En la práctica, sin embargo, ocurre lo contrario: se impone un valor entero al $n^\circ de ocupantes_1$ tal que el producto $n^\circ ocupantes_1 \cdot f^{norm} \cdot n_k^o buildings$ se aproxime lo más posible al valor:

$$population_{real} - \sum_{k=2}^{K^*} population_{class_k}$$

La discrepancia entre la población del área submunicipal del modelo y la población real es insignificante, con un error de magnitud inferior al 1%. En consecuencia, se ha determinado la ocupación calculada para un edificio representativo de la clase 1. Aunque la transición al número de apartamentos es sencilla, derivada de la relación entre ocupantes y el tamaño medio de la familia del ASC, este parámetro no es crítico para la simulación. Sin embargo, ayuda a establecer otro parámetro esencial, como la superficie del tejado.

Superficie del techo

Como la superficie del tejado y la superficie de la base de los edificios no se encuentran en los datos estadísticos, Carollo (2020) [31] mide la superficie de cualquier edificio de la ciudad utilizando mapas catastrales digitales proporcionados por el Geoportal del municipio de Turín [82] y el programa QGis. La superficie del tejado del edificio representativo se determina utilizando mapas catastrales digitales proporcionados por el Geoportal del municipio de Turín y el programa QGis. El proceso consiste en establecer la forma del edificio representativo teniendo en cuenta el número de plantas y apartamentos. Utilizando Google Maps - Street View, se identificó un edificio real que coincidía con la forma deseada, y su superficie se midió en el mapa catastral utilizando el programa QGis. A continuación, se asumió que la superficie identificada correspondía a la superficie del tejado del edificio representativo sin modificaciones.

Para establecer la forma del edificio, se considera la distribución de los edificios a escala municipal en función de las plantas y apartamentos a que se refiere el apartado 3.2.1.1, dividiendo cada cantidad del cuadro 19 por el número total de edificios de la ciudad, para obtener las frecuencias porcentuales y determinar la forma del edificio más extendida en la ciudad para cada clase k (Tabla 22). Para las clases 4, 5 y 6 se conoce directamente la forma más extendida, mientras que para las clases 1, 2 y 3 existe una ambigüedad: los edificios más extendidos de estas clases se caracterizan por tener un número de plantas sin límite superior, por lo que la forma del edificio no puede establecerse sólo con estos datos. Para la clase 1 no se desconoce el número de viviendas, ya que puede establecerse tras el cálculo de los ocupantes [31].

Tabla 22. Frecuencias porcentuales de los edificios residenciales de Turín, clasificados según el número de plantas y de viviendas/apartamentos (frecuencias aproximadas al número entero).

Clase	Nº de pisos				La forma de construcción más extendida
	1	2	3	≥ 4	
6	5	6	1	0	1 vivienda y 2 pisos
5	2	6	2	0	2 viviendas y 2 pisos
4	1	6	3	1	3 viviendas y 2 pisos
3	1	3	4	8	6 viviendas y al menos 4 plantas
2	0	0	2	19	12 viviendas y al menos 4 plantas
1	0	0	1	30	Al menos 6 viviendas y al menos 4 plantas

Extraído y modificado de [31]

Para hacer frente a la ambigüedad, el autor propone una hipótesis pragmática adaptada a las áreas submunicipales caracterizadas por el predominio de edificios de posguerra de hormigón armado de reciente construcción: se supone que los edificios representativos de estas áreas tienen dos o tres apartamentos por planta. Esto permite establecer el número de pisos (ecuación 31) igual a:

$$Pisos = \frac{n^\circ \text{ apartments}}{2} \quad \text{or} \quad \frac{n^\circ \text{ apartments}}{3}$$

Ecuación 31

Tomado y modificado de [31]

En el área urbana estudiada, existe un contraste entre los edificios de las distintas zonas. En las zonas submunicipales caracterizadas por edificios más antiguos no construidos en hormigón armado con alturas limitadas de aproximadamente 5-6 plantas, es factible disponer de dos o tres apartamentos por planta para las clases 2 y 3, mientras que para la clase 1 se requiere un edificio de al menos 6 plantas, pero a menudo incluso mucho mayor: por ejemplo, en el área submunicipal F, el número de apartamentos asociados al edificio de clase 1 es igual a 27, valor que implicaría un edificio de entre 9 y 14 plantas de altura, es decir, un tipo de edificio prácticamente ausente en ese territorio. En estas áreas submunicipales, sin embargo, son muy comunes las casas "enrejadas" o, en cualquier caso, los edificios de gran planta, con un patio alrededor del cual se disponen los edificios, que da a una única entrada en la vía pública, normalmente una puerta que permite el acceso al patio: este tipo de edificios tienen entre 3 y 5 plantas de altura y están equipados con una escalera que conduce a los balcones que rodean el patio, a través de los cuales se accede a cada apartamento, de modo que cada planta puede contener una media de 7-8 apartamentos [31].

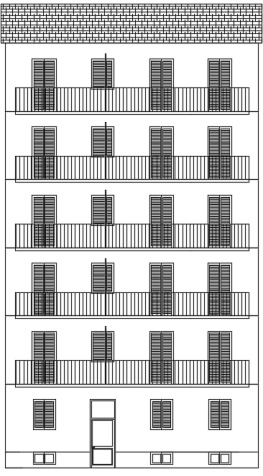
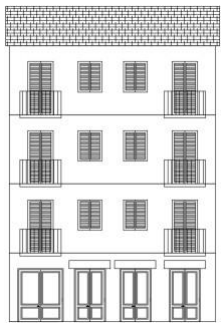
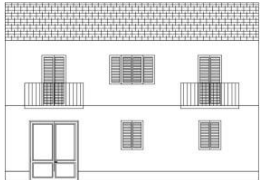
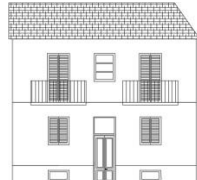
Para evaluar el número de apartamentos de un edificio, un método práctico consistía en utilizar Street View para contar los botones del interfono, que deberían corresponderse aproximadamente con el número de apartamentos [31].

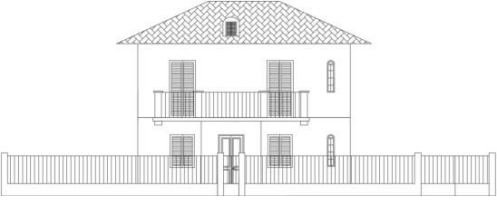
A través de la investigación, se han identificado cinco edificios representativos, uno para cada clase de 2 a 6 (Tabla 23), y cuatro tipos de edificios potenciales para la clase 1 (Tabla 24) basados en el número de ocupantes de esa clase. La Tabla 23 y la Tabla 24 contienen un resumen completo

de estos edificios representativos y sus características; el nombre que los identifica es "tipo k " o "tipo kx ", donde k es el índice de clase para todas las clases y x identifica la forma sólo en el caso de los edificios de clase 1 [31].

El edificio representativo de la clase 1 se elige entre los enumerados en el cuadro 24, en función del número de viviendas/apartamentos derivado del cálculo de conservación de la población de la ASC y del periodo de construcción de la zona, utilizando las tipologías A o B para las zonas antiguas y las tipologías C o D para las recientes: en concreto, el tipo A es una casa burguesa con patio interior, mientras que el tipo B es una típica casa popular "enrejada"; ambas tienen un patio interior al que se accede por balcones que conducen a los apartamentos [31].

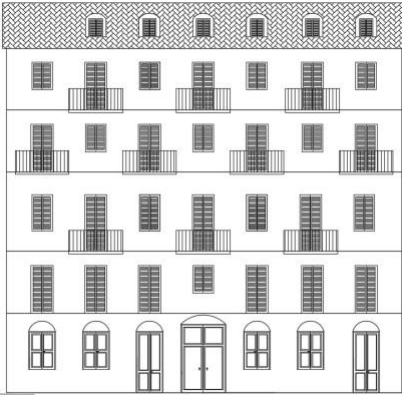
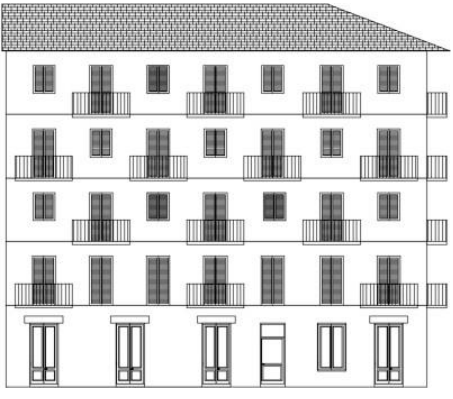
Tabla 23. Edificios representativos de las clases 2 a 6.

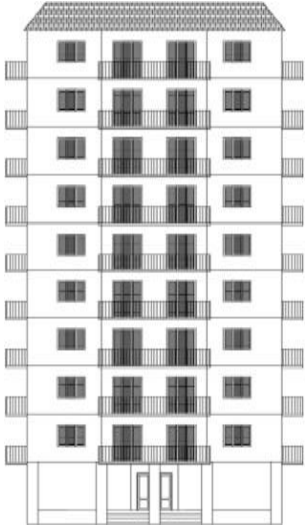
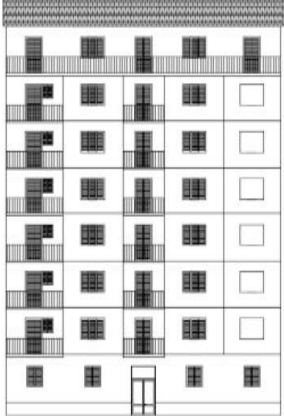
Parámetro	Tipo 2	Tipo 3
		
Plantas sobre rasante	6	4
Pisos residenciales	6	3
Apartamentos por planta	2	2
Total apartamentos	12	6
Superficie del techo (m ²)	155	148
	Tipo 4	Tipo 5
		
Plantas sobre rasante	2	2
Pisos residenciales	2	2
Apartamentos por planta	2 (1 al piano terra)	1
Total apartamentos	3	2
Superficie del techo (m ²)	160	117
	Tipo 6	

	
Plantas sobre rasante	2
Pisos residenciales	2
Apartamentos por planta	-
Total apartamentos	1
Superficie del techo (m ²)	82

Tomado y modificado de [31].

Tabla 24. Posibles edificios representativos de la clase 1.

Parámetro	Tipo 1A	Tipo 1B
		
Plantas sobre rasante	5 + ático	5
Pisos residenciales	5	4
Apartamentos por planta	-	-
Total apartamentos	18	27
Superficie del techo (m ²)	385	420
	Tipo 1C	Tipo 1D

		
Plantas sobre rasante	10	8
Pisos residenciales	9	8
Apartamentos por planta	3	2
Total apartamentos	27	16
Superficie del techo (m ²)	230	230

Tomado y modificado de [31].

3.2.1.3. Asignación de edificios a las áreas submunicipales de Turín.

Una vez definido el conjunto de edificios representativos, el autor analizó cada submunicipio, identificando en primer lugar las clases que superaban el umbral del 10% y calculando para cada edificio su número teórico de ocupantes con la Ecuación 26, valor que se reporta en las tablas siguientes, en el epígrafe Población redondeado a dos decimales. Junto a este número, para los tipos 2 a 6, se informa de la aproximación al número entero, para calcular la demanda de agua; para el tipo 1, el valor de población entre paréntesis es el resultado de aplicar la restricción de conservación de la población y se utiliza también en los cálculos posteriores de la demanda de agua.

Subzona municipal A (barrios Centro y Crocetta).

Tabla 25. Datos de población: Área submunicipal A /Barrios Centro y Crocetta).

Población (habitantes)	Nº de familias	Tamaño medio de las familias (habitantes por familia)
75966	40629	1.87

Extraído y modificado de [31].

Tabla 26. Edificios en el área submunicipal A.

N° edificios	Clasificación de edificios residenciales						Total
	6	5	4	3	2	1	
	98	77	158	350	940	1487	3110

Extraído y modificado de [31].

Tabla 27. Valores de f_k^{norm} y la correspondiente cantidad de edificios. Área submunicipal A.

Clases de edificios que superan el umbral		
Clase	$f_k^{norm}(\%)$	N° edificios
1	53,54	1665
2	33,86	1053
3	12,60	392

Tomado y modificado de [31].

Sólo las clases 1, 2 y 3 superaron el umbral del 10%. El área submunicipal A comprende el distrito Centro, de construcción antigua, y el distrito Crocetta, construido en parte en los siglos XVIII y XIX. En particular, los edificios representativos de la clase 1 se caracterizan por tener un mínimo de cuatro plantas, y casi el 50% de los edificios de la ASC A, Figura 25, tienen al menos dieciséis apartamentos: una encuesta virtual utilizando Google Maps reveló que la mayoría de los edificios de la zona no superan las 5-6 plantas. Además, se observó que las casas con patios interiores y balcones son bastante comunes y de un tipo más acomodado que las que se encuentran en algunos distritos fuera del centro histórico. Por lo tanto, se seleccionó el tipo de edificio 1A y los edificios representativos finales del área submunicipal A se presentan en la Tabla 28.

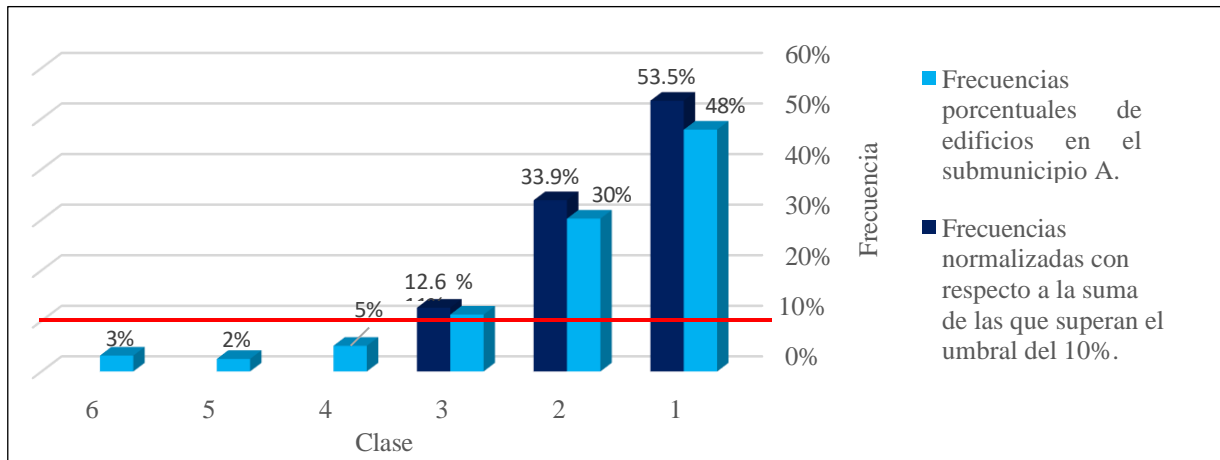
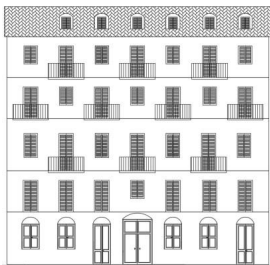
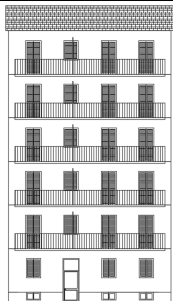
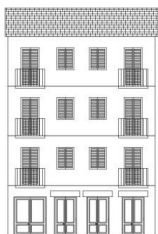


Figura 25. Frecuencias porcentuales de edificios en el área submunicipal A y frecuencias normalizadas f_k^{norm} relativas a la suma de los que superan el umbral del 10%.
Extraído y modificado de [31].

Tabla 28. Edificios representativos del área submunicipal A

Tipo de edificio	1A	2	3
Frecuencia normal (%)	53,54	33,86	12,6
Superficie del tejado (m2)	600	460	240
Población	33,66 (29)	22,44 (22)	11,22 (11)
			

Tomado y modificado de [31].

Área submunicipal B (barrios de Santa Rita y Mirafiori Nord).

Tabla 29. Datos de población: Área submunicipal B / Barrios de Santa Rita y Mirafiori Nord.

Población (habitantes)	N° de familias	Tamaño medio de las familias (habitantes por familia)
100574	49002	2.05

Tomado y modificado de [31].

Tabla 30. Edificios del área submunicipal B.

N° edificios	Clasificación de edificios residenciales						Total
	6	5	4	3	2	1	
	185	176	303	431	551	1122	2768

Tomado y modificado de [31].

Tabla 31. Valores de f_k^{nom} y la correspondiente cantidad de edificios. Área submunicipal B.

Clases de edificios que superan el umbral		
Clase	$f_k^{nom}(\%)$	N° edificios
1	46,60	1290
2	22,90	634
3	17,93	496
4	12,57	348

Tomado y modificado de [31].

Las clases seleccionadas son sólo las cuatro iniciales (1 - 4) que superan el umbral del 10% (Figura 26). La ASC B se compone predominantemente de edificios construidos en la posguerra en hormigón armado de altura considerable, alcanzando algunos hasta cerca de 10 plantas. En consecuencia, se eligió un edificio de tipo 1C para la clase 1, y los edificios representativos finales del área submunicipal B se presentan en la Tabla 32.

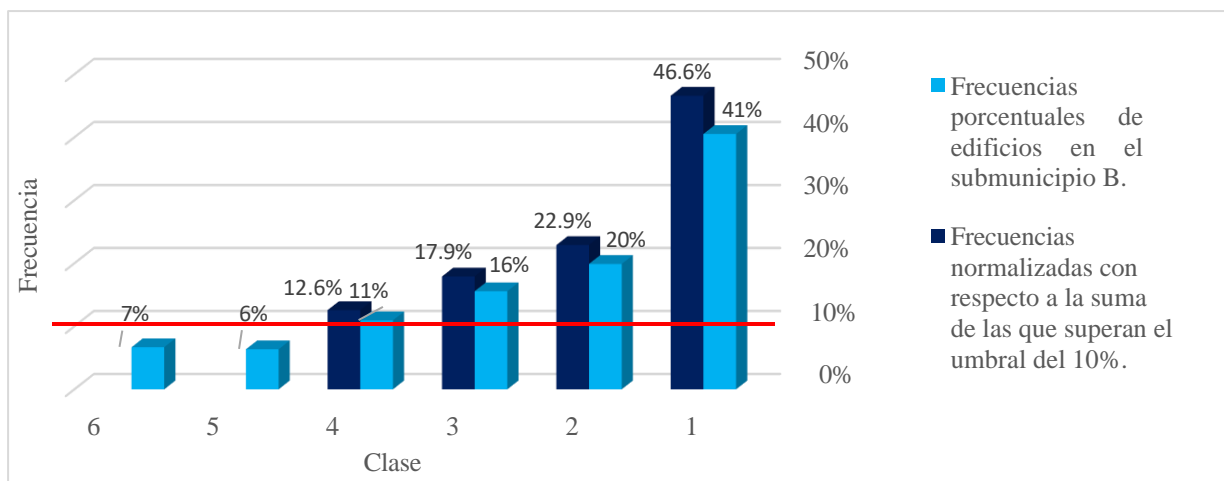
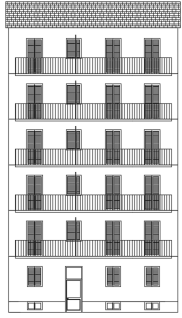
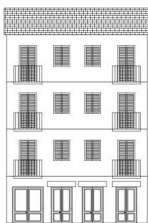
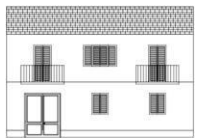


Figura 26. Frecuencias porcentuales de edificios en el área submunicipal B y frecuencias normalizadas f_k^{norm} relativas a la suma de los que superan el umbral del 10%. Tomado y modificado de [31].

Tabla 32. Edificios representativos del área submunicipal B.

Tipo de edificio	1C	2	3	4
Frecuencia normal (%)	46,60	22,90	17,93	12,57
Superficie del tejado (m2)	500	200	200	200
Población	55,35 (59)	24,60(25)	12,30 (12)	6,15 (6)
				

Tomado y modificado de [31].

Área submunicipal C (barrios de San Paolo, Cenisia, Cit Turin y Pozzo Strada).

Tabla 33. Datos de población: Área submunicipal C / Barrios de San Paolo, Cenisia, Cit Turin y Pozzo Strada.

Población (habitantes)	Nº de familias	Tamaño medio de las familias (habitantes por familia)
127187	62712	2.03

Tomado y modificado de [31].

Tabla 34. Edificios del área submunicipal C.

N° edificios	Clasificación de edificios residenciales						Total
	6	5	4	3	2	1	
	347	333	462	878	1527	1597	5144

Tomado y modificado de [31].

Tabla 35. Valores de f_k^{norm} y la correspondiente cantidad de edificios. Área submunicipal C.

Clases de edificios que superan el umbral		
Clase	$f_k^{norm}(\%)$	N° edificios
1	39,91	2053
2	38,16	1963
3	21,93	1128

Tomado y modificado de [31].

Las clases que superan el umbral son las tres primeras (Figura 27). En la ASC C, los edificios del periodo de posguerra están bastante extendidos, por lo que para la clase 1 se elige el tipo D, y los edificios representativos finales del área submunicipal C se presentan en la Tabla 36.

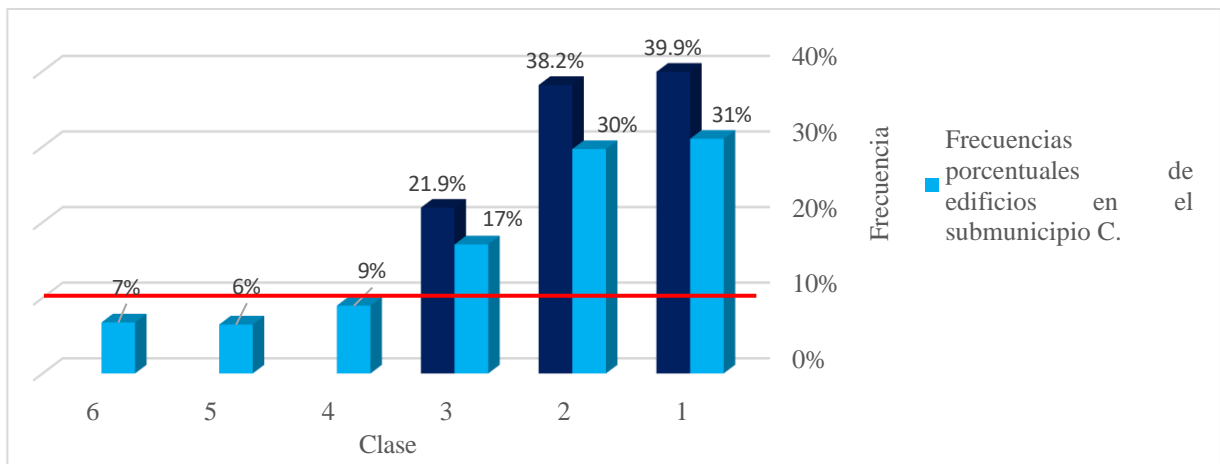
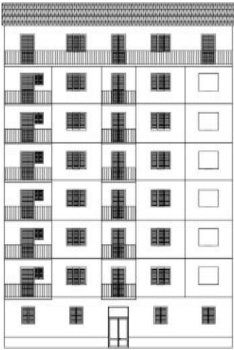
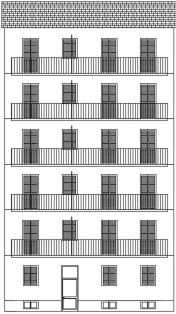
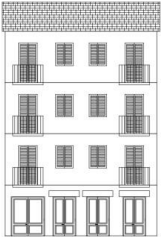


Figura 27. Frecuencias porcentuales de edificios en el área submunicipal C y frecuencias normalizadas f_k^{norm} relativas a la suma de los que superan el umbral del 10%. Tomado y modificado de [31].

Tabla 36. Edificios representativos del área submunicipal C.

Tipo de edificio	1D	2	3
Frecuencia normal (%)	39,91	38,16	21,93
Superficie del tejado (m ²)	300	300	200
Población	32,48 (32)	24,36 (24)	12,18 (12)
			

Extraído y modificado de [31].

Área submunicipal D (barrios de San Donato, Parella y Campidoglio).

Tabla 37. Datos de población: Área submunicipal D / Barrios de San Donato, Parella y Campidoglio.

Población (habitantes)	N° de familias	Tamaño medio de las familias (habitantes por familia)
95238	46515	2.05

Tomado y modificado de [31].

Tabla 38. Edificios del área submunicipal D.

	Clasificación de edificios residenciales						Total
	6	5	4	3	2	1	
N° edificios	278	265	409	724	1299	1228	4203

Tomado y modificado de [31].

Tabla 39. Valores de f_{norm} y la correspondiente cantidad de edificios. Área submunicipal D.

Clases de edificios que superan el umbral		
Clase	$f_{norm}(\%)$	N° edificios
1	33,55	1410
2	35,50	1492
3	19,77	831
4	11,18	470

Tomado y modificado de [31].

Las clases que superan el umbral del 10% son las tres primeras (figura 28); no obstante, la frecuencia de la clase 4 está muy próxima al valor límite, por lo que también se tiene en cuenta. Al igual que en el anterior ASC C, también en el área submunicipal D puede elegirse el tipo de edificio 1D para la clase 1, y los edificios representativos finales del área submunicipal D se presentan en la Tabla 40.

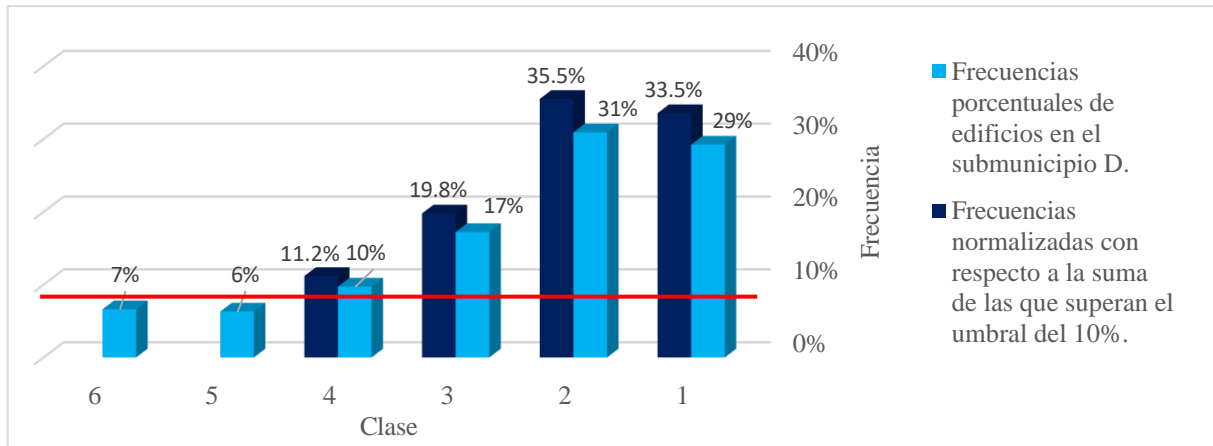
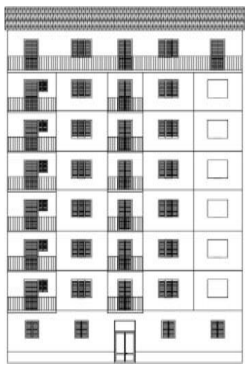
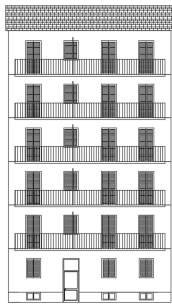
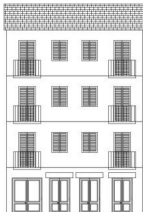
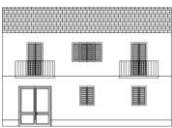


Figura 28. Frecuencias porcentuales de edificios en el área submunicipal D y frecuencias normalizadas f_k^{norm} relativas a la suma de los que superan el umbral del 10%. Tomado y modificado de [31]

Tabla 40. Edificios representativos del área submunicipal D.

Tipo de edificio	1D	2	3	4
Frecuencia normal (%)	33,55	35,50	19,77	11,18
Superficie del tejado (m2)	500	200	200	200
Población	32,80 (32)	24,60 (25)	12,30 (12)	6,15 (6)
				

Tomado y modificado de [31]

Área submunicipal E (barrios de Borgo Vittoria, Madonna di Campagna, Lanzo, uento y Le Vallette).

Tabla 41. Datos de población: Área submunicipal E / barrios de Borgo Vittoria, Madonna di Campagna, Lanzo, uento y Le Vallette.

Población (habitantes)	Nº de familias	Tamaño medio de las familias (habitantes por familia)
121608	55189	2.20

Tomado y modificado de [31].

Tabla 42. Edificios del área submunicipal E.

N° edificios	Clasificación de edificios residenciales						Total
	6	5	4	3	2	1	
	530	446	548	816	831	1261	4452

Tomado y modificado de [31].

Todas las clases superan el umbral, por lo que deben tenerse en cuenta todos los tipos de edificios (figura 29). La ASC E es, por término medio, de reciente construcción, por lo que para la clase 1 se elige el tipo de edificio C., y los edificios representativos finales del área submunicipal E se presentan en el cuadro 43.

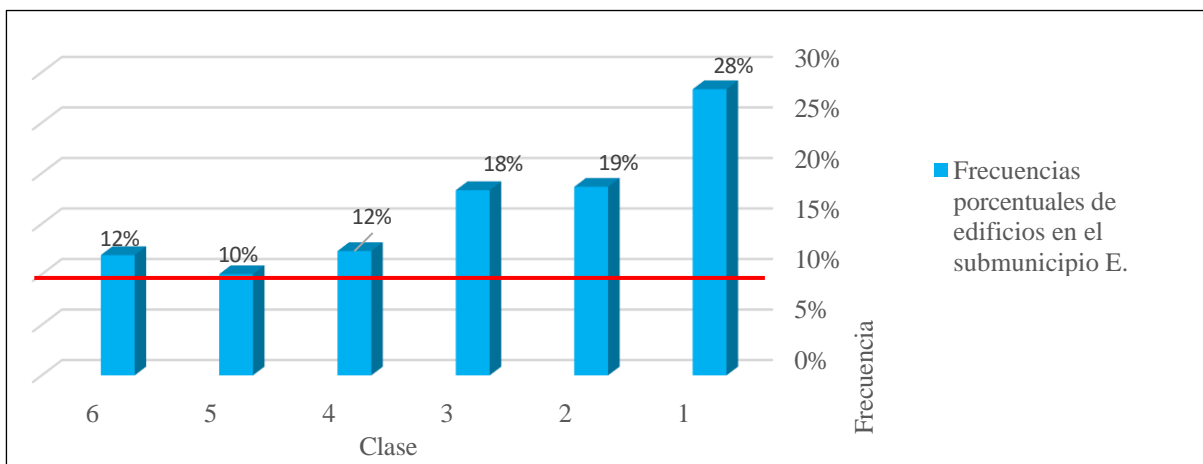
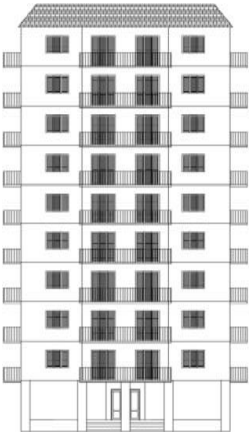
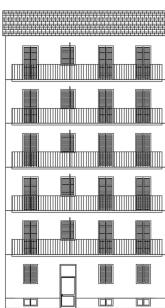
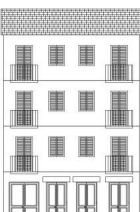
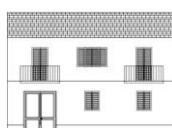




Figura 29. Frecuencias porcentuales de edificios en el área submunicipal E. Obtenido y modificado de [31].

Tabla 43. Edificios representativos del área submunicipal E.

Tipo de edificio	1C	2	3	4
Frecuencia normal (%)	28,32	18,67	18,33	12,31
Superficie del tejado (m2)	600	200	200	200
Población	59,40 (65)	26,40 (26)	13,20 (13)	6,60 (7)
				

Tipo de edificio	5	6
Frecuencia normal (%)	10,47	11,90
Superficie del tejado (m2)	100	100
Población	4,40 (4)	2,20 (2)
		

Tomado y modificado de [31]

Área submunicipal F (barrios Regio Parco, Barca, Bertolla, Barriera di Milano, Rebaudengo, Falchera y Villaretto).

Tabla 44. Datos de población: Área submunicipal F / barrios Regio Parco, Barca, Bertolla, Barriera di Milano, Rebaudengo, Falchera y Villaretto.

Población (habitantes)	N° de familias	Tamaño medio de las familias (habitantes por familia)
102188	45868	2,23

Tomado y modificado de [31].

Tabla 45. Edificios del área submunicipal F.

N° edificios	Clasificación de edificios residenciales						Total
	6	5	4	3	2	1	
	712	580	672	822	745	1137	4668

Tomado y modificado de [31].

Todas las clases superan el umbral y, por tanto, deben tenerse en cuenta todos los tipos de edificios (Figura 30). Esta área submunicipal es bastante heterogénea: los barrios de Barca y Bertolla y el muy pequeño Villaretto presentan características edificatorias muy similares a las de las pequeñas ciudades, con casas que en general no superan las dos plantas, mientras que otros barrios (Regio Parco, Falchera, Rebaudengo) también muestran edificios recientes de altura considerable, que sin embargo se consideran demasiado escasos para justificar la elección de un edificio de clase 1 entre los tipos C o D; especialmente en el popular barrio de Barriera di Milano, construido densamente en comparación con los demás de esta ASC, son muy comunes las casas "enrejadas", similares al tipo 1B, que se toma por tanto como representativo de la clase 1. Los edificios representativos finales del área submunicipal F se presentan en el cuadro 46.

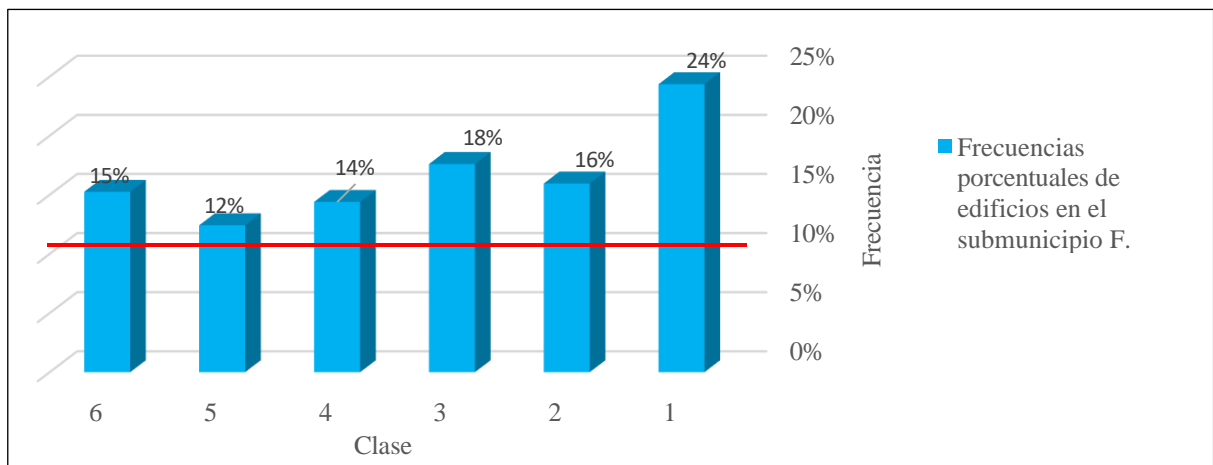

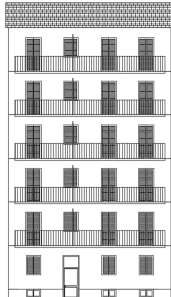
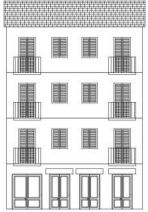
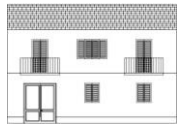
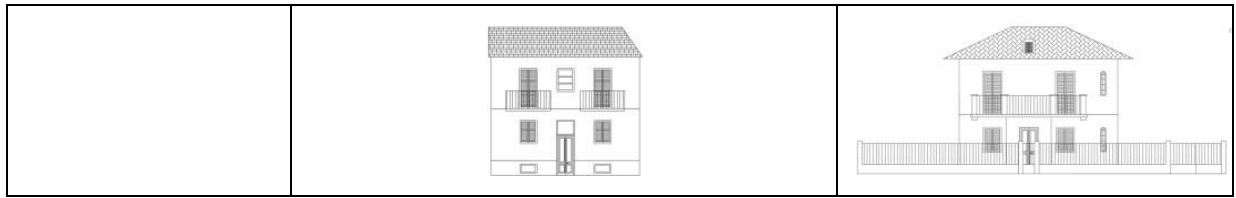


Figura 30. Frecuencias porcentuales de edificios en el área submunicipal F. Tomado y modificado de [31]

Tabla 46. Edificios representativos del área submunicipal F.

Tipo de edificio	1B	2	3	4
Frecuencia normal (%)	24,36	15,96	17,61	14,40
Superficie del tejado (m2)	800	400	200	200
Población	60,21 (56)	26,76 (27)	13,38 (13)	6,69 (7)
				
Tipo de edificio	5		6	
Frecuencia normal (%)	12,43		15,25	
Superficie del tejado (m2)	100		100	
Población	4,46 (4)		2,23 (2)	



Tomado y modificado de [31]

Submunicipal zona G (Aurora, Vanchiglia, Sassi y Madonna del Pilone).

Tabla 47. Datos de población: Área submunicipal G / Barrios de Aurora, Vanchiglia, Sassi y Madonna del Pilone.

Población (habitantes)	N° de familias	Tamaño medio de las familias (habitantes por familia)
83381	39908	2.09

Tomado y modificado de [31].

Tabla 48. Edificios del área submunicipal G.

N° edificios	Clasificación de edificios residenciales						Total
	6	5	4	3	2	1	
	560	641	638	650	772	1155	4416

Tomado y modificado de [31].

Todas las clases superan el umbral, entonces todos los tipos deben ser considerados (Figure 31). ASC G, junto con H, son dos áreas que incluyen zona de colina de la ciudad (Sassi, Madonna del Pilone), una porción que, según lo descrito en el Capítulo 0, tiene muchas casas de una o dos familias y una densidad de edificios mucho más baja que la parte plana de la ciudad. No obstante, la densidad de edificios en los barrios de llanura tiene un impacto notable en las estadísticas, por lo que los edificios de clase 1 siguen prevaleciendo en ellos. Dada la antigüedad de los barrios llanos (Aurora y Vanchiglia) y los resultados debidos a la conservación de la población, se opta por un edificio representativo tipo A. Los edificios representativos finales del área submunicipal G se presentan en la Tabla 49.

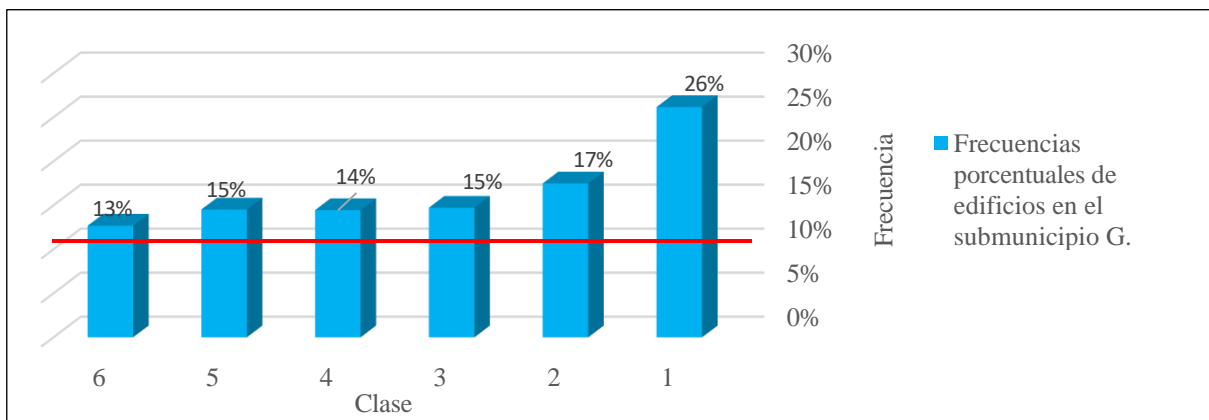
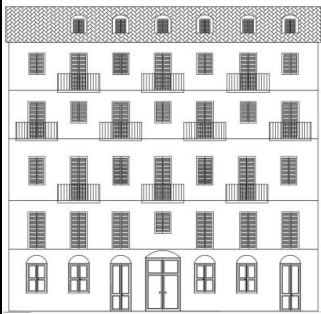
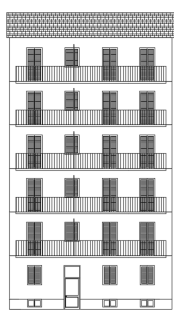
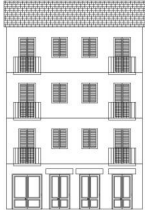
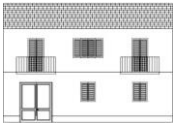




Figura 31. Frecuencias porcentuales de edificios en el área submunicipal G.
Tomado y modificado de [31]

Tabla 49. Edificios representativos del área submunicipal G.

Tipo de edificio	1A	2	3	4
Frecuencia normal (%)	26,15	17,48	14,72	14,45
Superficie del tejado (m2)	700	400	200	200
Población	37,62 (42)	25,08 (25)	12,54 (13)	6,27 (6)

			
Tipo de edificio	5	6	
Frecuencia normal (%)	14,52	12,68	
Superficie del tejado (m2)	100	100	
Población	4,18 (4)	2,09 (2)	
			

Tomado y modificado de [31]

Área submunicipal H (barrios de Borgo Po, San Salvario y Cavoretto).

Tabla 50. Datos de población: Área submunicipal H / Barrios de Borgo Po, San Salvario y Cavoretto.

Población (habitantes)	Nº de familias	Tamaño medio de las familias (habitantes por familia)
55109	27392	2.01

Tomado y modificado de [31].

Tabla 51. Edificios del área submunicipal H.

Nº edificios	Clasificación de edificios residenciales						Total
	6	5	4	3	2	1	
	1079	792	680	535	492	733	4311

Tomado y modificado de [31].

Todas las clases superan el umbral y, por tanto, deben tenerse en cuenta todos los tipos de edificios (figura 32). Los barrios de Borgo Po y Cavoretto pertenecen al territorio de colinas, que muestra un marcado predominio de casas bajas, a menudo unifamiliares. San Salvario es en cambio un barrio de la zona llana, construido principalmente antes del siglo XX. Esta vez las estadísticas se ven afectadas por las características de los distritos de colinas, de hecho, la clase más numerosa

es la 6. Sin embargo, la clase 1, a la que pertenece buena parte de los edificios de San Salvario, también destaca entre las demás. El edificio tipo A, elegido para la clase 1, está muy extendido, especialmente en el distrito de San Salvario. Los edificios representativos finales del área submunicipal H se presentan en la Tabla 52.

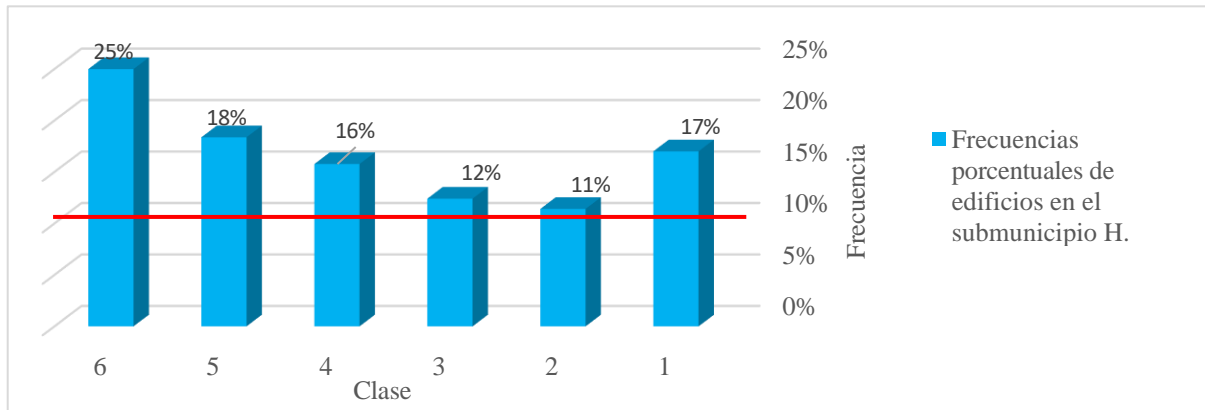


Figura 32. Frecuencias porcentuales de edificios en el área submunicipal H. Tomado y modificado de [31]

Tabla 52. Edificios representativos del área submunicipal H.

Tipo de edificio	1A	2	3	4
Frecuencia normal (%)	17,00	11,41	12,41	15,77
Superficie del tejado (m2)	750	475	240	240
Población	36,18 (38)	24,12 (24)	12,06 (12)	6,0 (6)
Tipo de edificio	5		6	
Frecuencia normal (%)	18,37		25,03	
Superficie del tejado (m2)	120		120	
Población	4,02 (4)		2,01 (2)	

Tomado y modificado de [31]

Área submunicipal L (barrios de Nizza Millefonti, Lingotto y Filadelfia).

Tabla 53. Datos de población: Área submunicipal L / Barrios de Nizza Millefonti, Lingotto y Filadelfia.

Población (habitantes)	N° de familias	Tamaño medio de las familias (habitantes por familia)
73095	35330	2.07

Tomado y modificado de [31].

Tabla 54. Edificios del área submunicipal L.

N° edificios	Clasificación de edificios residenciales						Total
	6	5	4	3	2	1	
	84	49	73	191	390	960	1747

Tomado y modificado de [31].

Tabla 55. Valores de f^{norm} y la correspondiente cantidad de edificios. Área submunicipal L.

Clases de edificios que superan el umbral		
Clase	$f^{norm}(\%)$	N° edificios
1	62,28	1088
2	25,30	442
3	12,42	217

Tomado y modificado de [31].

Las clases que superan el umbral son las tres primeras. Como muestra la figura 33 la clase más extendida es la 1, que en este ASC está representada por los edificios construidos después de la Segunda Guerra Mundial. Por lo tanto, la elección recae en la clase 1C. Los edificios representativos finales de la subárea municipal L se presentan en la Tabla 56.

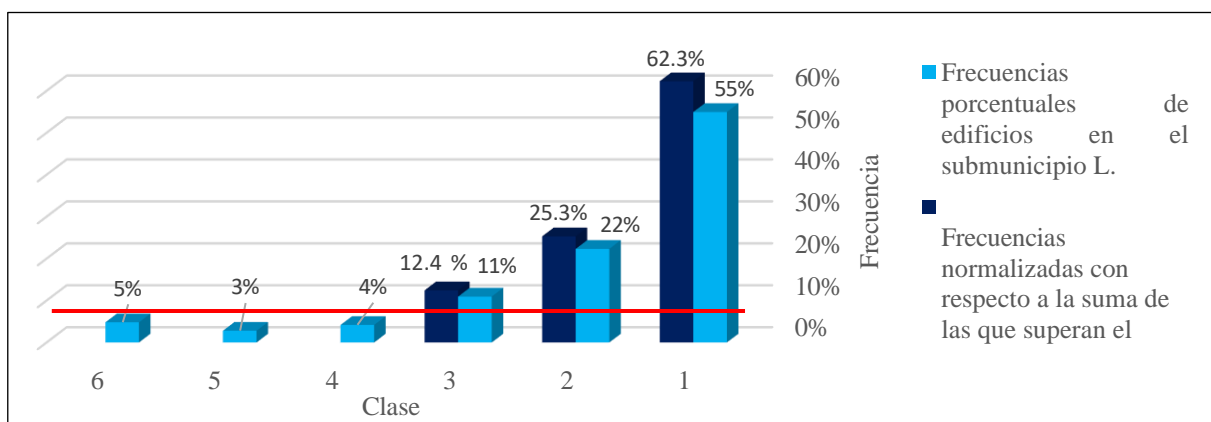
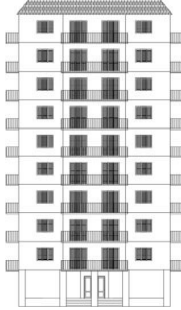
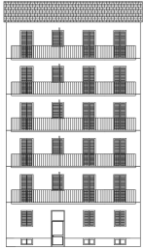



Figura 33. Frecuencias porcentuales de edificios en el área submunicipal L y frecuencias normalizadas f^{norm} relativas a la suma de los que superan el umbral del 10%.

Tomado y modificado de [31]

Tabla 56. Edificios representativos del área submunicipal L.

Tipo de edificio	1C	2	3
Frecuencia normal (%)	62,28	25,30	12,42
Superficie del tejado (m ²)	520	385	190
Población	55,89 (55)	24,84 (25)	12,42 (12)
			

Tomado y modificado de [31]

Área submunicipal M (barrio Mirafiori Sud).

Tabla 57. Datos de población: Área sub-municipal M / Barrio Mirafiori Sud.

Población (habitantes)	N° de familias	Tamaño medio de las familias (habitantes por familia)
38021	16904	2.25

Tomado y modificado de [31].

Tabla 58. Edificios del área submunicipal M.

N° edificios	Clasificación de edificios residenciales						Total
	6	5	4	3	2	1	
	254	196	178	186	171	354	1339

Tomado y modificado de [31].

Todas las clases superan el umbral, por lo que deben considerarse todos los tipos de edificios (figura 34). El área submunicipal M se construyó principalmente en la posguerra, por lo que para la clase 1 se elige el tipo C; además, dado el gran tamaño de la familia media, se supone que en un edificio de tipo 1C viven por término medio algo menos de tres personas, es decir, un número considerablemente superior a la media, como se desprende de la diferencia entre la población teórica y el número entre paréntesis. Los edificios representativos finales del área submunicipal M se presentan en la Tabla 59.

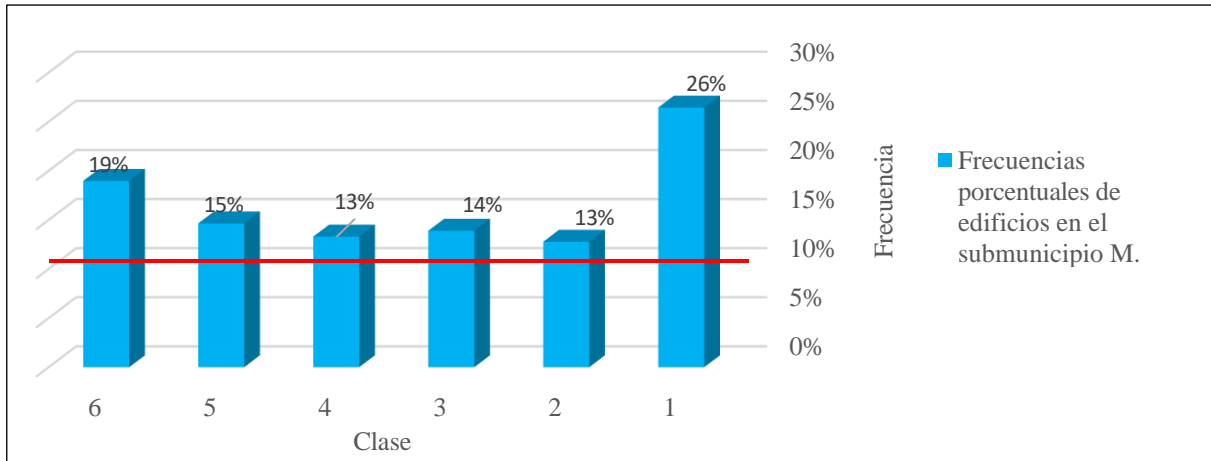


Figure 34. Frecuencias porcentuales de edificios en el área submunicipal M.
Tomado y modificado de [31]

Tabla 59. Edificios representativos del área submunicipal M.

Tipo de edificio	1C	2	3	4
Frecuencia normal (%)	26,44	12,77	13,89	13,29
Superficie del tejado (m ²)	900	400	200	200
Población	60,75 (79)	27,00 (27)	13,50 (14)	6,75 (7)
Tipo de edificio	5		6	
Frecuencia normal (%)	14,64		18,97	
Superficie del tejado (m ²)	100		100	
Población	4,50 (5)		2,25 (2)	

Tomado y modificado de [31]

3.3. Ahorro de agua - Método de cálculo

La neutralidad hídrica en las ciudades es una cuestión acuciante, sobre todo si se tiene en cuenta que más del 40% de la población mundial vive en regiones donde la demanda de agua supera a la

oferta. Una estrategia clave para lograr la neutralidad hídrica es conservar el agua en los edificios residenciales existentes y utilizar el agua ahorrada para abastecer la demanda de agua potable de los nuevos edificios.

Dado que el objetivo del presente trabajo es determinar el potencial de neutralidad hídrica de la ciudad de Turín, es necesario estimar cuánta agua potable puede ahorrarse en los edificios existentes para, posteriormente, cuantificar cuántos edificios nuevos podrían abastecerse en el futuro con ese ahorro sin pedir más agua potable al acueducto, es decir, manteniendo el suministro actual de agua para la ciudad.

El diseño de una metodología para determinar la capacidad de los edificios existentes para reducir la demanda de agua potable mediante la captación de agua de lluvia (RWH) y la implementación de aparatos eficientes implica un enfoque sistemático en el que los datos de entrada y los cálculos implementados en cada paso del proceso se describirán a continuación en la subsección respectiva.

3.3.1. Evaluación inicial

Para determinar la demanda básica de agua, evaluar el potencial de recogida de aguas pluviales y valorar la eficiencia actual de los aparatos de agua de los edificios existentes, se necesitan los siguientes datos de entrada:

- Parque inmobiliario existente en la zona.
- Patrones de consumo de agua de los edificios existentes (usos interiores).
- Datos pluviométricos medios de la región.
- Tipos y eficiencia de los aparatos de agua existentes.

En lo que respecta al parque inmobiliario de Turín, dado que no es posible realizar una evaluación detallada de toda la ciudad edificio por edificio, para obtener una evaluación fiable a escala de la ciudad se incluyó en la sección 3.2 el *método de los edificios representativos* de Carollo (2020).2, para considerar sólo las tipologías de edificios más extendidas para representar todo el parque de edificios de la ciudad, tal y como se describe en el apartado *Método de edificios representativos*, y se presenta en la Tabla 60, el parque total se divide considerando los distritos municipales de la ciudad, cada uno con la superficie ocupada en kilómetros cuadrados (A_{terreno}), la población o los habitantes del distrito concreto (P_{distrito}), el tamaño medio de la familia del distrito ($\text{Family size}_{\text{distrito}}$), la superficie cubierta de los edificios incluidos en el distrito concreto en km^2 (H_{distrito}), y el número total de edificios que componen el distrito ($\text{BuildingS}_{\text{distrito}}$).

La segunda subdivisión corresponde a una descripción más detallada de cada edificio del distrito, pero específicamente para las 6 clases diferentes de edificios, cada una de las cuales incluye la frecuencia del edificio representativo dentro del distrito en porcentaje (F), a continuación, el número de edificios representados por la clase específica dentro de cada distrito (RB), después de eso, la población del edificio representativo único en el distrito (P) y la población total para el tipo de edificio en el distrito (Tot. P/RB), también el área del techo del edificio representativo único

en el distrito en metros cuadrados (H), y la respectiva cantidad total de metros cuadrados del techo de los edificios representativos presentes en cada distrito dado en metros cuadrados (Tot. Aroof/RB).

Tabla 60. Distribución del parque de edificios de Turín.

		Distritos municipales									
		A	B	C	D	E	F	G	H	L	M
	Barrios	Centro Crocetta	Santa Rita Mirafiori Norte	Borgo San Paolo Cenisia Cit Turín Pozzo Strada	San Donato Parella Campidoglio	Borgo Vittoria Madonna di Campagna Lanzo Lucento Le Vallette	Regio Parco Barca Bertolla Barriera di Milano Rebaudengo Falchera Villaretto	Aurora Vanchiglia Sassi Madonna del Pilone	Borgo Po San Salvario Cavoretto	Nizza Millefonti Lingotto Filadelfia	Mirafiori Sud
	Aterreno (km) ²	6.89	7.31	8.6	9.09	15.57	25.52	22.53	16.53	6.49	11.86
	P Distrito	75966	100574	127187	95238	121608	102188	83381	55109	73095	38021
	Tamaño familiar Distrito	1.9	2.1	2	2.1	2.2	2.2	2.1	2	2.1	2.3
	Distrito H (km) ²	1.58	0.94	1.43	1.26	1.3	1.64	1.49	1.3	0.78	0.5
	Edificios Distrito	3110	2768	5144	4203	4452	4668	4416	4311	1747	1339
Tipo 1	F (%)	53.54%	46.60%	39.91%	33.55%	28.32%	24.36%	26.15%	17.00%	62.28%	26.44%
	RB	1665	1290	2053	1410	1261	1137	1155	733	1088	354
	P	29	59	32	32	65	56	42	38	55	79
	Tot. P/RB	48285	76110	65696	45120	81965	63672	48510	27854	59840	27966
	H (m) ²	600.0	500	300	500	600	800	700	750	520	900
	Tot. Atecho/RB (m) ²	999000	645000	615900	705000	756600	909600	808500	549750	565760	318600
Tipo 2	F (%)	33.86%	22.90%	38.16%	35.50%	18.67%	15.96%	17.48%	11.41%	25.30%	12.77%
	RB	1053	634	1963	1492	831	745	772	492	442	171
	P	22	25	24	25	26	27	25	24	25	27
	Tot. P/RB	23166	15850	47112	37300	21606	20115	19300	11808	11050	4617
	H (m) ²	460	200	300	200	200	400	400	475	385	400
	Tot. Atecho/RB (m) ²	484380	126800	588900	298400	166200	298000	308800	233700	170170	68400
Tipo 3	F (%)	12.60%	17.92%	21.93%	19.77%	18.33%	17.61%	14.72%	12.41%	12.42%	13.89%
	RB	392.00	496.00	1128	831	816	822	650	535	217	186.00
	P	11	12	12	12	13	13	13	12	12	14
	Tot. P/RB	4312	5952	13536	9972	10608	10686	8450	6420	2604	2604
	H (m) ²	240	200	200	200	200	200	200	240	190	200
	Tot. Atecho/RB (m) ²	94080	99200	225600	166200	163200	164400	130000	128400	41230	37200
Tipo 4	F (%)		12.57%		11.18%	12.31%	14.40%	14.45%	15.77%		13.29%
	RB		348.00		470.00	548.00	672.00	638.00	680.00		178.00
	P		6		6	7	7	6	6		7
	Tot. P/RB		2088		2820	3836	4704	3828	4080		1246
	H (m) ²		200		200	200	200	200	240		200
	Tot. Atecho/RB (m) ²		69600		94000	109600	134400	127600	163200		35600
Tipo 5	F (%)					10.47%	12.43%	14.52%	18.37%		14.64%
	RB					466.00	580.00	641.00	792.00		196.00
	P					4	4	4	4		5
	Tot. P/RB					1864	2320	2564	3168		980
	H (m) ²					100	100	100	120		100
	Tot. Atecho/RB (m) ²					46600	58000	64100	95040		19600
Tipo 6	F (%)					11.90%	15.25%	12.68%	25.03%		18.97%
	RB					530.00	712.00	560.00	1079.00		254.00
	P					2	2	2	2		2
	Tot. P/RB					1060	1424	1120	2158		508
	H (m) ²					100	100	100	120		100
	Tot. Atecho/RB (m) ²					53000	71200	56000	129480		25400

Los posibles patrones de consumo de agua previstos para la población de Turín ya se describieron en la sección Demanda de agua, pero, a efectos prácticos, no se tendrán en cuenta para modelar la demanda anual de agua de los edificios y se considerará un valor constante todos los días del año. En cuanto a los datos pluviométricos, como se menciona en el apartado Suministro de agua de lluvia, se tendrá en cuenta la información diaria sobre la altura de las precipitaciones durante 30 días, basada en los registros de las estaciones meteorológicas de Turín. Por último, para concluir la evaluación de referencia, la eficiencia de los aparatos de agua existentes se considera desde dos

perspectivas, como se indica en la sección 1.1; La primera describe los accesorios del edificio con sus consumos normales, lo que nos permitió estimar la distribución normal del consumo de agua en edificios residenciales (consumo no eficiente de agua). La segunda perspectiva incluye la posibilidad de realizar un consumo doméstico más eficiente, de modo que algunos de los aparatos tengan un consumo menor. Este enfoque introdujo una reducción de la demanda global de agua, debido al consumo eficiente de agua gracias a las tecnologías adecuadas.

3.3.1.1. *Demanda básica de agua de los edificios existentes*

Para conocer el potencial de ahorro de agua de toda la ciudad, necesitamos conocer el consumo global actual de los edificios existentes (Tabla 61), por lo que es necesario establecer la demanda diaria de agua potable y no potable de Turín. La información per cápita ya se presentó en la Tabla 1: La cantidad total de agua suministrada actualmente por el acueducto corresponde a 150L/día de agua potable, de los cuales 82,5L/día se destinan a usos de agua no potable, por lo que podrían cubrirse con fuentes de agua alternativas, evitando el derroche de agua potable para ese tipo de consumo.

Para conocer la demanda total de agua potable y no potable de Turín, en primer lugar, estimamos la demanda de agua potable para cada edificio representativo - $D_{potable} / RB_n$ (Ecuación 32), en función del número de ocupantes - P_n de la Tabla 60, obteniendo los litros de agua potable consumidos por el edificio representativo n , en un día. Luego, para conocer la demanda de agua potable a nivel distrito (Ecuación 34) para el edificio n , se consideró la población total del distrito que se obtiene considerando la cantidad total de edificios (ver Tabla 60) que representa RB_n en el distrito específico (Ecuación 33). Por último, para obtener la demanda total de agua potable de todo el *distrito m* - Tot. $D_{potable} / RB_{sm}$ (L/RBs*día), realizamos el mismo procedimiento para todos los edificios representativos que componen el distrito y los sumamos.

$$D_{potable} / RB_n (L / RB_n * día) = P_n * Demanda abastecida por el acueducto$$

Ecuación 32

$$Tot. P / RB_n = P_n * Número de edificios tipo 'n' en el distrito 'm'$$

Ecuación 33

$$D_{potable} / RB_s n (L / RB_s n * día) = Tot. P / RB_n * Demanda abastecida por el acueducto$$

Ecuación 34

A continuación, hay que seguir un procedimiento similar para estimar la demanda de agua no potable de Turín, pero en este caso no se ha tenido en cuenta la demanda suministrada por el acueducto, sino que se ha utilizado la parte del consumo que puede abastecerse con agua no potable, es decir, 82,5 L/día.

Tabla 61. Demanda de agua de referencia de Turín para los edificios existentes.

		Distritos municipales										Total
		A	B	C	D	E	F	G	H	L	M	
Tipo 1	Pn	29	59	32	32	65	56	42	38	55	79	
	Tot. P/RBn	48285	76110	65696	45120	81965	63672	48510	27854	59840	27966	545018
	Dpotable /RB (L/RB*día)	4350	8850	4800	4800	9750	8400	6300	5700	8250	11850	
	Dpotable /RBs (L/RBs*día)	7242750	11416500	9854400	6768000	12294750	9550800	7276500	4178100	8976000	4194900	81752700
	Dnon-potable /RBs (L/RBs*día)	3983513	6279075	5419920	3722400	6762113	5252940	4002075	2297955	4936800	2307195	44963985
Tipo 2	Pn	22	25	24	25	26	27	25	24	25	27	
	Tot. P/RBn	23166	15850	47112	37300	21606	20115	19300	11808	11050	4617	211924
	Dpotable /RB (L/RB*día)	3300	3750	3600	3750	3900	4050	3600	3750	3750	4050	
	Dpotable /RBs (L/RBs*día)	3474900	2377500	7066800	5595000	3240900	3017250	2895000	1771200	1657500	692550	31788600
	Dnon-potable /RBs (L/RBs*día)	1911195	1307625	3886740	3077250	1782495	1659488	1592250	974160	911625	380903	17483730
Tipo 3	Pn	11	12	12	12	13	13	13	12	12	14	
	Tot. P/RBn	4312	5952	13536	9972	10608	10686	8450	6420	2604	2604	75144
	Dpotable /RB (L/RB*día)	1650	1800	1800	1800	1950	1950	1950	1800	1800	2100	
	Dpotable /RBs (L/RBs*día)	646800	892800	2030400	1495800	1591200	1602900	1267500	963000	390600	390600	11271600
	Dnon-potable /RBs (L/RBs*día)	355740	491040	1116720	822690	875160	881595	697125	529650	214830	214830	6199380
Tipo 4	Pn		6		6	7	7	6	6		7	
	Tot. P/RBn		2088		2820	3836	4704	3828	4080		1246	22602
	Dpotable /RB (L/RB*día)		900		900	1050	1050	900	900		1050	
	Dpotable /RBs (L/RBs*día)		313200		423000	575400	705600	574200	612000		186900	3390300
	Dnon-potable /RBs (L/RBs*día)		172260		232650	316470	388080	315810	336600		102795	1864665
Tipo 5	Pn					4	4	4	4		5	
	Tot. P/RBn					1864	2320	2564	3168		980	10896
	Dpotable /RB (L/RB*día)					600	600	600	600		750	
	Dpotable /RBs (L/RBs*día)					279600	348000	384600	475200		147000	1634400
	Dnon-potable /RBs (L/RBs*día)					330	330	330	330		413	
Tipo 6	Pn					2	2	2	2		2	
	Tot. P/RBn					1060	1424	1120	2158		508	6270
	Dpotable /RB (L/RB*día)					300	300	300	300		300	
	Dpotable /RBs (L/RBs*día)					45000	45000	45000	45000		45000	225000
	Dnon-potable /RBs (L/RBs*día)					87450	117480	92400	178035		41910	517275
Tot. Dpotable /RBs (L/RBs*día)		11364450	15000000	18951600	14281800	18026850	15269550	12442800	8044500	11024100	5656950	130,062,600
Tot. Dnon-potable /RBs (L/RBs*día)		6250448	8250000	10423380	7854990	9977468	8490983	6911190	4577760	6063255	3128483	71,927,955

3.3.1.2. Evaluación del potencial de recolección de aguas lluvias

A la hora de evaluar el potencial de RWH hay algunos factores de influencia que deben contemplarse, como los datos de precipitaciones, el área de captación, el coeficiente de escorrentía - ϕ , la primera descarga, y el tamaño del tanque de almacenamiento.

Teniendo en cuenta lo anterior, el paso inicial consiste en recopilar datos históricos sobre las precipitaciones diarias en la ciudad de Turín durante un periodo de 30 años para obtener un valor representativo de los patrones de precipitaciones variables a lo largo de los años, tal y como se mencionó en la sección 3.1.6.

A continuación, debe determinarse la superficie de captación de cada edificio representativo, ya que el tejado es la superficie disponible de los edificios para la recogida de aguas pluviales. Los valores ya se resumen en la Tabla 60.

Otros factores que deben incluirse son el *coeficiente de escorrentía* - ϕ y la primera descarga - *ff*. Ambos ya se han descrito en el apartado 3.1.3. Para esta aplicación, se ha elegido un valor de $\phi =$

0,8 que representa todos los tejados de los diferentes tipos de edificios representativos de los distritos de Turín, y un valor de $ff = 1\text{mm}$ para que sea la cantidad de agua que lavará el tejado después de un periodo seco y que se conducirá al sistema de alcantarillado para evitar el uso de agua altamente contaminada.

Para determinar el potencial de recogida de aguas pluviales de cada tipología de edificio y cada distrito, en primer lugar debemos estimar la afluencia media anual total dividiendo los resultados de la Ecuación 12 por 30, que es el periodo de referencia implementado en la simulación del depósito de RWH; el valor obtenido representará el potencial de RWH del único edificio representativo - P_{RWH} ($\text{m}^3 / \text{RBn} \cdot \text{año}$). Luego, ese valor se multiplica por el número de edificios - RB que el edificio estudiado representa en el distrito (Tabla 60) para obtener el potencial de un tipo de edificio específico, en el distrito (ver Ecuación 35). Se sigue el mismo procedimiento para conocer el potencial de cada tipo de edificio como elemento individual y como elemento del distrito, para finalmente sumar todos los resultados y obtener el Potencial total anual de RWH en un distrito "X" - Tot. Potencial de RW en el distrito "X" ($\text{m}^3 / \text{"X"} \cdot \text{año}$) (véase la ecuación 36).

$$P_{RWH} / RB_S (\text{m}^3 / RB_S \cdot \text{año}) = P_{RWH} (\text{m}^3 / RB \cdot \text{año}) \cdot RB$$

Ecuación 35

$$\text{Tot. } P_{RWHn,X} (\text{m}^3 / X \cdot \text{año}) = \sum_{i=1}^n P_{RWH} (\text{m}^3 / RB_S \cdot \text{año})$$

Ecuación 36

Tabla 62. Evaluación del potencial de recogida de agua de lluvia para cada edificio representativo, distrito.

Distrito "X"		
Tipo de edificio representativo	$P_{RWH} / RB (\text{m}^3 / RB \cdot \text{año})$	$P_{RWH} / RB_S (\text{m}^3 / RB_S \cdot \text{año})$
1	-	-
2	-	-
...	-	-
n	-	-
Tot. $P_{RWH, X} (\text{m}^3 / X \cdot \text{año})$		-

Todo el procedimiento se repite para todos los edificios representativos y todos los distritos X - para obtener el potencial a nivel de ciudad (ecuación 37).

$$\text{Tot. Potencial } P_{RWH, City} = \sum_{X=1}^t \text{Tot. } P_{RWHn, X} (\text{m}^3 / X \cdot \text{year})$$

Ecuación 37

3.3.1.3. Evaluación del potencial de ahorro de agua gracias a la implantación de electrodomésticos eficientes.

En secciones anteriores, la reducción de la demanda total de agua de una sola persona gracias a los aparatos de ahorro de agua ya se evaluó en la sección 1.2 (véase la Tabla 2). Ahora, estos valores deben escalarse a nivel de edificio, distrito y ciudad para conocer el ahorro potencial derivado de la aplicación de esta estrategia de WN.

Considerando la reducción de la demanda de agua potable en el consumo diario per cápita es posible saber cuánta agua se ahorra en cada edificio representativo, simplemente considerando los ocupantes de cada clase de edificio - P_n (Ecuación 38). A nivel edificio-distrito, en los cálculos se incluye el número de edificios que cada clase representa en un distrito específico (Ecuación 39). Para conocer el ahorro de "x" distrito, basta con juntar todos los ahorros de todos los edificios representativos que lo componen (Ecuación 41). Hasta este punto, todos los cálculos se resumen en el cuadro 63.

$$\text{Agua ahorrada}_{\text{aparatos efic.}/RB_n} (L/RB_n \cdot \text{día}) = \text{Reducción en la demanda de agua}_{\text{aparatos efic.}} \cdot P_n$$

Ecuación 38

$$\text{Agua ahorrada}_{\text{aparatos efic.}/RB_s} (m^3 / RB_s \cdot \text{año}) = \text{Agua ahorrada}_{\text{aparatos efic.}/RB} (m^3 / RB \cdot \text{year}) \cdot RB$$

Ecuación 39

$$\text{Tot. Agua ahorrada}_{\text{aparatos efic. } x} (m^3 / X \cdot \text{año}) = \sum_{i=1}^n \text{Agua ahorrada}_{\text{aparatos efic. } n / RB_s} (m^3 / RB_s \cdot \text{año})$$

Ecuación 40

Tabla 63. Evaluación del agua ahorrada anualmente para cada edificio y distrito representativos.

Distrito "X"		
Tipo de edificio	Agua ahorrada _{aparatos efic./RB} (m^3 / RB -día)	Ahorro agua _{aparatos efic./RBs} (m^3 / RBs -día)
1	-	-
2	-	-
...	-	-
n	-	-
Tot. Ahorro agua _{aparatos efic. ,x} (m^3 / X-día)		-

Todo el procedimiento se repite para todos los edificios representativos y todos los distritos X - para obtener el ahorro medio de agua a nivel de ciudad (Ecuación 44).

$$\text{Tot. Agua ahorrada}_{\text{aparatos efic.} - \text{City}} = \sum_{X=1}^t \text{Tot. Agua ahorrada}_{\text{aparatos efic. } X} (m^3 / X \cdot \text{año})$$

Ecuación 41

3.3.1.4. Ahorro de agua a partir de la evaluación de referencia - Hipótesis 1

El primer escenario que nos permite conocer el ahorro de agua obtenido de la implementación de RWHs en Turín, considera que los edificios residenciales existentes de la ciudad están equipados con electrodomésticos de consumo de agua estándar, es decir, el ahorro sólo proviene de la implementación de sistemas RWH, y el tanque de almacenamiento ha sido dimensionado para garantizar la máxima eficiencia, sin preocuparse por las posibles dimensiones inusuales e inviables del tanque y los costes de implementación (Escenario A de dimensionamiento del tanque de la página 61).

Ahora que sabemos cuánta agua puede entrar en el sistema para ser captada (apartado anterior), podemos evaluar el ahorro medio anual de agua de cada edificio representativo, de los distritos y de toda la ciudad teniendo en cuenta el ahorro individual de agua (ecuación 16) resultante de aplicar el *método YAS* a cada edificio representativo. Una primera acción consiste en conocer el ahorro de agua de cada edificio representativo en función de su frecuencia en cada distrito Ecuación 42. A continuación, nos centramos en estimar el ahorro de agua a nivel de distrito sumando todos los ahorros de los edificios que lo componen (Ecuación 43). Los resultados se registran siguiendo el formato de la Tabla 64.

$$\text{Agua ahorrada}_{RWH/RBs} (m^3 / RBs \cdot \text{año}) = \text{Agua ahorrada}/RB (m^3 / RB \cdot \text{año}) \cdot RB$$

Ecuación 42

$$\text{Tot. Agua ahorrada}_{RWH, X} (m^3 / X \cdot \text{año}) = \sum_{i=1}^n \text{Agua ahorrada}_n / RBs (m^3 / RBs \cdot \text{año})$$

Ecuación 43

Tabla 64. Evaluación de la media anual de agua ahorrada para cada edificio representativo, distrito.

Distrito "X"		
Tipo de edificio	Agua ahorrada RWH/RB (m ³ /RB-año)	Agua ahorrada RWH/RBs (m ³ /RBs-año)
1	-	-
2	-	-
...	-	-
n	-	-
Tot. Agua ahorrada RWH,X (m³ /X-año)		-

Todo el procedimiento se repite para todos los edificios representativos y todos los distritos X - para obtener el ahorro medio de agua a nivel de ciudad (Ecuación 44).

$$\text{Tot. Saved water}_{RWH, City} = \sum_{X=1}^t \text{Tot. } P_{RWH, X} (m^3 / X \cdot \text{año})$$

Ecuación 44

Hasta este punto, se ha completado la evaluación de referencia para calcular el ahorro de agua, por lo que conocemos el ahorro de agua de los edificios residenciales existentes en Turín considerando por separado las estrategias de RWH y de electrodomésticos eficientes.

3.3.2. Integración de la recogida de agua de lluvia, electrodomésticos eficientes y línea de base Gracias.

Anteriormente, el ahorro de agua se estimó siguiendo las consideraciones del escenario A para dimensionar el depósito de captación de agua de lluvia para una demanda estándar de agua no potable, en la que el consumo no se reduce por los electrodomésticos eficientes implementados. En este apartado, nos centraremos en cómo se integraron dos estrategias clave para la neutralidad hídrica (NH): los sistemas de recogida de agua de lluvia (RWH) y la implantación de electrodomésticos eficientes en el consumo de agua, con el fin de evaluar el segundo escenario de ahorro de agua para la ciudad de Turín. Para calcular el ahorro de agua en este escenario, en lugar de utilizar la demanda estándar de agua no potable para evaluar la eficacia del ahorro de agua del sistema de recogida de agua de lluvia, el análisis utiliza la demanda eficiente de agua no potable como parámetro de entrada. Esta demanda eficiente refleja la reducción conseguida mediante la instalación de aparatos ahorradores de agua en los edificios existentes, que reducen el consumo total de agua en aproximadamente un 10% (comparar la Tabla 1 y la Tabla 3). Al reducir la demanda de referencia mediante estos electrodomésticos, el ahorro de agua se amplifica. Además, una parte restante de esta demanda no potable ya reducida se cubre con agua de lluvia recogida. Esta estrategia combinada disminuye el volumen de agua que debe suministrar el acueducto de la ciudad, contribuyendo así a la neutralidad hídrica global de los edificios nuevos y existentes.

De manera conceptual, todos los parámetros de entrada que se utilizaron en la sección de evaluación de la situación de partida se utilizan también en esta sección, incluida la información de la Tabla 60. Lo que cambia es la demanda de agua de los edificios existentes. En este caso, en lugar de utilizar la demanda de agua de referencia, consideramos la demanda de agua eficiente (Tabla 65), y seguimos el mismo procedimiento descrito en el apartado 3.3.1.1.

Tabla 65. Demanda eficiente de agua de los edificios existentes en Turín.

		Distritos municipales										Total
		A	B	C	D	E	F	G	H	L	M	
Tipo 1	Ph	29	59	32	32	65	56	42	38	55	79	
	TOT. P/RBn	48285	76110	65696	45120	81965	63672	48510	27854	59840	27966	545018
	Dpotable /RB (L/RB*día)	3927	7989	4333	4333	8801	7582	5687	5145	7447	10697	
	Dpotable /RBs (L/RBs*día)	6537789	10305294	8895238	6109248	11098061	8621189	6568254	3771432	8102336	3786596	73795437
	Dnon-potable /RB (L/RB*día)	2110	4292	2328	2328	4729	4074	3056	2765	4001	5747	
	Dnon-potable /RBs (L/RBs*día)	3512734	5537003	4779384	3282480	5962954	4632138	3529103	2026379	4353360	2034527	39650060
Tipo 2	Ph	22	25	24	25	26	27	25	24	25	27	
	TOT. P/RBn	23166	15850	47112	37300	21606	20115	19300	11808	11050	4617	211924
	Dpotable /RB (L/RB*día)	2979	3385	3250	3385	3520	3656	3385	3250	3385	3656	
	Dpotable /RBs (L/RBs*día)	3136676	2146090	6378965	5050420	2925452	2723571	2613220	1598803	1496170	625142	28694510
	Dnon-potable /RB (L/RB*día)	1601	1819	1746	1819	1892	1964	1819	1746	1819	1964	
	Dnon-potable /RBs (L/RBs*día)	1685327	1153088	3427398	2713575	1571837	1463366	1404075	859032	803888	335887	15417471
Tipo 3	Ph	11	12	12	12	13	13	13	12	12	14	
	TOT. P/RBn	4312	5952	13536	9972	10608	10686	8450	6420	2604	2604	75144
	Dpotable /RB (L/RB*día)	1489	1625	1625	1625	1760	1760	1760	1625	1625	1896	
	Dpotable /RBs (L/RBs*día)	583845	805901	1832774	1350209	1436323	1446884	1144130	869268	352582	352582	10174498
	Dnon-potable /RB (L/RB*día)	800	873	873	873	946	946	946	873	873	1019	
	Dnon-potable /RBs (L/RBs*día)	313698	433008	984744	725463	771732	777407	614738	467055	189441	189441	5466726
Tipo 4	Ph		6		6	7	7	6	6		7	
	TOT. P/RBn		2088		2820	3836	4704	3828	4080		1246	22602
	Dpotable /RB (L/RB*día)		812		812	948	948	812	812		948	
	Dpotable /RBs (L/RBs*día)		282715		381828	519394	636922	518311	552432		168708	3060311
	Dnon-potable /RB (L/RB*día)		437		437	509	509	437	437		509	
	Dnon-potable /RBs (L/RBs*día)		151902		205155	279069	342216	278487	296820		90647	1644296
Tipo 5	Ph					4	4	4	4		5	
	TOT. P/RBn					1864	2320	2564	3168		980	10896
	Dpotable /RB (L/RB*día)					542	542	542	542		677	
	Dpotable /RBs (L/RBs*día)					252386	314128	347166	428947		132692	1475318
	Dnon-potable /RB (L/RB*día)					291	291	291	291		364	
	Dnon-potable /RBs (L/RBs*día)					135606	168780	186531	230472		71295	792684
Tipo 6	Ph					2	2	2	2		2	
	TOT. P/RBn					1060	1424	1120	2158		508	6270
	Dpotable /RB (L/RB*día)					271	271	271	271		271	
	Dpotable /RBs (L/RBs*día)					36666	36666	36666	36666		36666	183332
	Dnon-potable /RB (L/RB*día)					146	146	146	146		146	
	Dnon-potable /RBs (L/RBs*día)					77115	103596	81480	156995		36957	456143
Tot. Dpotable /RBs (L/RBs*día)		10258310	13540000	17106978	12891705	16268283	13779360	11227747	7257548	9951088	5102387	117383405.2
Tot. Dnon-potable /RBs (L/RBs*día)		5511758	7275000	9191526	6926673	8798312	7487503	6094413	4036752	5346689	2758753	63427378.5

3.3.2.1. Ahorro de agua gracias a la integración de RWH y electrodomésticos eficientes - Escenario 2

En este caso no es necesario repetir los pasos de evaluación del potencial de ahorro de agua de la RWH porque no varía, ya que no depende de la demanda de agua. Además, no se reevalúa el potencial de ahorro de los electrodomésticos que ahorran agua. Estimamos directamente el ahorro de agua obtenido de la integración de estas dos estrategias.

Este segundo escenario nos permite comprender el ahorro obtenido de la implantación de la RWH en Turín, considerando un escenario en el que los edificios residenciales existentes de la ciudad están equipados con electrodomésticos de consumo eficiente de agua, lo que significa que se reducirá la demanda de agua no potable que se abastecerá con agua de lluvia. En este caso, se vuelve a considerar el depósito de almacenamiento como en el escenario 1 (véase la página 95). Esto significa que, una vez más, no estamos poniendo un límite superior al tamaño del depósito, porque estamos garantizando el máximo ahorro posible de agua no potable (Escenario A de dimensionamiento del depósito a partir de la página 61). En este escenario, con el mismo tamaño

de depósito que el seleccionado anteriormente, esperamos una mayor eficiencia, porque la capacidad del depósito es la misma, pero la demanda se reduce. Sin embargo, podría darse el caso de esperar un ahorro menor, teniendo en cuenta que el sistema de ACS produce menos agua, en función de la reducción de la demanda.

3.3.3. Integración de la recogida de agua de lluvia, los electrodomésticos eficientes y las gracias eficientes - Escenario 3

En esta situación cambiamos el planteamiento. Ahora no nos centramos en dimensionar el depósito para obtener la mayor eficiencia en términos de ahorro, sino que nos centramos en dimensionar un sistema que sea viable en la vida real para su implantación en edificios residenciales de Turín teniendo en cuenta las limitaciones de espacio.

Para evaluar el ahorro derivado de la implantación del sistema de RWH y de los aparatos eficientes, utilizamos la demanda eficiente de la Tabla 65. A continuación, seguimos el mismo procedimiento del escenario 2 para simular el depósito de ACS, pero en este caso utilizamos el escenario B de dimensionamiento del depósito (véase la página 61). Nos ceñimos a los límites y las verificaciones mencionados en esa sección para dimensionar un depósito práctico, que también proporciona un ahorro razonable, no muy alejado de los otros escenarios.

3.4. Enfoque de neutralidad hídrica

Este trabajo de tesis se centra en ilustrar el proceso seguido para conocer el potencial de desarrollo residencial en Turín a través del concepto de neutralidad hídrica, esto es, según las nociones presentadas en la Sección 2.1, satisfacer la demanda de agua potable de los nuevos edificios residenciales que en condiciones normales el acueducto debería suministrar, con las potenciales reducciones en el consumo doméstico existente, a través de sistemas y tecnologías de diseño WN. Para ello, se proporciona una metodología capaz de determinar la capacidad de los edificios para reducir la demanda de agua potable mediante la implantación de RWH y Aparatos Eficientes, permitiendo el crecimiento de las ciudades y permaneciendo al mismo tiempo en condiciones de neutralidad hídrica. Aplicando el concepto de neutralidad hídrica a las ciudades, es posible abastecer la demanda de agua potable de las nuevas urbanizaciones con el ahorro de agua de las ya existentes, mediante la utilización del agua de lluvia (procedente de la recogida de aguas pluviales) en usos domésticos no potables, y mediante la implantación de instalaciones de ahorro de agua, de forma que aumente la autosuficiencia hídrica de las ciudades y se retrase la necesidad de construir nuevas infraestructuras hídricas centralizadas y ampliar el suministro de agua potable [83].

Para lograr la neutralidad hídrica en Turín, se han aplicado 2 estrategias en los edificios residenciales existentes. Después de calcular el ahorro potencial de agua de los edificios existentes

en las secciones anteriores utilizando 3 escenarios, ahora también debemos considerar los nuevos desarrollos residenciales. Se espera que cada uno de estos edificios esté equipado con electrodomésticos eficientes y sistemas de recogida de aguas pluviales, como condición por defecto. El sistema de recogida de agua de lluvia se diseña siguiendo las consideraciones del escenario 3 del apartado 3.3.3.. Esto significa que la capacidad de almacenamiento del sistema RWH se diseña teniendo en cuenta una demanda eficiente de agua no potable dada por los aparatos de ahorro de agua que los nuevos edificios deben incluir desde que se construyen, y tiene en cuenta un tamaño razonable del tanque siguiendo las verificaciones de la sección 0.

Al igual que en el caso de los edificios existentes, consideramos que los nuevos edificios consumirán agua de forma eficiente, es decir, la demanda de referencia será de 135,4 litros por persona y día. Basándonos en esta demanda, volvemos a realizar las simulaciones de los depósitos de ACS de cada edificio representativo para calcular la parte de agua no potable que se puede cubrir con agua de lluvia. Una vez conocido este valor, lo restamos de la demanda eficiente de referencia para saber cuál es la cantidad de metros cúbicos de agua que normalmente se pedirían al acueducto para ser suministrados, pero que en este contexto de neutralidad hídrica serán cubiertos por el ahorro conseguido por los edificios existentes a partir del Escenario 3.

Una vez conocida la demanda eficiente neta final de agua que necesitan los edificios existentes, estimamos el número de edificios que se pueden construir dividiendo el ahorro de un solo tipo de edificio existente, por la demanda de los nuevos edificios. Este procedimiento se realiza para cada edificio representativo de cada distrito, teniendo en cuenta el número de ocupantes Tabla 76. Una vez realizado este proceso para cada uno de los diez distritos de Turín, definimos el número medio de edificios a ampliar en función de las demandas en metros cúbicos en un año para cada uno de los nueve edificios representativos de Turín Tabla 77. Este enfoque también se aplicó para mostrar el potencial de desarrollo para las condiciones reales de Turín, es decir, teniendo en cuenta el número de edificios existentes que están presentes en la ciudad, obteniendo resultados para toda la ciudad, Tabla 79.

Además de conocer, para cada tipo de edificio existente, el potencial respectivo de nuevos edificios del mismo tipo, se presentaron combinaciones entre las distintas clases de edificios de la ciudad a partir de la capacidad de construcción individual (Tabla 78 y Figura 47). La misma combinación de metodología se aplicó para obtener los resultados a escala de la ciudad, es decir, considerando el número real de edificios existentes de cada tipo, presentes en Turín. (Tabla 80 y Figura 48).

4. Resultados y discusión

La evaluación de línea base que se realizó para conocer la demanda de agua de los edificios existentes (Tabla 61) permitió observar que el distrito C es el distrito con mayor consumo diario de agua (18'951.600 litros), lo cual está directamente relacionado con el número de edificios residenciales y de habitantes que lo convierten en el distrito con los barrios más densamente poblados. Por el contrario, el distrito con menor consumo corresponde al distrito M, donde se ubica Mirafiori Sud, con un total de 5'656.950 litros de agua potable en un día. En cuanto a la demanda de agua no potable, el distrito C requiere aproximadamente la mitad de su demanda total de agua potable (10'423.380 litros). De esta forma, la demanda diaria de agua potable que abastece el acueducto de Turín asciende a 130'062.600 litros, y la parte que se destina a abastecer usos no potables supone 71'927.955 litros al día. La distribución del uso de agua no potable de Turín, dividida por distritos, se muestra en la Figura 35.

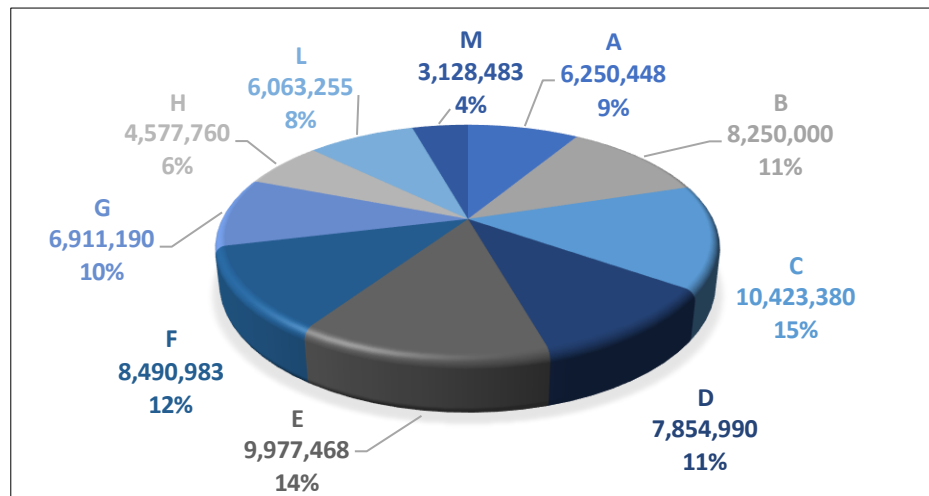


Figura 35. Distribución de la demanda de agua no potable de Turín (por distritos).

Una segunda distribución de la demanda de agua no potable de Turín se realiza para las distintas tipologías de edificios que se eligieron como representativas (véase la Figura 36). De la tabla 61 se puede concluir que los edificios de tipología 1 son los que más consumen, con 44.963.985 litros de agua destinados a usos no potables. Recordemos que esta clase de edificios se caracteriza por un número de plantas entre 5 y 10, albergando entre 32 y 79 habitantes por edificio, lo que influye claramente en esa enorme demanda, en un 62,5% de la demanda total de agua no potable de Turín. Lo contrario ocurre con el edificio de tipología 6, que consume menos del 1% para abastecer sus usos de agua no potable. Este resultado era de esperar, teniendo en cuenta que no tiene más de 2 plantas y un valor medio de 2 ocupantes.

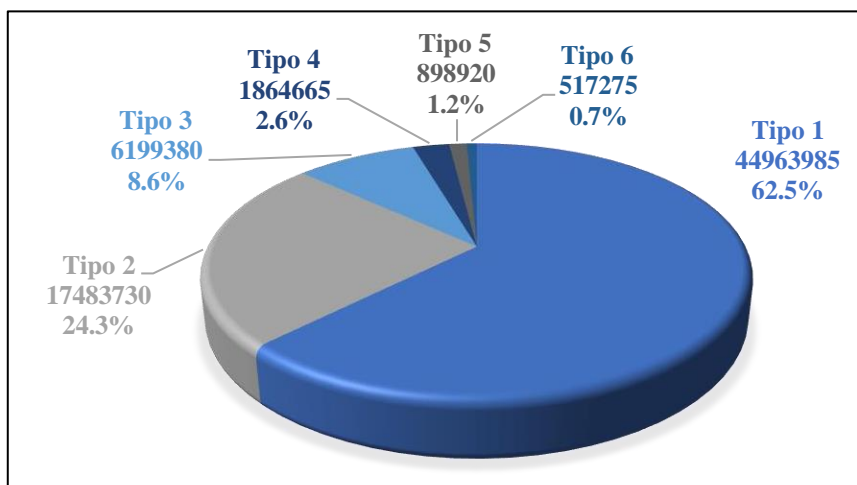


Figura 36. Distribución de la demanda de agua no potable de Turín (basada en la tipología de edificios).

Tras evaluar todos los potenciales individuales de ACS a nivel de edificio (Tabla 66), distrito y ciudad (Tabla 67), estimamos el potencial de ACS de cada tipo de edificio representativo aplicando una media simple de todos los distritos, y los resultados indicaron una variación significativa entre los distintos tipos de edificios. La tipología 1A, por ejemplo, tenía un potencial anual de RWH de 411,4 m³/año, mientras que la tipología 6 tenía el más bajo con 62,7 m³/año. El potencial total de RWH para la ciudad se estimó en 7.524.413,7 m³/año, siendo el Distrito C, una vez más, el de mayor capacidad.

Tabla 66. Potencial medio anual de RWH de cada edificio representativo.

Edificio representativo Tipo	PRWH (m ³ /año)
1A	411.4
1B	483.7
1C	370.1
1D	302.3
2	196.2
3	124.8
4	127.4
5	62.7
6	62.7

Tabla 67. Potencial anual de referencia para RWH en Turín (instalaciones de consumo de agua estándar).

Tipo de Edificio representativo	Distritos de Turín										Tot. P _{RWH} para cada tipo de RB a nivel de ciudad (m ³ /RB Tipo-año)
	A	B	C	D	E	F	G	H	L	M	
1A	604039.4	-	-	-	-	-	488854.7	332403.0	-	-	1425297.1
1B	-	-	-	-	-	549984.2	-	-	-	-	549984.2
1C	-	389995.4	-	-	457473.7	-	-	-	342083.4	192639.6	1382192.0
1D	-	-	620667.1	426274.0	-	-	-	-	-	-	1046941.1
2	176338.4	76668.9	356074.9	180425.8	100491.8	180183.9	186714.1	141305.3	102892.3	41357.6	1542452.9
3	56884.9	59980.7	136407.7	100491.8	98677.9	99403.5	78603.7	77636.3	24929.5	22492.8	755508.7
4		42083.2		56836.5	66269.0	81264.2	77152.6	98677.9		25830.4	448113.8
5					28176.4	35069.4	38757.7	57465.4		11851.0	171319.8
6					32046.1	43050.7	33860.1	78289.3		15358.0	202604.1
Tot. P_{RWH} para cada distrito a nivel de ciudad (m³/distrito-año)	837262.6	568728.1	1113149.6	764028.2	783134.9	988955.7	903942.8	785777.2	469905.1	309529.4	7'524,413.7

Resultados del dimensionamiento de tanques de almacenamiento contemplando tres escenarios. El primero, el escenario 1, considera la implantación de un sistema de ACS en edificios con un consumo de agua estándar y selecciona un tamaño de depósito que garantice la máxima eficiencia de ahorro posible sin preocuparse por la viabilidad de la construcción ni por las implicaciones económicas, como se indica en las consideraciones sobre el tamaño de los depósitos del escenario A (véase la página 61). Este escenario maximizó la eficiencia del ahorro con instalaciones de consumo de agua estándar, lo que supuso un ahorro sustancial en toda la ciudad.

En el segundo escenario, el escenario 2, se mantiene el tamaño del depósito diseñado en el escenario anterior y, además, se instalan aparatos de consumo eficiente de agua en los edificios para ver los efectos de la reducción de la demanda de agua no potable en la eficiencia del ahorro de agua del sistema de RWH. En este escenario se integraron aparatos de consumo eficiente de agua, aumentando el ahorro de agua sin alterar el tamaño del depósito.

Sin embargo, como en la realidad en la mayoría de los casos no es posible garantizar la máxima eficiencia del sistema, se reevalúa el diseño del depósito para elegir un tamaño factible que sea práctico, teniendo en cuenta el proceso de construcción y los costes de implantación (Escenario 3). Por este motivo, aplicamos las consideraciones del Escenario B para dimensionar el depósito de la página 61. Este se estableció como Escenario 3, y se centró en el dimensionamiento práctico del tanque, reduciendo el ahorro de agua pero asegurando la viabilidad.

Los resultados de cada distrito se presentan en las siguientes Figuras, siguiendo el orden alfabético, del distrito A al distrito M (de la Figura 37 a la Figura 46).

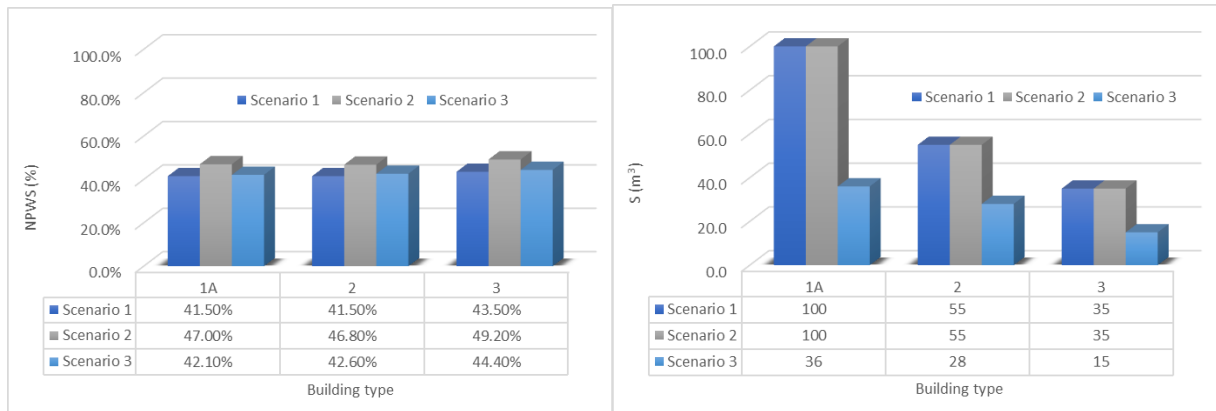


Figura 37. NPWS (%) (izquierda) y Tamaño del tanque - S (m^3) a través de diferentes escenarios - Distrito A.

Los resultados presentados a partir de las simulaciones de los depósitos de recogida de agua de lluvia (RWH) en varios distritos de Turín, revelan la relación entre el tamaño del depósito (S , en metros cúbicos) y el correspondiente ahorro de agua no potable (NPWS, expresado como porcentaje). Cada distrito se analizó en tres escenarios, cada uno de los cuales reflejaba variaciones en el consumo de agua, la eficiencia de las instalaciones y el tamaño de los depósitos.

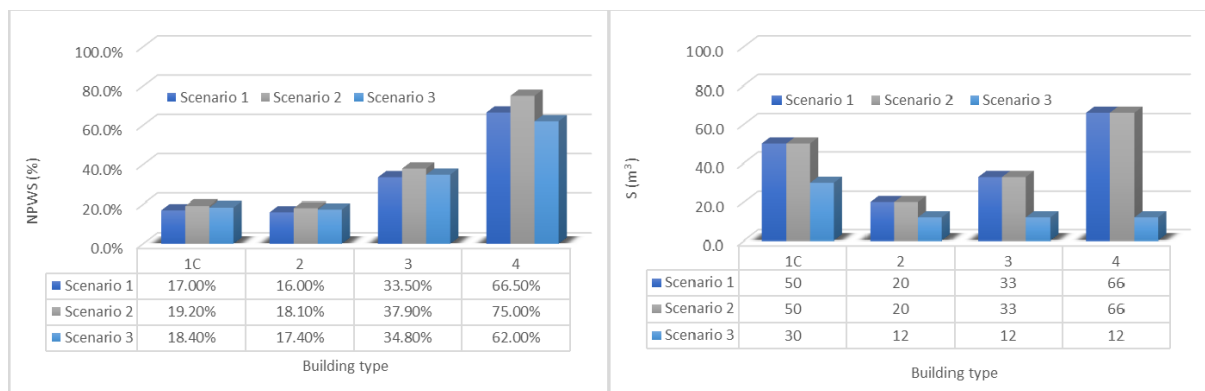


Figura 38. NPWS (%) (izquierda) y Tamaño del tanque - S (m^3) a través de diferentes escenarios - Distrito B.

El escenario 1 consistía en dimensionar los depósitos en función del consumo de agua estándar, centrándose en maximizar la eficiencia sin tener en cuenta la viabilidad o los costes de construcción. Los resultados indicaron porcentajes NPWS significativos, con varios edificios que lograron ahorros superiores al 41%. Por ejemplo, el edificio 1A registró un NPWS del 41,50% con un tamaño de depósito de 100 m^3 .

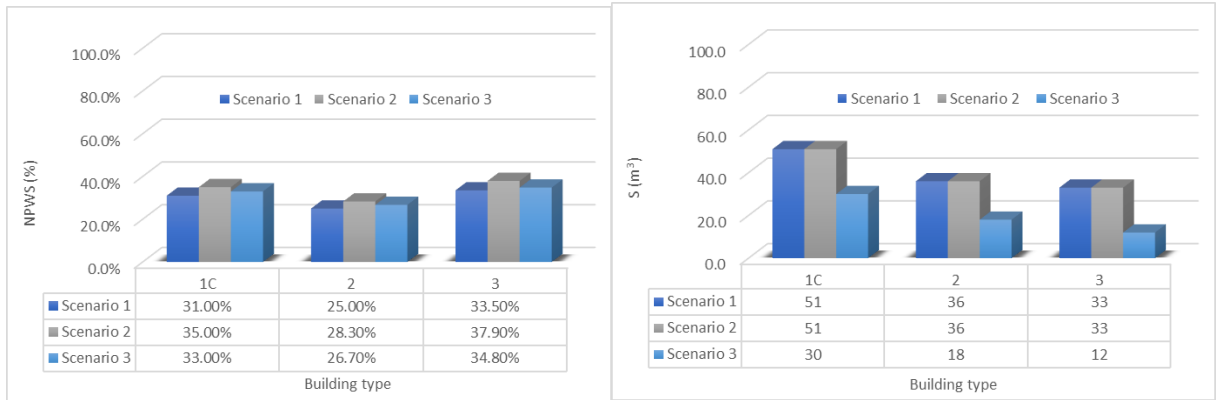


Figura 39. NPWS (%) (izquierda) y Tamaño del tanque - S (m³) a través de diferentes escenarios - Distrito C.

En el Escenario 2 se mantuvieron los mismos tamaños de depósito del Escenario 1, pero se introdujeron accesorios eficientes en el consumo de agua. En general, este escenario arrojó valores NPWS más altos en la mayoría de los edificios en comparación con el Escenario 1, con el Edificio 1A alcanzando ahora el 47%. Esto sugiere que la mejora de la eficiencia en el uso del agua puede conducir a un mayor ahorro sin alterar necesariamente la capacidad del depósito.

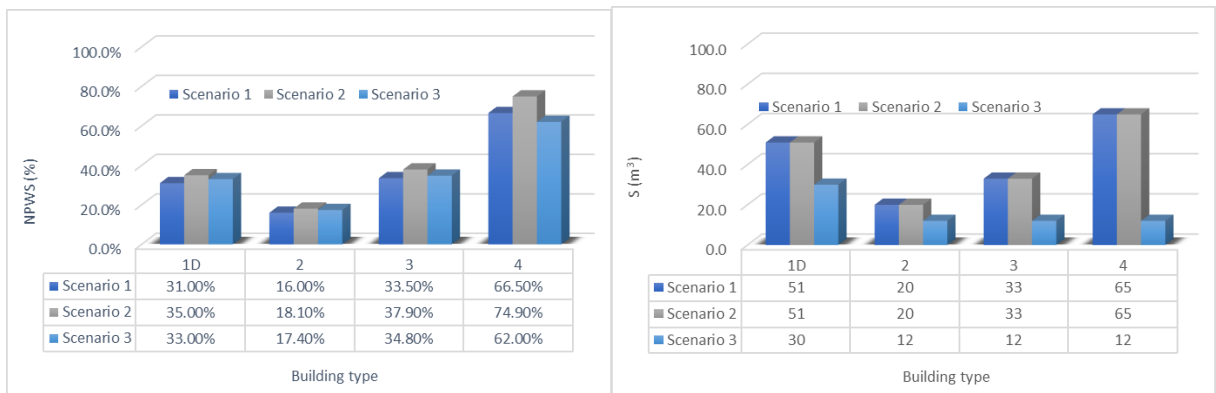


Figura 40. NPWS (%) (izquierda) y Tamaño del tanque - S (m³) a través de diferentes escenarios - Distrito D.

En el último escenario, el escenario 3, se reevaluaron los tamaños de los tanques para comprobar su viabilidad, lo que a menudo se tradujo en una reducción de las capacidades. Los valores NPWS disminuyeron en muchos casos, lo que indica que, aunque los tamaños de los depósitos eran más viables, no permitían alcanzar los mismos niveles de eficiencia. Por ejemplo, el NPWS del Edificio 1A descendió al 42,10% con un tamaño de depósito reducido de 36 m³.

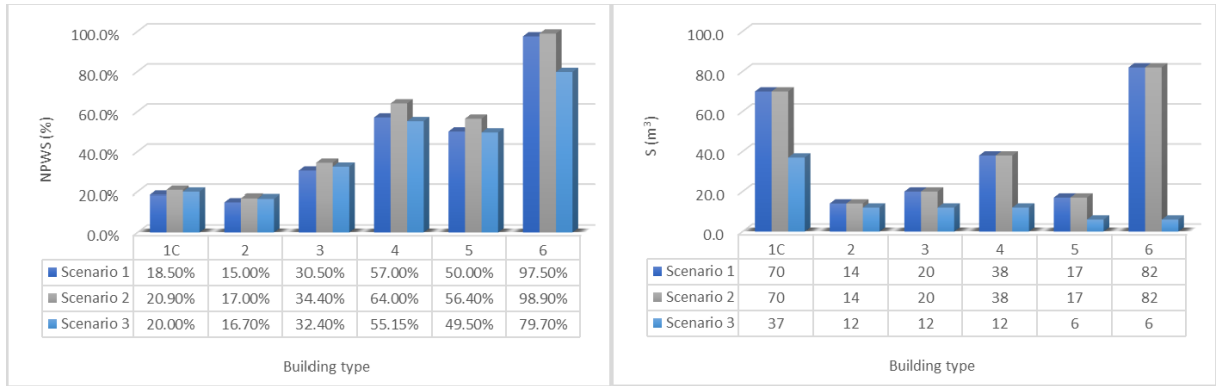


Figura 41. NPWS (%) (izquierda) y Tamaño del tanque - S (m³) a través de diferentes escenarios - Distrito E.

Existe una correlación positiva en los escenarios iniciales, lo que significa que en los escenarios 1 y 2, los tamaños de depósito más grandes se correlacionan con porcentajes NPWS más altos. Los diseños iniciales fueron eficaces a la hora de captar y utilizar el agua de lluvia, lo que subraya la importancia de una capacidad de almacenamiento adecuada para lograr el ahorro de agua.

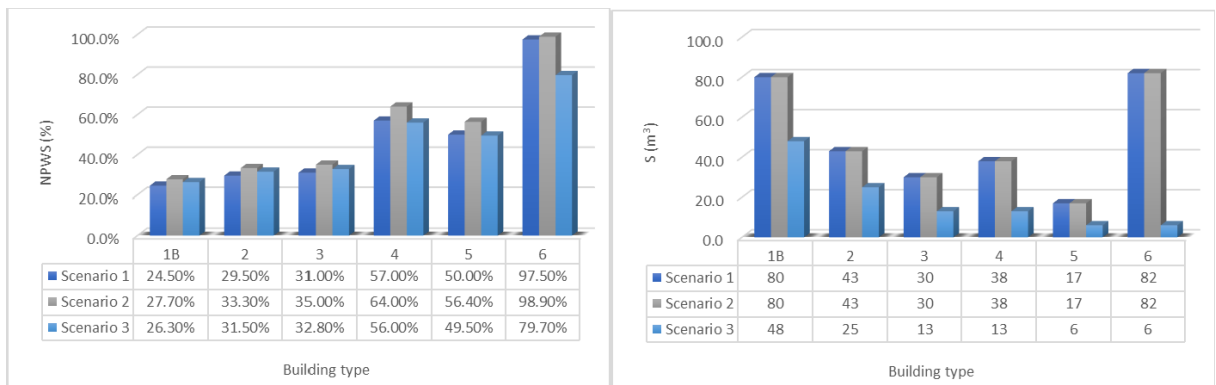


Figura 42. NPWS (%) (izquierda) y Tamaño del tanque - S (m³) a través de diferentes escenarios - Distrito F.

Sin embargo, podemos ver que la reducción del tamaño de los tanques para el Escenario 3 condujo a una disminución de los porcentajes de NPWS en muchos casos. Por ejemplo, mientras que el Edificio 4 del Distrito A mantuvo un NPWS elevado del 66,50% en el Escenario 1, descendió al 62,00% en el Escenario 3 cuando se redujo el tamaño de los depósitos. Esto pone de relieve una idea crucial: la practicidad no debe comprometer la eficiencia, especialmente en entornos urbanos donde los recursos hídricos son cada vez más escasos.

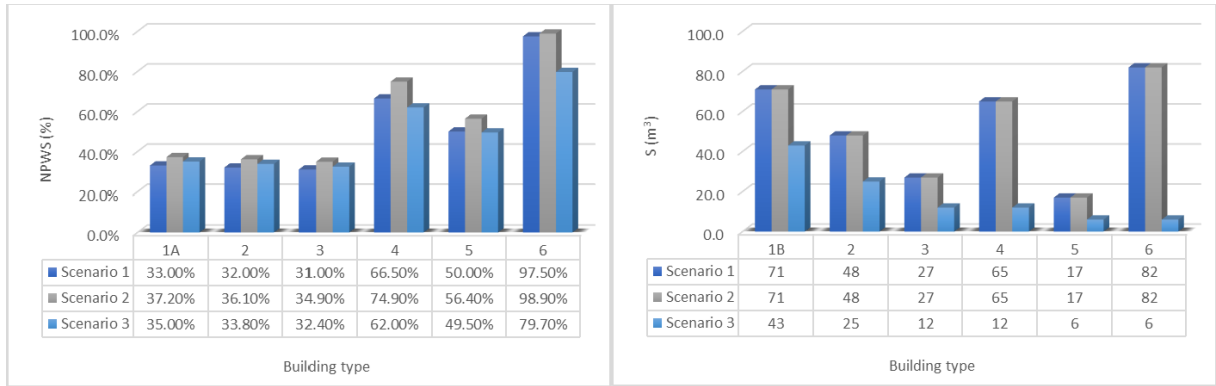


Figura 43. NPWS (%) (izquierda) y Tamaño del tanque - S (m³) a través de diferentes escenarios - Distrito G.

Sin embargo, los resultados nos permiten ver que aunque la eficiencia de ahorro de agua se reduce, no está tan lejos de las eficiencias obtenidas en los otros dos escenarios, pero aquí tenemos una ventaja que es, podemos obtener eficiencias de ahorro de agua similares, con tamaños de tanques significativamente más pequeños, lo que significa que la nueva demanda eficiente tiene un buen impacto en el ahorro de agua y la viabilidad del tamaño del tanque.

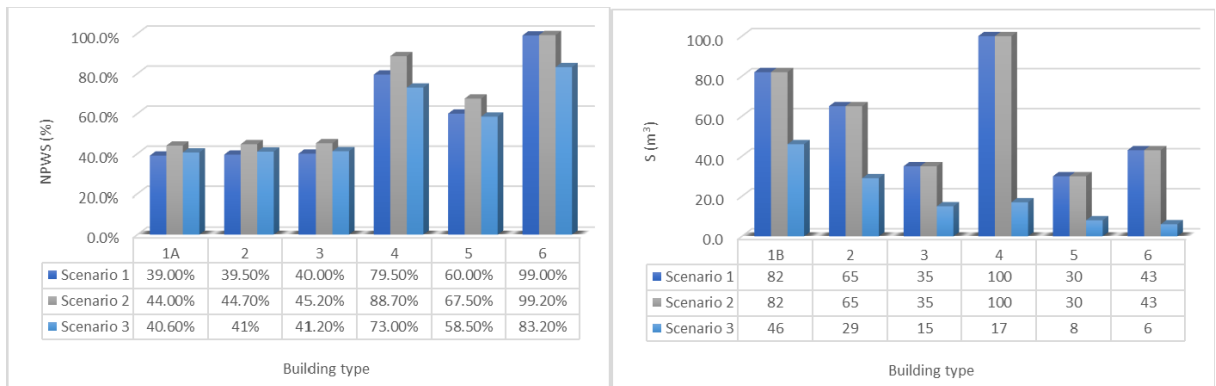


Figura 44. NPWS (%) (izquierda) y Tamaño del tanque - S (m³) a través de diferentes escenarios - Distrito H.

Los distritos con mayor densidad de edificios, como el Distrito A, mostraron en general mayores porcentajes de NPWS en todos los escenarios, probablemente debido a la mayor superficie de tejado disponible para la recogida de aguas pluviales. Por ejemplo, los edificios de este distrito alcanzaron porcentajes de NPWS entre el 41% y el 79,50%, lo que indica una gran capacidad de ahorro de agua.

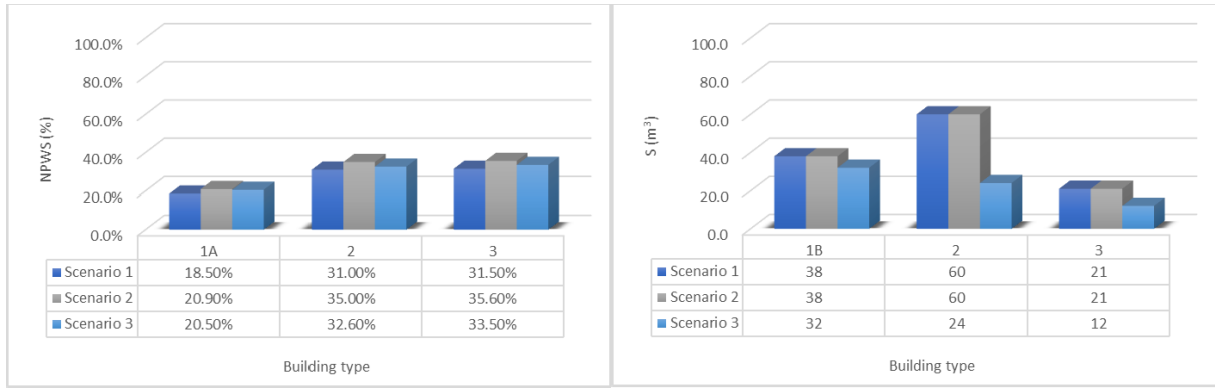


Figura 45. NPWS (%) (izquierda) y Tamaño del tanque - S (m³) a través de diferentes escenarios - Distrito L.

Los diferentes tipos de edificios dentro de los distritos también influyeron significativamente en los resultados. Por ejemplo, en el Distrito B, un tipo de edificio de menor rendimiento (Edificio 1C) obtuvo un NPWS de sólo el 17,00% en el Escenario 1 en comparación con otros tipos de edificios, lo que sugiere que el diseño del edificio desempeña un papel fundamental en la eficiencia de los sistemas de RWH.

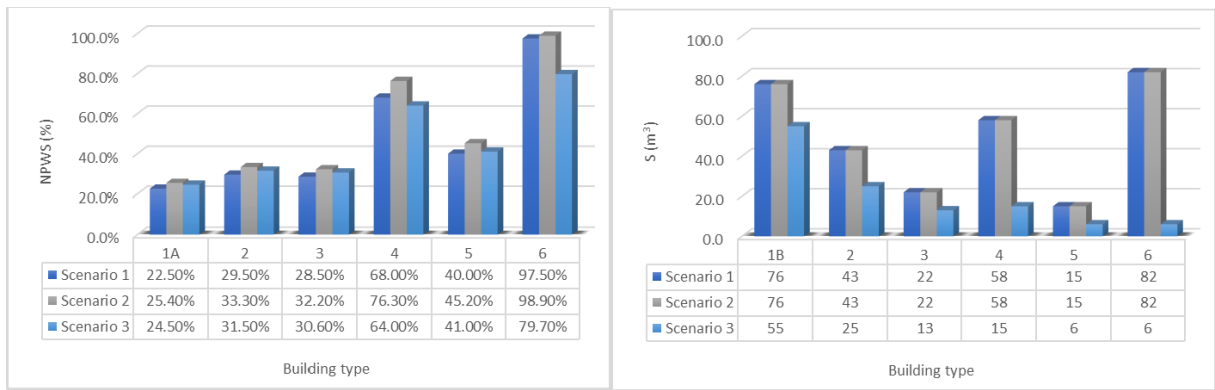


Figura 46. NPWS (%) (izquierda) y Tamaño del tanque - S (m³) a través de diferentes escenarios - Distrito M.

Los resultados subrayan la importancia de los enfoques específicos de cada distrito para lograr la neutralidad hídrica. Los distritos con mayor densidad de población, como el C, tienen tanto una mayor demanda de agua como un potencial de RWH más significativo. Esto sugiere que la adaptación de los edificios de estas zonas con sistemas de RWH y electrodomésticos eficientes puede suponer un ahorro sustancial de agua. Los edificios de tipología 1, que albergan el mayor número de personas, son los más críticos para alcanzar la neutralidad hídrica debido a su desproporcionada cuota de uso de agua y a su potencial de ahorro.

Los escenarios 1 y 2 demostraron que la combinación de RWH con electrodomésticos eficientes en el uso del agua puede reducir significativamente la dependencia del agua potable. Sin embargo, los resultados del escenario 3 pusieron de manifiesto la existencia de un equilibrio entre practicidad y eficiencia; aunque la reducción del tamaño de los depósitos hizo que los sistemas

fueran más viables para su aplicación en el mundo real, también redujo el ahorro total. Esto sugiere que es necesario considerar cuidadosamente el diseño del edificio, el consumo de agua y el tamaño del sistema RWH para equilibrar la eficiencia con la viabilidad.

Tras evaluar todos los ahorros de agua medios anuales individuales, es posible obtener resultados a nivel de edificio (Tabla 68), distrito y ciudad (Tabla 69). Al final, en el escenario 1, es posible obtener 7.331.899,31 metros cúbicos de ahorro de agua en todo un año en Turín.

Tabla 68. Ahorro medio anual de agua de cada edificio representativo (Implantación de RWH - Escenario 1)

Edificio representativo Tipo	Agua ahorrada/RB (m ³ /RB-año)
1A	406.9
1B	479.3
1C	365.0
1D	298.4
2	194.5
3	124.2
4	126.4
5	62.4
6	58.9

Tabla 69. Ahorro medio anual de agua en Turín gracias al ACS (instalaciones de consumo de agua estándar).

Edificio representativo Tipo	Distritos de Turín										Tot. Agua ahorrada por cada tipo de OR a nivel de ciudad (m ³ /RB Tipo-año)	
	A	B	C	D	E	F	G	H	L	M		
1A	381112.4						481357.5	327370.1				1189840.1
1B						545006.2						545006.2
1C		387272.5			455787.8				333131.5	189165.6		1365357.5
1D			612641.2	420761.9								1033403.1
2	289259.2	76145.8	354785.6	179194.8	97854.6	178573.1	185585.2	140386.0	102813.5	40987.9		1645585.8
3	56508.6	59963.7	136369.1	100463.4	97314.6	99295.4	78394.1	77252.7	24705.7	22329.0		752596.3
4		41810.9		56453.0	65830.5	80726.4	76632.0	97633.6		25501.4		444587.7
5					28039.6	34899.1	38569.5	57137.2		11800.6		170446.0
6					31130.4	41820.5	32892.5	64314.1		14919.1		185076.7
Tot. Agua ahorrada por cada distrito en la ciudad (m³/distrito-año)	726880.3	565192.9	1103795.9	756873.1	775957.5	980320.7	893430.8	764093.8	460650.7	304703.6		7331899.31

Una vez evaluado el ahorro de agua obtenido gracias a la implantación de la HRA en los edificios de Turín, el siguiente paso consistió en evaluar el ahorro de agua derivado de la instalación de electrodomésticos eficientes en el consumo de agua en los hogares, de acuerdo con el apartado 3.3.1.3., e incluir esa reducción del consumo en los cálculos de ahorro de la HRA. Tras evaluar todos los ahorros de agua medios anuales individuales, es posible obtener resultados a nivel de edificio (Tabla 70), distrito y ciudad (Tabla 71).

Tabla 70. Ahorro medio anual de agua de cada edificio representativo (Aplicación de aparatos de ahorro de agua)

Edificio representativo Tipo	Agua ahorrada ef. Apps./RB (m ³ /RB-año)
1A	191.3
1B	298.4
1C	340.5
1D	170.5
2	133.0
3	65.9
4	34.2
5	22.3
6	10.7

Tabla 71. Ahorro de agua anual de referencia derivado de la implantación de electrodomésticos eficientes en Turín.

Tipo de edificio representativo	Distritos de Turín										Tot. Agua ahorrada por cada tipo de RB a nivel de ciudad (m ³ /RB Tipo-año)	
	A	B	C	D	E	F	G	H	L	M		
1A	257310.8						258509.8	148434.0				664254.5
1B						339308.1						339308.1
1C		405590.2			436791.5				413264.0	149030.8		1404676.4
1D			350094.0	240444.5								590538.5
2	123451.6	84464.7	251059.8	198771.7	115138.4	107192.8	102849.7	62924.8	198771.7	24604.0		1269229.2
3	22978.6	31718.2	72133.3	53140.8	56530.0	56945.7	45030.1	34212.2	53140.8	13876.7		439706.4
4		11127.0		15027.8	20442.0	25067.6	20399.4	21742.3		6639.9		120446.1
5					9933.3	12363.3	13663.6	16882.3		5222.4		58064.8
6					5648.7	7588.5	5968.5	11500.0		2707.1		33412.8
Tot. Agua ahorrada para cada distrito a nivel de ciudad (m³/distrito-año)	403741.0	532900.0	673287.2	507384.7	644483.9	548466.0	446421.0	295695.6	665176.4	202081.0		4'919,636.9

Tras evaluar la eficiencia del sistema de RWH cuando se implementan aparatos ahorradores de agua, Escenario 2, los resultados se presentan en la Tabla 72. Para conocer el ahorro total de agua de este escenario, sumamos el ahorro obtenido del sistema RWH que funciona con una demanda menor (Tabla 73), y añadimos el ahorro que se obtiene directamente de la implantación de los accesorios eficientes en el consumo de agua en los edificios residenciales (Tabla 71). Llegamos a 7.290.843,7 metros cúbicos de agua ahorrados en un año en Turín.

Tabla 72. Ahorro medio anual de agua de cada edificio representativo (Implementación de RWH con aparatos eficientes - Escenario 2)

Edificio representativo Tipo	Agua ahorrada RWH + ef. Apps./RB (m ³ /RB-año)
1A	405.4
1B	478.2
1C	364.5
1D	297.2
2	194.1
3	124.0
4	125.3
5	62.1
6	52.6

Tabla 73. Ahorro anual de agua del sistema RWH con electrodomésticos eficientes en el uso del agua en Turín (Escenario 2).

Representante Tipo de edificio	Distritos de Turín										Tot. Agua ahorrada por cada tipo de RB a nivel de ciudad (m ³ /RB Tipo-año)	
	A	B	C	D	E	F	G	H	L	M		
1A	380340.2						479489.3	325663.0				1185492.5
1B						543746.8						543746.8
1C		387148.8			455734.5				332214.9	188592.2		1363690.4
1D			610221.7	419100.1								1029321.8
2	288029.0	76120.0	354610.8	179134.2	97621.7	178098.2	185166.9	140009.9	102783.4	40878.9		1642453.1
3	56360.6	59893.2	136208.8	100345.3	96922.5	99235.8	78296.4	77062.5	24636.8	22276.8		751238.8
4		41561.1		56753.7	65241.1	80003.6	76174.1	96130.8		25242.4		440468.9
5					27907.2	34734.3	38387.4	56781.7		11773.2		169584.0
6					27844.3	37405.9	29420.4	56832.7		13344.2		164847.4
Tot. Agua ahorrada para cada distrito a nivel de ciudad (m³ /distrito-año)	724729.8	564723.2	1101041.3	754695.4	771271.3	973224.7	886934.6	752480.6	459635.1	302107.7		7'290,843.7

En cuanto a los resultados del tercer escenario de ahorro de agua, los resultados se muestran en la Tabla 74 para mostrar el ahorro medio que puede alcanzar un único edificio representativo como muestra de toda la ciudad. A continuación, para mostrar los resultados de toda la ciudad, consideramos los datos presentados en la Tabla 75. Todos estos resultados se dan combinando los electrodomésticos eficientes y el sistema RWH, para obtener una menor demanda de agua no potable. Se alcanzan 6'780.717,0 metros cúbicos de agua ahorrados en un año en Turín.

Tabla 74. Ahorro medio anual de agua de cada edificio representativo (Implementación de RWH con electrodomésticos eficientes - Escenario 3)

Edificio representativo Tipo	Agua ahorrada RWH + ef. Apps./RB (m ³ /RB-año)
1A	372.9
1B	454.1
1C	352.0
1D	279.2
2	182.9
3	114.9
4	105.1
5	54.7
6	42.7

En cuanto a la eficiencia del ahorro de agua en Turín, o el potencial de ahorro de agua mediante sistemas de recogida de agua de lluvia, está más influenciada por la afluencia que los sistemas de recogida de agua de lluvia son capaces de recoger, que por la demanda de agua, ya que la demanda de agua no potable en la mayoría de los casos supera el suministro de agua disponible. Esto significa que parámetros como la altura de las precipitaciones durante el año y la superficie de captación (superficie del tejado de cada edificio) influyen mucho en el potencial de ahorro de agua.

Tabla 75. Ahorro anual de agua del sistema RWH con electrodomésticos eficientes en el uso del agua en Turín (Escenario 3).

Tipo de Edificio representativo	Distritos de Turín										Tot. Agua ahorrada para cada tipo de RB a nivel de ciudad (m ³ /RB Tipo-año)
	A	B	C	D	E	F	G	H	L	M	
1A	341655.1						450445.0	300405.5			1092505.6
1B						516272.4					516272.4
1C		371531.3			436266.3				325924.9	182025.7	1315748.1
1D			573253.4	393710.4							966963.8
2	262244.5	73166.0	333966.8	172182.5	96019.5	168187.4	173205.2	127551.7	95716.4	38604.1	1540844.0
3	50879.5	55045.2	125183.3	92222.8	91250.7	93057.8	72687.5	70267.8	23183.7	21171.5	694949.7
4		34379.3		52159.7	56178.0	70008.8	63028.7	79067.9		21127.7	370222.1
5					24479.7	30468.3	33672.8	49248.3		10649.3	148518.4
6					22433.9	30137.6	23703.7	47666.4		10751.3	134692.9
Tot. Agua ahorrada para cada distrito a nivel de la ciudad (m³/distrito-año)	654779.0	534121.8	1032403.5	704547.5	726628.0	908132.3	816742.8	674207.6	444824.9	284329.6	6'780,717.0

Los tres escenarios representan distintos enfoques para alcanzar la neutralidad hídrica en Turín, con una necesidad básica de agua constante de 47.472.849 m³/año pero distintos grados de ahorro y eficiencia hídrica, como refleja el Indicador de Rendimiento (IR), dado por la Ecuación 45.

El escenario 1, que probablemente se centra en medidas básicas de ahorro de agua como la recogida de agua de lluvia (RWH) sin electrodomésticos adicionales que ahorren agua, demuestra un ahorro moderado. Aunque la estrategia proporciona un ahorro de agua significativo, el PI relativamente bajo del 15,4% sugiere que existe potencial para mejorar aún más la eficiencia.

En el escenario 2, la introducción de electrodomésticos eficientes en el consumo de agua junto con el RWH da como resultado un aumento sustancial del ahorro de agua. El IP aumenta hasta el 25,7%, lo que indica una combinación de estrategias mucho más eficaz. Este escenario demuestra que la integración de múltiples tecnologías de ahorro de agua puede mejorar el rendimiento global.

El escenario 3 ofrece un PI ligeramente inferior, del 24,6%, probablemente debido a un enfoque más práctico o factible, como la limitación del tamaño de los depósitos o el ajuste del diseño de los sistemas para adaptarlos a las limitaciones del mundo real. Aunque sigue siendo muy eficiente, este escenario sacrifica algunos ahorros de agua para garantizar que la estrategia se pueda aplicar de forma realista en todas las zonas residenciales de Turín.

$$PI = \frac{\text{Volumen de agua potable ahorrada para usos internos}}{\text{Requerimiento básico calculado}} \cdot 100$$

Ecuación 45

Escenario	Necesidad básica (m ³ /año)	Ahorro de agua (m ³ /año)	PI (%)
1	47'472,849.00	7'331,899.31	15.4
2	47'472,849.00	12'210,480.6	25.7
3	47'472,849.00	11'700,353.9	24.6

La comparación de estos tres escenarios pone de manifiesto un equilibrio entre la maximización del ahorro de agua y la aplicación de soluciones viables. Mientras que el Escenario 2 consigue el PI más alto, el Escenario 3 proporciona un enfoque más realista para los entornos urbanos. Sin embargo, teniendo en cuenta la reducción significativa del tamaño del depósito en el Escenario 3, en comparación con los Escenarios 1 y 2, el ahorro de agua de este escenario sigue siendo importante. El hecho de que el ahorro de agua y el Indicador de Rendimiento (IP) sigan siendo elevados a pesar de la reducción del tamaño del depósito del sistema de Captación de Agua de Lluvia (RWH) permite comprender mejor la eficacia de las estrategias de ahorro de agua y la relación entre la capacidad del depósito y la demanda.

Dado que la demanda de agua no potable en los edificios residenciales a menudo supera el suministro de agua de lluvia disponible, un depósito más pequeño puede capturar suficiente agua de lluvia para cubrir una parte sustancial de esta demanda, lo que supone un ahorro significativo a pesar de las limitaciones de tamaño. El PI relativamente alto indica que, incluso con depósitos de tamaño reducido, la integración de sistemas de RWH con electrodomésticos eficientes en el consumo de agua aumenta significativamente el rendimiento general del sistema. Estos electrodomésticos reducen el consumo de agua potable, disminuyendo así la demanda de agua de lluvia almacenada y maximizando la eficiencia de un sistema de depósito más pequeño. La reducción del tamaño del depósito puede reducir tanto el coste como el espacio necesario para su implantación, lo que hace que los sistemas de RWH sean más viables para los entornos urbanos. El hecho de que el ahorro y la eficiencia sigan siendo elevados a pesar de estas reducciones es un indicador positivo de que los sistemas más pequeños y rentables pueden seguir desempeñando un papel crucial en la consecución de la neutralidad hídrica.

Desarrollo residencial potencial

Después de la implementación de ACS y electrodomésticos eficientes en los nuevos edificios residenciales planificados, esperamos que la demanda que necesita ser suministrada por el acueducto sea menor que la demanda real cubierta para los edificios existentes, porque, en primer lugar, tenemos un consumo reducido debido a los accesorios de ahorro de agua, entonces, tenemos ahorros porque abastecemos parte de la demanda de agua no potable con agua lluvia, entonces, se espera que la demanda restante sea abastecida por el acueducto, que en este caso, como estamos enfocados en lograr la neutralidad hídrica, estamos reemplazando el abastecimiento del acueducto, por los ahorros de agua obtenidos en los edificios existentes.

Como parte de la metodología, primero se obtuvo la cantidad de edificios posibles de construir para un solo edificio de cada tipología, aplicando el concepto de neutralidad hídrica, basado en el consumo medio anual de agua. Los resultados se resumen en la Tabla 76 con una subdivisión por distritos, y en la Tabla 77 para explicar cuántos edificios de cada tipología es posible construir con el ahorro de la misma tipología de edificio.

A continuación, se combinaron los resultados para conocer no sólo el número de edificios que la ciudad podía ampliar en un futuro desarrollo residencial, teniendo en cuenta la clase correspondiente, por ejemplo, Si tengo el ahorro del tipo de edificio existente 1A, puedo construir 0,4 edificios del mismo tipo (1A). También hicimos combinaciones para ver el impacto que el ahorro de cierto tipo puede tener en el potencial de desarrollo de otros tipos diferentes, como saber que con el ahorro medio anual de un edificio de clase 1A podemos suministrar 10 edificios nuevos de clase 6.

Tabla 76. Edificios a ampliar de cada tipo, por cada distrito de Turín.

Tipo de Edificio representativo	Cantidad de edificios a ampliar de cada RB (edificio/distrito*año)									
	A	B	C	D	E	F	G	H	L	M
1A	0.4						0.4	0.4		
1B						0.3				
1C		0.2			0.2				0.2	0.3
1D			0.3	0.3						
2	0.4	0.2	0.3	0.2	0.2	0.3	0.4	0.4	0.3	0.3
3	0.5	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.4	0.4	0.3
4		0.7		0.7	0.6	0.6	0.7	0.8		0.7
5					0.5	0.5	0.5	0.6		0.4
6					0.9	0.9	0.9	1.0		0.9

Tabla 77. Número medio de edificios a ampliar de cada tipo de OR existente.

Tipo de Edificio representativo	Edificios para ampliar
1A	0.40
1B	0.33
1C	0.25
1D	0.35
2	0.31
3	0.37
4	0.66
5	0.51
6	0.95

Tabla 78. Posibles combinaciones de Cantidad de edificios a ampliar de cada tipo para cada distrito de Turín.

	Nuevo RB 1A	Nuevo RB 1B	Nuevo RB 1C	Nuevo RB 1D	Nuevo RB 2	Nuevo RB 3	Nuevo RB 4	Nuevo RB 5	Nuevo RB 6
RB 1A existente	0.40	0.24	0.20	0.43	0.54	1.14	2.68	3.73	10.06
RB 1B existente	0.54	0.33	0.27	0.58	0.72	1.52	3.57	4.97	13.40
RB 1C existente	0.50	0.30	0.25	0.53	0.67	1.40	3.29	4.58	12.35
RB 1D existente	0.32	0.19	0.16	0.35	0.43	0.91	2.13	2.97	8.01
RB 2 existente	0.23	0.14	0.11	0.25	0.31	0.65	1.52	2.11	5.70
RB 3 existente	0.13	0.08	0.06	0.14	0.17	0.37	0.86	1.20	3.23
RB 4 existente	0.10	0.06	0.05	0.11	0.13	0.28	0.66	0.92	2.48
RB 5 existente	0.06	0.03	0.03	0.06	0.07	0.16	0.37	0.51	1.37
RB 6 existente	0.04	0.02	0.02	0.04	0.05	0.11	0.25	0.35	0.95

Es importante señalar que no es posible cubrir el 100% de la demanda de agua no potable de los nuevos edificios utilizando agua de lluvia, teniendo en cuenta que para Turín, en la mayoría de los casos, la demanda de agua no potable para usos domésticos interiores supera el suministro de agua de lluvia disponible, que a su vez depende de las zonas de captación de los mismos edificios.

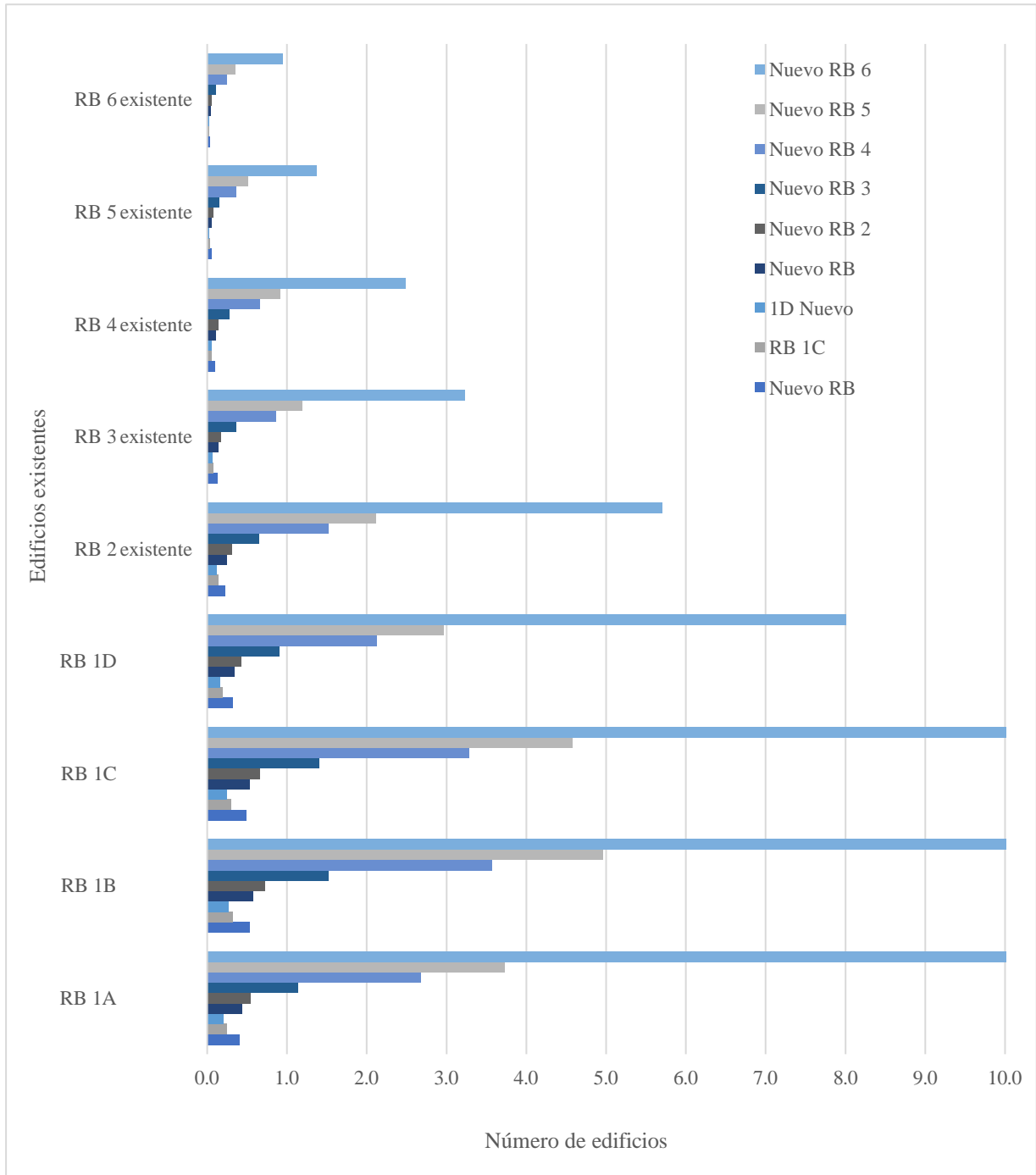


Figura 47. Combinaciones del número de edificios a ampliar de cada tipo.

Los distintos distritos de Turín presentan distintas capacidades de ampliación de edificios en función de las tipologías de edificios existentes y del ahorro de agua. El estudio indica que la ciudad puede soportar la expansión de 15.529 nuevos edificios basándose en el ahorro de agua de 36.158 edificios existentes de diversas tipologías (Tabla 79, Tabla 80 y Figura 48). Los distritos con edificios existentes más grandes y con más ocupantes tienden a generar más ahorro, lo que permite una expansión residencial más significativa.

Tabla 79. Edificios a ampliar en función de los edificios existentes en Turín y del ahorro medio anual.

Edificio representativo Tipo	Edificios existentes	Edificios para ampliar
1A	3553	1433
1B	1137	370
1C	3993	988
1D	3463	1196
2	8595	2649
3	6073	2218
4	3534	2334
5	2675	1361
6	3135	2979
Total	36158	15529

Tabla 80. Posibles combinaciones de Cantidad de edificios a ampliar de cada tipo para cada distrito de Turín.

	Nuevo RB 1A	Nuevo RB 1B	Nuevo RB 1C	Nuevo RB 1D	Nuevo RB 2	Nuevo RB 3	Nuevo RB 4	Nuevo RB 5	Nuevo RB 6	Total
RB 1A existente	1433	867	716	1541	1931	4047	9507	13240	35737	15529
RB 1B existente	611	370	305	657	823	1726	4054	5646	15240	
RB 1C existente	1978	1197	988	2126	2665	5585	13120	18272	49319	
RB 1D existente	1112	673	556	1196	1499	3142	7380	10279	27744	
RB 2 existente	1966	1190	982	2114	2649	5552	13043	18165	49029	
RB 3 existente	786	475	392	845	1058	2218	5212	7258	19590	
RB 4 existente	352	213	176	378	474	994	2334	3251	8775	
RB 5 existente	147	89	74	158	198	416	977	1361	3673	
RB 6 existente	119	72	60	128	161	337	793	1104	2979	

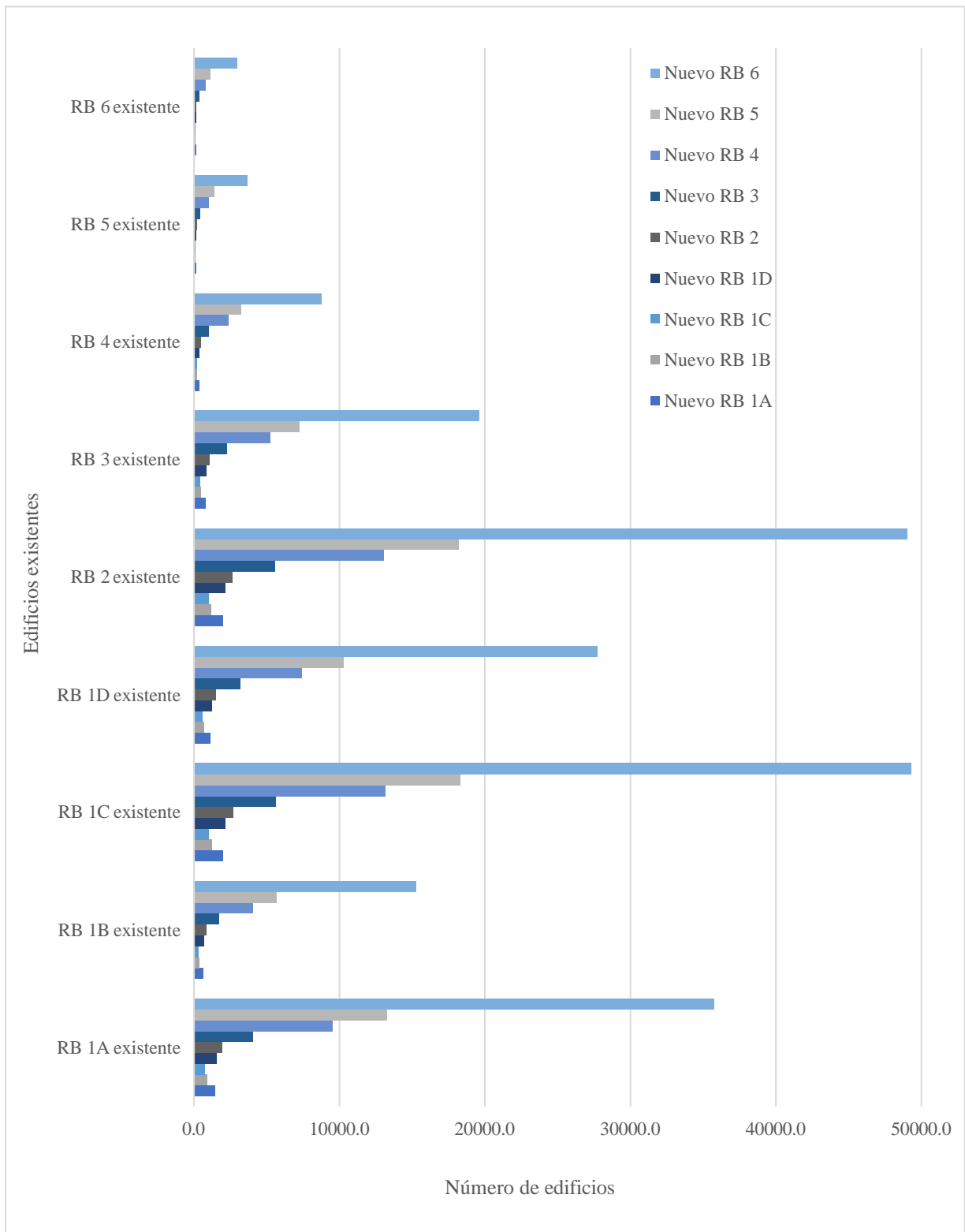


Figura 48. Combinaciones del número de edificios a ampliar de cada tipo basadas en los edificios existentes de Turín.

5. Conclusión

Las simulaciones de RWH tienen implicaciones significativas para lograr la neutralidad hídrica en las zonas urbanas. En el Escenario 1, el ahorro anual de agua para toda la ciudad ascendió a 7.331.899,31 m³/año, con la Tipología 1A contribuyendo con 406,9 m³/año. El escenario 2 mejoró ligeramente el ahorro en muchos casos, pero el escenario 3, aunque más práctico, registró reducciones en la eficiencia, ejemplificadas por el ahorro de agua no potable (NPWS) del edificio 1A, que cayó del 47% en el escenario 2 al 42,10% en el escenario 3. Los resultados subrayan la necesidad de una planificación y un diseño cuidadosos de los sistemas RWH que equilibren la eficiencia con consideraciones prácticas de construcción.

Reducir el tamaño del depósito manteniendo un elevado ahorro de agua y PI refleja un equilibrio optimizado entre la capacidad de almacenamiento y la demanda del sistema, lo que sugiere que la eficiencia del sistema RWH y la integración con otras tecnologías de ahorro de agua son más importantes que el mero volumen de almacenamiento.

Los diseños futuros deberán tener en cuenta las características específicas de cada distrito y tipo de edificio para optimizar el ahorro de agua. La implementación de accesorios eficientes en el uso del agua junto con sistemas de RWH puede mejorar drásticamente NPWS, como se demuestra en el escenario 2. Este enfoque debe integrarse en estrategias más amplias de gestión del agua para maximizar el uso de agua no potable. Este enfoque debería integrarse en estrategias más amplias de gestión del agua para maximizar el uso de agua no potable. Las variaciones en el NPWS entre distritos ponen de relieve la necesidad de intervenciones políticas específicas que apoyen la instalación de sistemas de RWH eficientes, especialmente en zonas densamente pobladas. Los responsables políticos deberían incentivar la modernización de los edificios existentes con tecnologías eficientes desde el punto de vista hídrico y sistemas de RWH para mejorar la sostenibilidad urbana en general.

El análisis confirma que es posible alcanzar la neutralidad hídrica en Turín con la implantación estratégica de sistemas de producción de agua de lluvia y de aparatos eficientes, sobre todo en los distritos de mayor densidad, incluida la conservación del agua en los edificios existentes y la implantación de sistemas de producción de agua de lluvia y de aparatos ahorradores de agua en los edificios nuevos. Este enfoque no sólo garantiza un suministro de agua sostenible, sino que también contribuye al ahorro de costes y a la preservación del medio ambiente. La investigación futura debería centrarse en perfeccionar el equilibrio entre la viabilidad y la eficiencia del sistema, teniendo en cuenta factores como la variabilidad estacional de las precipitaciones y el impacto del cambio climático en los recursos hídricos.

La implementación de RWH y electrodomésticos que ahorran agua en los nuevos desarrollos residenciales reduce significativamente la necesidad de agua potable suministrada por el acueducto. El estudio demuestra que el ahorro de agua de los edificios existentes equipados con

RWH y accesorios de ahorro de agua se puede utilizar para satisfacer la demanda de los nuevos edificios, lo que permite una expansión residencial sostenible. Por ejemplo, el ahorro de un edificio existente de tipología 1A puede suministrar agua suficiente para 0,4 edificios nuevos del mismo tipo. Además, el ahorro del edificio de tipología 1A puede soportar la construcción de 10 nuevos edificios de la tipología 6, lo que demuestra la flexibilidad y el impacto de las estrategias de ahorro de agua en todos los tipos de edificios.

Los distintos distritos de Turín presentan distintas capacidades de ampliación de edificios en función de las tipologías de edificios existentes y del ahorro de agua. El estudio indica que la ciudad puede soportar la expansión de 15.529 nuevos edificios basándose en el ahorro de agua de 36.158 edificios existentes de diversas tipologías. Los distritos con edificios existentes más grandes y más ocupantes tienden a generar más ahorro, permitiendo así una expansión residencial más significativa.

Es importante señalar que, aunque los sistemas de producción de agua de lluvia pueden contribuir significativamente a los usos de agua no potable, como las cisternas de los inodoros y el riego, no pueden satisfacer totalmente la demanda de agua no potable. En la mayoría de los casos, la demanda supera el suministro de agua de lluvia disponible debido a las limitaciones de las zonas de captación y a las variaciones estacionales de las precipitaciones en Turín. Por lo tanto, aunque la captación de agua de lluvia puede reducir la demanda de agua potable, en la mayoría de los casos no es factible depender totalmente de ella para usos no potables.

Para garantizar la utilización eficiente de nuestros recursos hídricos y la aplicación eficaz de las estrategias de agua verde que acabamos de mencionar, es crucial actualizar la normativa urbanística de las ciudades. En concreto, debe exigirse a los nuevos desarrollos urbanísticos que cumplan las normas de gestión y eficiencia en el uso del agua, lo que podría lograrse mediante la implantación de sistemas comunitarios de recogida y reutilización de aguas pluviales y la implantación de electrodomésticos ahorradores de agua. Esto no sólo ayudaría a conservar el agua, sino que también garantizaría que los edificios utilizan de forma sostenible este valioso recurso.

Los resultados sugieren que Turín tiene un potencial considerable para el desarrollo residencial sostenible mediante la integración de sistemas RWH y electrodomésticos ahorradores de agua. Sin embargo, el éxito en la consecución de la neutralidad hídrica depende de la optimización de los diseños de los sistemas y de la combinación de múltiples estrategias. La metodología aplicada en este trabajo proporciona una base para las decisiones de planificación urbana, garantizando que los futuros desarrollos puedan llevarse a cabo sin sobrecargar la infraestructura hídrica de la ciudad.

Referencias

- [1] U. DESA, "The Sustainable Development Goals Report 2023", UN DESA, Nueva York, EE.UU., julio de 2023.
- [2] Artesia Consulting, "The Long-Term Potential for Deep Reductions in Household Water Use", Ofwat, Reino Unido, 2018.
- [3] L. Makin, T. Slater, N. Richardson y M. Richardson, "Waterwise - A Review of Water Neutrality en the REINO UNIDO". 29 enero 2021. [En línea]. Disponible: <https://database.waterwise.org.uk/knowledge-base/a-review-of-water-neutrality-in-the-uk-2021/>. [Consultado el 05 de abril de 2024].
- [4] P. Puchol-Salort, S. Boskovic, B. Dobson, M. van Reeuwijk y A. Mijic, "Water neutrality framework for systemic design of new urban developments", *Water Research*, vol. 219, nº 118583, 2022.
- [5] E. Cristiano, R. Deidda y F. Viola, "The role of green roofs in urban Water-Energy-Food-Ecosystem nexus: A review", *Science of The Total Environment*, vol. 756, nº 143876, 2021.
- [6] M. de Brito Barros, I. A. A. Rufino y L. I. B. de Miranda, "Water saving mechanisms supporting urban planning," *Revista Brasileira de Recursos Hidricos*, vol. 21, no. 1, pp. 251 - 262, 2016.
- [7] B. Syahputra, B. F. T. Kiono y Sudarno, "WATER CONSERVATION MODEL IN HOTEL AND APARTMENT BUILDING IN SEMARANG CITY, INDONESIA",". *Revista Internacional de GEOMATE*, vol. 25, nº 110, pp. 9-20, 2023.
- [8] M. Mannan y S. G. Al-Ghamdi, "Life Cycle Environmental Impacts of Water Use in Buildings: A Case Study in Qatar", en *Environmental Science and Engineering - 9th International Conference on Energy and Environment Research*, Qatar, 2023.
- [9] R. P. A. Reis, D. G. Rocha, G. P. de Rezende, M. A. S. Campos, R. E. Basso y B. Fioramonte, "Influence of the number of residents and climatic factors on residential water consumption", *Water Supply*, vol. 23, no. 4, pp. 1626-1640, 01 de abril de 2023.
- [10] T. F. Dias, A. Kalbusch y E. Henning, "Factores que influyen en el consumo de agua en edificios del sur de Brasil", *Journal of Cleaner Production*, vol. 184, pp. 160-167, 20 de mayo de 2018.
- [11] S. Costa, I. Meireles y V. Sousa, "Understanding residential water demand: insights from a survey in a Mediterranean city", *Urban Water Journal*, vol. 21, no. 4, pp. 521-537, 2024.
- [12] F. Jordán-Cuebas, U. Krogmann, C. Andrews, J. Senick, E. Hewitt, R. Wener, M. Allacci y D. Plotnik, "Understanding apartment end-use water consumption in two green residential

- multistory buildings", *Journal of Water Resources Planning and Management*, vol. 144, no. 4, 2018.
- [13] S. Bardhan e I. R. Choudhuri, "Studies on Virtual Water Content of Urban Buildings in India", *Indian Journal of Science and Technology*, vol. 9 (6), febrero de 2016.
- [14] J. Senick, F. Jordán-Cuebas, U. Krogmann, C. Andrews , E. Hewitt, R. Wener, M. S. Allacci y D. Plotnik, "Understanding apartment end-use water consumption in two green residential multistory buildings", *Journal of Water Resources Planning and Management*, vol. 144, no. 4, 01 de febrero de 2018.
- [15] R. Pombo, V. Sousa e I. Meireles, "Greenhouse gas emissions and energy savings owing to water appliances retrofit", *WIT Transactions on the Built Environment*, vol. 179, pp. 381-389, 2018.
- [16] C. J. Bastidas Pacheco, J. S. Horsburgh y N. A. Attallah, "Variability in Consumption and End Uses of Water for Residential Users in Logan and Providence, Utah, US", *Journal of Water Resources Planning and Management*, vol. 149, n° 1, p. Art. n. 05022014, 2023.
- [17] Climate Technology Centre & Network , "Water-efficient appliances and fixtures," UNEP Copenhagen Climate Centre (UNEP-CCC), 11 de agosto de 2016. [En línea]. Disponible: <https://www.ctc-n.org/technologies/water-efficient-appliances-fixtures>. [Consultado el 22 de mayo de 2024].
- [18] P. Adithya, J. Anuja, B. Meera, N. Midhuna, M. Niranjana y J. Mayour Shirish, "Water-Efficient Technologies to Reduce WaterConsumption in the Indian Buildings", *NICMAR-Journal of Construction Management*, vol. 37, no. 3, pp. 75-81, 01 de marzo de 2023.
- [19] U. Hasan, "Innovative Plumbing Technologies That Can Save You Money and Water", *Tech Bullion*, 30 de agosto de 2024. [En línea]. Disponible: <https://techbullion.com/innovative-plumbing-technologies-that-can-save-you-money-and-water/>. [Consultado el 5 de septiembre de 2024].
- [20] S. B. P. B. S. C. N. G. & S. Prajwal K, "Water Efficiency Using Water Fixtures inResidential Buildings - A Case Study in Pune City," *Journal of Advances and Scholarly Researches in Allied Education [JASRAE]*, vol. 15, no. 2, pp. 100-103, 2018.
- [21] H. A. Rahman, H. A. Al-Farsi, M. Ahmed y M. F. A. Goosen, "Evaluation of some water saving devices in urban areas: A case study from the Sultanate of Oman", *ReseaRch PaPeRJournal of Agricultural and Marine Sciences*, vol. 22, n.º 1, pp. 18-26, 2018.
- [22] M. H. R. Mehrabadi, B. Saghafian y F. H. Fashi, "Assessment of residential rainwater harvesting efficiency for meeting non-potable water demands in three climate conditions", *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 73, pp. 86-93, 2013.

- [23] A. Campisano y C. Modica, "Optimal sizing of storage tanks for domestic rainwater harvesting in Sicily", *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 63, pp. 9-16, 2012.
- [24] A. Tesfay Abraha, T. Assefa Woldeamanuel y E. Gebremariam Beyene, "Tracking and tracing water consumption for informed water sensitive intervention through machine learning approach," *npj Clean Water*, vol. 7, p. Art. n. 28, 2024.
- [25] D. Fiorillo, Z. Kapelan, M. Xenochristou, F. De Paola y M. Giugni, "Assessing the Impact of Climate Change on Future Water Demand using Weather Data", *Water Resources Management*, vol. 35, p. 1449-1462, 2021.
- [26] B. Anderson, "Laundry, energy and time: Insights from 20 years of time-use diary data in the United Kingdom", *Energy Research & Social Science*, vol. 22, pp. 125-136, 2016.
- [27] H. Chang, G. Parandvash y V. Shandas, "Spatial variations of single-family residential water consumption in Portland, Oregon", *Urban Geography*, vol. 31, n° 7, pp. 953 - 972, 2010.
- [28] I. Kostakis, "The socioeconomic determinants of sustainable residential water consumption in Athens: empirical results from a micro-econometric analysis", *Discover Sustainability*, vol. 2, n° 1, p. Art. n. 37, 2021.
- [29] R. Q. Grafton, M. B. Ward, H. To y T. Kompas, "Determinants of residential water consumption: Evidence and analysis from a 10-country household survey", *Water Resources Research*, vol. 47, n° 8, p. Art. n. W08537, 2011.
- [30] G. Romano, N. Salvati y A. Guerrini, "An empirical analysis of the determinants of water demand in Italy", *Journal of Cleaner Production*, vol. 130, pp. 74 - 81, 2016.
- [31] M. Carollo, "Stima della riduzione del consumo domestico di acqua potabile a Torino mediante il ricupero di acque piovane (Tesi di laurea magistrale)", Politecnico di Torino, Turín, 2020.
- [32] I. Butera, "Rainwater harvesting-2", en *Green water for sustainable building course*, Politecnico di Torino, Turín, Italia, 2023.
- [33] M. Sbriscia, M. Bagagli, S. Catalino, C. Di Perna, E. Gianangeli, M. Grosso, G. Iiritano, M. Mari, L. Marzi, A. Moro, G. Petrunaro, B. Rontini y A. Sanchini, "PRASSI DI RIFERIMENTO UNI/PdR 13.1:2019 - Sostenibilità ambientale nelle costruzioni - Strumenti operativi (Sostenibilidad medioambiental de las obras de construcción - Herramientas operativas para la evaluación de la sostenibilidad - Edificios residenciales)", UNI-ITACA, Roma, 2019.
- [34] D. S. Kenney, C. Goemans, R. Klein, J. Lowrey y K. Reidy, "Residential water demand

- management: Lessons from Aurora, Colorado", *Journal of the American Water Resources Association*, vol. 44, n° 1, pp. 192-207, 2008.
- [35] P. H. Gleick, "Water use", *Annual Review of Environment and Resources*, vol. 28, n° 1, pp. 275-314, 2003.
- [36] J. A. Nathanson, "Sistema de suministro de agua", Enciclopedia Británica, 15 de agosto de 2024. [En línea]. Disponible: <https://www.britannica.com/technology/water-supply-system>. [Consultado el 23 de agosto de 2024].
- [37] S. Siddha y P. Sahu, "Chapter 12 - Traditional and existing methods of urban water supply and their loopholes", en *Current Directions in Water Scarcity Research*, vol. 6, Gandhinagar, India, Elsevier, 2022, pp. 245-271.
- [38] WASH, "Programa Conjunto OMS/UNICEF de Monitoreo del Abastecimiento de Agua, del Saneamiento y de la Higiene (JMP)", Abastecimiento de Agua, Saneamiento e Higiene (WASH), 2023. [En línea]. Disponible: <https://washdata.org/>. [Consultado el 23 de agosto de 2024].
- [39] G. Chung, K. Lansey y G. Bayraksan, "Reliable water supply system design under uncertainty", *Environmental Modelling & Software*, vol. 24, no. 4, pp. 449-462, 01 April 2009.
- [40] K. Wurthmann, "Assessing storage requirements, water and energy savings, and costs associated with a residential rainwater harvesting system deployed across two counties in Southeast Florida", *Journal of Environmental Management*, vol. 252, p. art. no. 109673, 2019.
- [41] G. Freni y L. Liuzzo, "Effectiveness of rainwater harvesting systems for flood reduction in residential urban areas", *Water (Suiza)*, vol. 11, n.º 7, p. art. n.º 1389, 2019.
- [42] A. Musz-Pomorska, M. K. Widomski y J. Gołebiowska, "Financial sustainability of selected rain water harvesting systems for single-family house under conditions of Eastern Poland", *Sustainability (Suiza)*, vol. 12, n° 12, p. art. n.º. 4853, 2020.
- [43] D. Erten, "Single-Family Home and Building Rainwater Harvesting Systems", en *Handbook of Water Harvesting and Conservation: Basic Concepts and Fundamentals*, Estambul, Turquía, Wiley, 2021, pp. 71-86.
- [44] C. M. Silva, V. Sousa y N. V. Carvalho, "Evaluation of rainwater harvesting in Portugal: Application to single-family residences", *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 94, pp. 21-34, 2015.
- [45] E. & F. D. Ghisi, "Potential for potable water savings by using rainwater and greywater in

- a multi-storey residential building in southern Brazil," *Building and Environment*, vol. 42, no. 7, pp. 2512-2522, 2007.
- [46] G. Markovič, "Posibilidades de fuentes de agua alternativas en Eslovaquia", *Handbook of Environmental Chemistry*, vol. 69, pp. 355-371, 2019.
- [47] M. S y R. K, "Application of green blue roof to mitigate heat island phenomena and resilient to climate change in urban areas: a case study from Seoul, Korea." *Journal of Water and Land Development*, vol. 33, pp. 165-170, 2017 .
- [48] A. C. P. C. L. P. C. P. W. A. H. I. e. a. McNabola, "Energy recovery in the water industry using micro-hydropower: an opportunity to improve sustainability", *Water Policy*, vol. 16, pp. 168-183, 2013.
- [49] M. C. A. G. M. B. A. W. H. v. L. N. e. a. Demuzere, "The implementation of biofiltration systems, rainwater tanks and urban irrigation in a single-layer urban canopy model," *Urban Clim.*, vol. 10, pp. 148-170, 2014.
- [50] J.-f. W. O. L. Y. J.-m. Z. H. Y. L. J. e. a. Li, ". Effect of green roof on ambient CO2 concentration," *Build. Environ.* vol. 45, pp. 26400-2651, 2010.
- [51] R. D.B, "Green roofs as a means of pollution abatement," *Environ. Pollut*, vol. 159, pp. 2100-2110, 2011.
- [52] A. K. M. U. S. Ortigara, "A review of the SDG 6 synthesis report 2018 from an education, training, and research perspective", *Water*, vol. 10, p. 1353, 2018.
- [53] A. L. F. Campisano, "A dimensionless approach for the urban-scale evaluation of domestic rainwater harvesting systems for toilet flushing and garden irrigation", *Urban Water J.*, vol. 14, pp. 883-891, 2017.
- [54] S. A. M. M. M. Cipolla, "Systems for rainwater harvesting and Greywater reuse at the building scale: a modelling approach", *Environmental Engineering and Management Journal*, vol. 17, p. 10, 2018.
- [55] N. Dolman y F. Ogunyoye, "How water challenges can shape tomorrow's cities". *Actas de la Institución de Ingenieros Civiles: Civil Engineering*, vol. 171, nº 6, pp. 22 - 30, 15 de enero de 2018.
- [56] A. Philippi, G. Marcon, L. E. G. Grisotto y T. F. Malheiros, "Integrated urban water management: Institutional, legal and socioeconomic issues", en *Integrated Urban Water Management: Humid Tropics: UNESCO-IHP*, São Paulo, Brasil, CRC Press, 2010, pp. 129 - 142.

- [57] P. Kowalczyk y Z. W. Kundzewicz, "Conflictos relacionados con el agua en zonas urbanas de Polonia". *Revista de Ciencias Hidrológicas*, vol. 56, no. 4, pp. 588 - 596, 2011.
- [58] Los editores de la Encyclopaedia Britannica, "Turín. Encyclopaedia Britannica", Encyclopaedia Britannica, 1 de julio de 2024. [En línea]. Disponible: <https://www.britannica.com/place/Turin-Italy>. [Consultado el 14 de agosto de 2024].
- [59] Istat, "IstatData," 01 01 2024. [en línea]. Disponible: https://esploradati.istat.it/databrowser/#/it/dw/categories/IT1,POP,1.0/POP_POPULATIO N/DCIS_POPRES1/DCIS_POPRES1_REG_MUN/IT1,22_289_DF_DCIS_POPRES1_3B ,1.0. [Consultado el 22 de abril de 2024].
- [60] L. Battisti, E. Pomatto y F. Larcher, "Assessment and Mapping Green Areas Ecosystem Services and Socio-Demographic Characteristics in Turin Neighborhoods (Italy)", *Forests*, vol. 11, n° 1, p. Artículo 25, 2020.
- [61] J. Cahill, C. Hoolohan y A. L. Browne, "Social practice theory and household water demand: A review of literature and research evidence", *WIREs Water*, vol. 11, no. 3, p. e1719, 2024.
- [62] https://www.citypopulation.de/en/italy/piemonte/torino/001272_torino/, "POBLACIÓN CIUDAD," 01 enero 2024. [en línea]. Disponible: https://www.citypopulation.de/en/italy/piemonte/torino/001272_torino/. [Consultado el 22 04 2024].
- [63] Climatestotravel.com, "Climas para viajar - Guía mundial del clima: Tiempo y clima en Turín (Piamonte)," Climatestotravel.com, [en línea]. Disponible: <https://www.climatestotravel.com/climate/italy/turin>. [Consultado el 16 de agosto de 2024].
- [64] Centro Euro-Mediterraneo sui Cambiamenti Climatici - CMCC, "Report Torino - Analisi del rischio: I cambiamenti climatici in sei cita italiane - Torino," CMCC, 21 de septiembre de 2021. [En línea]. Disponible: <https://www.cmcc.it/it/report-torino>. [Consultado el 16 de agosto de 2024].
- [65] R. Lesniewski, "Mapa administrativo de Turín. 123RF", Inmage Lab Pte Ltd 2024, [en línea]. Disponible: https://www.123rf.com/photo_50025932_turin-administrative-map.html. [Consultado el 15 de agosto de 2024].
- [67] Dipartimento di Fisica, "Stazione Meteorologica di Fisica dell'Atmosfera," Università degli Studi di Torino, 2023. [En línea]. Disponible: <https://www.meteo.dfg.unito.it/anno-2023>. [Consultado el 26 de marzo de 2024].
- [68] CITTÁ DI TORINO, "Piano strategico sulla gestione sostenibile delle acque in ambito urbano cwc", Turín, 2022.
- [69] Città di Torino (Departamento de Políticas Medioambientales), "Plan de resiliencia climática

- 2030 de Turín". Julio 2020. [En línea]. Disponible: http://www.comune.torino.it/ambiente/bm~doc/resilienza-climatica_en.pdf. [Consultado el 25 Abril de 2024].
- [70] N. Khoury-Nolde, "Rainwater Harvesting", Zero M., SSWM, Alemania, 2016.
- [71] N.-P. E. Gould J, Rainwater catchment systems for domestic water supply: design,, Londres: IT Publications, 1999, p. 300.
- [72] Elbi S.p.A. - Divisione Termoidraulica, "Termoidraulica.elbi.it," Elbi S.p.A. , 18 Nov 2008. [En línea]. Disponible: <https://termoidraulica.elbi.it/prodotti/serbatoi-in-poliethylene-per-interro-e-acque-reflue/rain-system-sistemi-di-recupero-acqua-piovana/>. [Consultado el 27 de julio de 2024].
- [73] F. García-Ávila, M. Guanoquiza-Suárez, J. Guzmán-Galarza, R. Cabello-Torres y L. Valdiviezo-Gonzales, "Rainwater harvesting and storage systems for domestic supply: Una visión general de la investigación para la gestión de la escasez de agua en zonas rurales," *Resultados en Ingeniería*, vol. 18, nº 101153, 2023.
- [74] T. Yue y S. Zha Ng, "Impacts of rainfall change on water saving and runoff control performance of rainwater harvesting systems", *Science of Soil and Water Conservation*, vol. 18, nº 2, pp. 43-51, 2020.
- [75] M. M. Haque, A. Rahman y B. Samali, "Evaluation of climate change impacts on rainwater harvesting", *Journal of Cleaner Production*, vol. 137, pp. 60-69, 2016.
- [76] Ente nazionale italiano di unificazione (UNI) [Organismo italiano de normalización], "UNI/TS 11445:2012 - Impianti per la raccolta e utilizzo dell'acqua piovana per usi diversi dal consumo umano - Progettazione, installazione e manutenzione", UNI, Milán, 2012.
- [77] J. Imroatul Chalimah, G. Taufik Ari y L. Fadel Muhammad, "Feasibility Analysis of Rainwater Harvesting System Implementation for Public Facilities in Palembang", en *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 248 (2019) 012005*, 2019.
- [78] M. Carollo, I. Butera y R. Revelli, "Water savings and urban storm water management: Evaluation of the potentiality of rainwater harvesting systems from the building to the city scale", *PLoS ONE*, vol. 17, nº 11, 2022.
- [79] A. Belmeziti, O. Coutard y B. de Gouvello, "A New Methodology for Evaluating Potential for Potable Water Savings (PPWS) by Using Rainwater Harvesting at the Urban Level: The Case of the Municipality of Colombes (Paris Region)", *Water*, vol. 5, no. 1, pp. 312-326, 2013.
- [80] Istat, "Censimento Popolazione Abitazioni - Dati censimento popolazione", 9 de octubre de 2011. [En línea]. Disponible: <http://dati-censimentopopolazione.istat.it/Index.aspx>.

[Consultado el 17 de agosto de 2024].

- [81] C. Lúcio, C. Matos Silva y V. Sousa, "A scale-adaptive method for urban rainwater harvesting simulation", *Environmental Science and Pollution Research*, vol. 27, n° 11, pp. 4557-4570, 2020.
- [82] Città di Torino, "Geoportale Comune di Torino", [en línea]. Disponible: <http://geoportale.comune.torino.it/geocatalogocoto/?sezione=mappa..> [Consultado el 21 de agosto de 2024].
- [83] A. Campisano, D. Butler, S. Ward, M. J. Burns, E. Friedler, K. DeBusk, L. N. Fisher-Jeffes, E. Ghisi, A. Rahman, H. Furumai y M. Han, "Urban rainwater harvesting systems: Research, implementation and," *Water Research*, vol. 115, pp. 195-209, 2017.
- [84] V. Ashton, S. Gordon-Walker y D. Marshallsay, "Delivering water neutrality: measures and funding strategies", Environment Agency, Bristol, Reino Unido, 2009.
- [85] A. Stephan y R. H. Crawford, "A comprehensive life cycle water analysis framework for residential buildings", *Building Research and Information*, vol. 42, n° 6, pp. 685-695, 1 Enero de 2014.
- [86] R. Penn, M. Hadari y E. Friedler, "Evaluation of the effects of greywater reuse on domestic wastewater quality and quantity", *Urban Water Journal*, vol. 9, no. 3, pp. 1-12, 2012.
- [87] V. Notaro, L. Liuzzo y G. Freni, "Evaluation of the optimal size of a rainwater harvesting system in Sicily", *Journal of Hydroinformatics*, vol. 19, n.º 6, pp. 853-864, 2017.
- [88] L. Alarcon, C. Astorima, S. Rodriguez and K. Melendez, "Optimization of water use in residential buildings," in *7th Congreso Internacional de Innovacion y Tendencias en Ingenieria, CONIITI 2021*, Bogota, 2021.
- [89] P. Puchol-Salort, J. O'Keeffe, M. van Reeuwijk y A. Mijic, "An urban planning sustainability framework: Systems approach to blue green urban design", *Sustainable Cities and Society*, vol. 66, p. Art. n. 102677, 21.
- [90] S. Temizkan y M. Tuna Kayili, "Determination of optimum storage method in rainwater harvesting: Karabuk university social life center example", *El-Cezeri Journal of Science and Engineering*, vol. 8, n° 1, pp. 102-116, 2021.
- [91] L. Fanizzi, "LA NORMA UNI/TS 11445: 2012 IMPIANTI PER LA RACCOLTA E L'UTILIZZO DELL'ACQUA PIOVANA PER USI DIVERSI DAL CONSUMO UMANO - IL METODO ANALITICO YAS," *ECOACQUE*, Giovinazzo (BA), 2022.