

Documento de trabajo N.º 4

IMPACTO EN LA SALUD PÚBLICA Y BENEFICIOS ECONÓMICOS DEL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

Análisis de los casos de las PTAR Cusco y Cajamarca

La Agencia de Promoción de la Inversión Privada no se responsabiliza por los comentarios y/o afirmaciones que el presente documento contenga. La presente investigación tiene como finalidad contribuir a la discusión desde un punto de vista académico y no de crítica. Las opiniones y estimaciones representan el juicio de los autores, están sujetos a modificación sin previo aviso y no implican, necesariamente, una posición institucional de ProInversión. La investigación desarrollada se basa en información pública disponible, por lo cual no puede ser empleada como medio probatorio dentro de cualquier tipo de controversia.

Documento de Trabajo N.º 4:

Impacto en la salud pública y beneficios económicos del tratamiento de aguas residuales: Análisis de los casos de las PTAR Cusco y Cajamarca

Editado por Agencia de Promoción de la Inversión Privada - ProInversión
Av. Canaval y Moreyra N.º 150 piso 9. San Isidro, Lima, Perú

Director ejecutivo:

José Antonio Salardi Rodríguez

Coordinador de la Unidad de Análisis de Datos, Investigación e Inteligencia Estratégica:

Raúl Lizardo García Carpio

Autor:

Iván Mirko Lucich Larrauri^{1 2}

Coordinación editorial:

Oficina de Comunicaciones e Imagen Institucional de ProInversión

Primera edición digital:

Setiembre de 2024

Está permitida la reproducción total o parcial de este documento por cualquier medio, siempre y cuando se cite la fuente y los autores.

Citar el documento como: Lucich, I. (2024). Impacto en la salud pública y beneficios económicos del tratamiento de aguas residuales: Análisis de los casos de las PTAR Cusco y Cajamarca. *Documento de Trabajo N.º 4, Unidad de Análisis de Datos, Investigación e Inteligencia Estratégica – ProInversión, Perú.*

Para comentarios o sugerencias escribir al siguiente correo electrónico:
estudioeconomicos@proinversion.gob.pe

Hecho el Depósito Legal en la Biblioteca Nacional del Perú N.º 2024-
Publicación digital disponible en: <https://www.investinperu.pe/es/pi/publicaciones-digitales>

ISSN: 3028-9556 (En línea)

¹ Docente del Departamento de Economía de la PUCP, ilucich@pucp.edu.pe.

² El documento ha sido elaborado en base al servicio de consultoría para el realizar el diagnóstico y la evaluación del impacto de los proyectos de saneamiento promovidos por ProInversión en el marco de APPs en las regiones de su área de influencia. Revisión por pares en proceso.

Impacto en la salud pública y beneficios económicos del tratamiento de aguas residuales: Análisis de los casos de las PTAR Cusco y Cajamarca

Resumen

El presente estudio cuantifica los beneficios económicos generados como consecuencia del tratamiento de las aguas residuales de las ciudades de Cajamarca y Cusco, enfocándose básicamente en aquellos que surgen al evitar que la población del ámbito de influencia de estos vertimientos se exponga directamente a las aguas contaminadas. El propósito de esta investigación es resaltar la importancia que tiene para la sociedad la ejecución de proyectos que traten las aguas residuales concentrándonos solamente en los beneficios económicos que se generan al reducir los niveles de prevalencia de anemia y desnutrición crónica, y de enfermedades predominantemente diarreicas y respiratorias agudas. Los resultados muestran que los beneficios económicos estimados contribuyen a financiar gran parte o la totalidad de los costos que demandaría la construcción y la operación y mantenimiento de los proyectos PTAR Cajamarca y PTAR Cusco, promovidos por ProInversión.

Palabras clave: beneficios económicos, salud, anemia, tratamiento de aguas residuales, disposición a pagar.

1. Introducción

Desde la perspectiva de la sociedad, la evaluación económica se centra en medir el cambio en el bienestar económico de la población como consecuencia de la implementación de una política, de una disposición normativa, de un programa o de un proyecto que afecte sus ingresos, su riqueza, su capital físico, su salud, su educación, su acceso a bienes y servicios, su tiempo, entre otros aspectos. El ahorro, por menor gasto familiar, o el incremento en los ingresos monetarios, implican una mejora en el bienestar económico de la población, considerando los precios de todos los bienes y servicios. Si como resultado de la implementación de una política, programa o proyecto, mejora el bienestar económico de la población y, este aumento supera los costos de la implementación del programa o proyecto, entonces a partir de la evaluación económica, se puede afirmar que el proyecto es viable desde la perspectiva de la sociedad.

Desde este punto de vista, la reducción o el control del vertimiento de las aguas residuales genera muchos beneficios a la población, los cuales son medidos por los costos evitados (público y privado) y/o por los ingresos no gastados que se ahorran o liberan para ser destinados a otros fines.

El presente estudio tiene como objetivo cuantificar los beneficios económicos que genera el tratamiento de las aguas residuales (TAR) para la salud de las personas en el ámbito de influencia de los vertimientos de aguas residuales de las ciudades de Cajamarca y del Cusco, al evitar que su población se exponga directamente al consumo o al contacto con estas aguas y, además, comparar estos beneficios con los costos u obligaciones financieras de los proyectos PTAR Cajamarca y PTAR Cusco. El nivel de afectación depende de las condiciones de acceso a los servicios de agua potable y saneamiento de la población que se encuentra aguas abajo. Sin embargo, existen otros beneficios que no hemos cuantificado y que se derivan del TAR. Entre estos beneficios destacamos los costos evitados por la afectación a la salud de las personas por ingesta de alimentos regados con aguas residuales, la mejora en la belleza paisajística, el aumento del valor predial, del turismo y de la actividad económica, la reducción de la mortalidad, entre los principales.

La mejora en la salud se revela a través de la disminución de la prevalencia de enfermedades por la exposición y consumo de aguas residuales, como anemia, desnutrición crónica, cólera, tifoidea, hepatitis, diarrea, enfermedades respiratorias, entre otras. Con el tratamiento de las aguas residuales se reduce la prevalencia de estas enfermedades en las personas, principalmente niños y madres gestantes, expuestas a ellas. Sin embargo, muchas de estas enfermedades también se pueden contraer por otros factores, como la pobreza, falta de hierro y de vitamina A, entre otros. Pero no solo la exposición a las aguas residuales y la falta de servicios de recolección y tratamiento de estas aguas impacta en la salud de las personas, sino también los malos hábitos de higiene y la inexistencia de sanitarios dentro del hogar. Estas condiciones hacen propicia la transmisión de enfermedades desde las heces de una persona contagiada hacia la boca de otra persona vulnerable, como los niños menores de cinco años.

En el presente estudio hemos identificado el efecto que tiene, en la salud de la población, la exposición a las aguas residuales, específicamente la presencia de anemia, desnutrición crónica, enfermedades diarreicas agudas (EDA) e infecciones respiratorias agudas (IRA). Desde la perspectiva de la exposición a las aguas residuales, existe una relación de causalidad que tiene lugar desde la ocurrencia de la EDA hasta la IRA, pasando por la anemia y la desnutrición. La prevalencia de la IRA tiene que ver con la vulnerabilidad del organismo ante

la pérdida de micronutrientes. El vertimiento de las aguas residuales afecta a la salud a través de la generación de diarrea, que a su vez provoca anemia y desnutrición, y la desnutrición genera otras enfermedades, como las IRA.

Estos episodios no solo ocasionan gastos en medicinas y pérdida de ingresos a la población en el corto plazo, sino que también generan reducción de las capacidades mentales y laborales que posteriormente devendrán en pérdida de producción, de ingresos y de productividad en la economía. Evitar estas enfermedades mejora la salud de las personas y los ingresos de las familias, al evitar la pérdida de tiempo disponible para el trabajo o el ocio y al reducir el gasto en atender la salud; además de los efectos que se generan sobre la educación y el desarrollo cognitivo de los niños, y sobre el gasto público, aspectos que serán desarrollados en este estudio.

Desde la perspectiva de la teoría económica, por lo general, las enfermedades o las afectaciones a la salud tienen doble efecto para las personas, por un lado, genera un mayor gasto vinculado a la prevención y al tratamiento de la enfermedad, y, por otro lado, genera un menor ingreso por el tiempo y la pérdida de capacidades para trabajar. Autores como Freeman (1993), Bartik (1988), Courant & Porter (1981) y Cropper (1981) lo han documentado suficientemente.

A su vez, desde la perspectiva de los recursos fiscales, una población con salud resquebrajada genera un mayor gasto al Estado; el presupuesto del sector Salud y del sector Educación incrementan sus partidas, sea por la prevención o por la mitigación. Además de las implicancias fiscales que tiene una reducción de la productividad en la economía, se reduce la productividad laboral por efecto del impacto en la salud, con efectos tanto temporales como permanentes.

La mayoría de los estudios se han enfocado en cuantificar los efectos en la salud, de la falta de acceso al agua potable, pero no en cuantificar los efectos que tiene sobre la economía, puesto que resulta complejo cuantificar los beneficios que genera a la población la implementación de un proyecto de reducción o control de la contaminación del agua, ya que los efectos de la contaminación sobre un cuerpo receptor no son transables en el mercado, y además, porque estos efectos, que impactan primero sobre la salud y luego sobre el presupuesto y capacidades humanas, no son directos ni rápidamente identificables. Las afectaciones a la salud demoran en manifestarse y en ser identificadas. Por otro lado, no es posible trasladar el efecto de esta externalidad negativa sobre la salud, a aquellos que la generaron.

Para lograr nuestro objetivo de cuantificar los beneficios económicos del tratamiento de las aguas residuales en las ciudades de Cajamarca y Cusco, y compararlos con los costos de los Proyectos PTAR, calculamos, por una parte, los impactos económicos que generan la anemia y la desnutrición crónica, luego estimamos la incidencia que ejerce el tratamiento de las aguas residuales sobre la reducción de ambas enfermedades, y finalmente, cuantificamos la incidencia de esta reducción sobre la disminución de los impactos económicos generados por la anemia. Asimismo, estimamos la máxima disposición a pagar no marginal por evitar las enfermedades diarreicas agudas e infecciones respiratorias agudas, a partir de estimar la probabilidad de enfermarse como función del gasto preventivo y defensivo.

De esta forma, los beneficios económicos del tratamiento de las aguas residuales en las ciudades de Cajamarca y Cusco que hemos cuantificado en este estudio, serán igual a la suma del valor de los impactos económicos evitados al reducirse la prevalencia de anemia y la

máxima disposición a pagar no marginal por evitar las enfermedades diarreicas agudas e infecciones respiratorias agudas.

El elemento central para la valoración de los beneficios de los proyectos PTAR Cajamarca y PTAR Cusco, es la cuantificación del nivel de afectación que generan las aguas residuales sobre la salud de las personas, la misma que está basada en la estimación de la función de prevalencia de anemia y en la función de prevalencia de enfermedades vinculadas predominantemente a EDA e IRA, y en la estimación del impacto económico que generan estas enfermedades. En este estudio utilizamos las funciones de prevalencia de enfermedades de dos formas diferentes, una forma para cuantificar la pérdida de producción e ingreso de las personas que sufren y han sufrido de anemia en su niñez, y la otra forma, para cuantificar las diferentes acciones y los costos en los que incurren los hogares para abordar enfermedades como EDA e IRA, puesto que sus efectos son percibidos directamente por la población.

En el caso de la anemia y desnutrición crónica, las familias no perciben los impactos que generan sobre la pérdida de producción y de ingresos en el futuro. En cambio, en el caso de EDA e IRA, las familias sí perciben la pérdida de ahorros por una parte y la pérdida de ingresos por otra.

La diferenciación de los impactos entre estos dos grupos de enfermedades permite separar la valoración económica de los efectos que genera la anemia y la desnutrición sobre la salud de las personas, de la valoración económica por evitar enfermarse de EDA o IRA, sin generarse superposición, con el propósito de agregar estos valores y evaluar el cambio en el bienestar.

La literatura ha abordado el problema del tratamiento de las aguas residuales de formas diferentes. La mayoría de los estudios analiza los efectos que genera un bajo acceso a los servicios de agua potable y alcantarillado sobre enfermedades como anemia, EDA e IRA. Son escasos los estudios que cuantifican los beneficios económicos que se generan por tratar las aguas residuales. No hemos encontrado estudios que cuantifiquen y valoren los beneficios económicos de tratar las aguas residuales y los contraste con los costos que implica el tratamiento.

La estructura de este documento es la siguiente: en la próxima sección se presenta la problemática del tratamiento de las aguas residuales en las ciudades de Cajamarca y Tarapoto. Luego se hace una revisión de la literatura respecto a la relación entre la calidad del agua y la salud de las personas. En la sección cuarta se presenta en detalle la metodología utilizada para la cuantificación de los beneficios que se generan con el tratamiento de las aguas residuales. Los resultados de la aplicación de la metodología se presentan en la sección quinta. Finalmente, en las dos últimas secciones se presentan las conclusiones, las recomendaciones y la agenda pendiente.

2. Análisis del sector Saneamiento. Problemática del Tratamiento de las Aguas Residuales en Cajamarca y Cusco

En la actualidad, según la Sunass, se trata el 74 % de las aguas residuales en el ámbito de las empresas prestadoras (EP). Del grupo de empresas medianas, se trata el 45 % de las aguas residuales, siendo el nivel de remoción de los factores contaminantes aproximadamente del 50 %. Esto quiere decir que casi el 80 % de las aguas residuales se vierten al cuerpo receptor sin tratar o con un tratamiento defectuoso, contaminando las fuentes de agua y afectando a la población que las utiliza aguas abajo, ya sea directamente para consumo o indirectamente a través de la ingesta de alimentos regados con estas aguas.

Considerando que la brecha del tratamiento de las aguas residuales, según el Plan Nacional de Saneamiento 2022-2026, asciende a 70 000 millones de soles, y que la asignación anual a través del Presupuesto Público es de aproximadamente 1500 millones de soles, para los niveles de Gobierno; el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (MVCS) ha encargado a PronInversión el diseño, financiamiento, ejecución y operación, y mantenimiento de 17 proyectos de PTAR a través de la modalidad de Asociación Público Privada (APP).

En este marco, es de interés analizar la problemática de dos proyectos de APP: PTAR Cajamarca y PTAR Cusco.

2.1. Creación del servicio de tratamiento de aguas residuales para la disposición final y reuso, mejoramiento y ampliación de la infraestructura de la red de recolección en los distritos de Cajamarca y Los Baños del Inca en la provincia de Cajamarca

Desde hace más de diez años el sistema de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Cajamarca se encuentra colapsado o fuera de servicio. Las lagunas facultativas que trataban antiguamente las aguas residuales de esta ciudad ahora no tienen la capacidad requerida, y su optimización sería inviable. Actualmente, las aguas residuales generadas por la ciudad de Cajamarca se vierten al cauce natural del río Mashcón sin tratamiento, provocando impacto ambiental y afectando la salud pública.

El Proyecto PTAR Cajamarca tiene como propósito solucionar el déficit del tratamiento de las aguas residuales de la ciudad, y evitar su vertimiento a los ríos Mashcón y Chonta. Esto implica definir un nuevo lugar para la PTAR y nuevo trazo para ciertos emisores, así como también, intervenir en los últimos tramos de la red de colectores principales. Los colectores y emisores actuales vierten las aguas residuales al río Mashcón en puntos diferentes, luego de recolectarlas de las áreas de drenaje, mientras que los colectores de Los Baños del Inca vierten directamente al río Chonta. Por lo señalado, el proyecto comprenderá una PTAR y el mejoramiento de la red de colectores existentes y nuevos tramos de colectores.

El monto de inversión del proyecto asciende a S/ 260 931 548 con IGV, y con un OPEX de aproximadamente 30 millones de soles.

Beneficios del proyecto:

- Disminución de la contaminación de las aguas de los ríos Mashcón y Chonta.

- Disminución de las enfermedades de la población expuesta a las aguas contaminadas de estos dos ríos y/o que consume alimentos regados con estas aguas.
- Reducción de la contaminación del aire por gas metano.

Consideramos que la disminución de las enfermedades de la población expuesta a las aguas residuales es el efecto más importante. La población beneficiaria del proyecto asciende a 221 949 personas ubicadas en el área urbana del distrito de Cajamarca y en la periurbana y rural del distrito de Los Baños del Inca.

2.2. Proyecto de mejoramiento y ampliación del servicio de tratamiento de aguas residuales para disposición final, e infraestructura de la red de recolección en 5 distritos de la ciudad del Cusco

En la actualidad la PTAR San Jerónimo trata el 85 % del total de las aguas residuales generadas por la ciudad del Cusco, el resto se descarga directamente al río Huatanay antes de ser recolectadas por las redes de la empresa. Se estima que existen 32 vertimientos con 67 descargas que corresponden en su mayor parte a sectores que no administra Sedacusco. A su vez, la capacidad de tratamiento de la PTAR San Jerónimo resulta insuficiente para tratar la demanda actual y futura de los usuarios conectados a la red de alcantarillado de la empresa.

El proyecto consiste en mejorar y ampliar la PTAR San Jerónimo, considerando un tratamiento físico químico y decantación primaria, seguida de un tratamiento biológico mediante filtros percoladores, en dos etapas, más una decantación secundaria. El proyecto comprende la intervención de colectores principales, tratamiento y disposición final de las aguas residuales a través de la construcción de unidades de tratamiento en la PTAR San Jerónimo.

El monto de inversión del proyecto asciende a S/ 176 462 000 sin IGV. La población beneficiada dentro del área urbana del Cusco será la que reside en los distritos de Wanchaq, Santiago, San Sebastián y San Jerónimo, con un total de 428 450 habitantes. Como parte del área de influencia, se incluye a algunos centros poblados de los distritos de Cusco, Wanchaq, Santiago, San Sebastián, San Jerónimo y Saylla. Además, se han identificado 22 centros poblados rurales potenciales, cuya población es de 2151 habitantes.

Los beneficios que generará el proyecto son:

- Disminución de enfermedades en la población por contacto directo con las aguas residuales y por el consumo de alimentos provenientes de fuentes contaminantes.
- Disminución de la contaminación hídrica de los cuerpos receptores del río Huatanay.
- Reducción de la contaminación del aire por gas metano.
- Reducción de los gastos de atención en salud de la población.
- Mejora del medio ambiente de la ciudad del Cusco.
- Incremento de oportunidades para generar nuevas actividades recreativas y turísticas.

3. Revisión de la literatura

Son escasos los estudios que abordan los efectos que genera la exposición directa de las personas a las aguas residuales, como los niveles de anemia, sobre todo en niños menores de 5 años y en mujeres gestantes; así como también, los efectos sobre otros tipos de enfermedades, como las vinculadas a EDA e IRA. La mayoría de estudios que analizan estas enfermedades desde el sector agua potable y saneamiento se centran en los efectos que causa en la salud el no contar con los servicios de agua potable y alcantarillado, pero no cuantifican los beneficios económicos que conlleva el tratamiento de las aguas.

De estos estudios tenemos los trabajos de Ortiz-Correa *et al.* (2016), en el que proponen un modelo de maximización de la utilidad del hogar basado en el acceso a los servicios de agua potable y saneamiento, a partir del cual se determina la salud del niño y su incidencia en la educación y en el bienestar del hogar. Las estimaciones sugieren que el acceso a los servicios de agua y saneamiento tiene un efecto positivo y significativo en la escolaridad, cuando se mide por el número de años escolares completados. Kontogianni *et al.* (2003), en Grecia, empleando el método de valoración contingente estiman la máxima disposición a pagar de las personas para garantizar el pleno funcionamiento de la PTAR Salónica que en su momento se encontraba parcialmente operativa. Ahn *et al.* (2020), investiga los beneficios sociales de ampliar y modernizar las plantas de tratamiento de aguas residuales en Corea del Sur utilizando el método de valoración contingente. Los resultados muestran que los hogares coreanos, en promedio, están dispuestos a pagar USD 33,25 al año para mejorar las plantas de tratamiento de aguas residuales. Alrededor del 47,73 % de los costos del proyecto pueden cubrirse con los beneficios sociales de los que disfrutaban los hogares coreanos. Este estudio sugiere que el Gobierno coreano necesita considerar los beneficios sociales estimados al determinar la escala y el cronograma de los proyectos de mejora. Aun cuando el valor obtenido responde a un contexto disímil, es muy cercano a lo encontrado por Tudela y Rodríguez (2017) para el caso de Puno, en Perú, donde aplicó la misma metodología (USD 3,32 al mes o USD 39,84 al año).

De los trabajos que valoran los efectos que genera el cambio en la calidad del agua sobre la salud de las personas, destacan aquellos que se han enfocado en estudiar la mejora en la calidad del agua a partir de gastos defensivos o preventivos.

Roger Loyola y Carlos Soncco (2006) estiman el efecto en la salud de un cambio en la calidad del agua para consumo humano de los hogares de las zonas urbano marginales del Callao. Estos autores concluyen que la disposición de los hogares a pagar por evitar enfermarse, asciende a 16 soles mensuales.

Jamil, Faisal *et al.* (2021), a partir de estimar la prevalencia de diarrea, calculan los costos defensivos para evitarla. Los resultados obtenidos establecen que el nivel de ingreso per cápita y el comportamiento defensivo de los hogares contribuyen de manera importante a reducir la diarrea. La probabilidad de tener diarrea es mayor en los hogares que gastan menos en tratar el agua. La distancia entre la planta y el hogar contribuye a la prevalencia de diarrea. Los hogares que tienen tanques para almacenar el agua tienen mayor probabilidad de contraer la diarrea.

Charles Abdalla *et al.* (1992) estiman la probabilidad de realizar gastos defensivos, y a partir ello, cuantifican la magnitud del gasto. Este estudio concluye que los hogares con conocimiento de la contaminación, percepción del riesgo y presencia de niños, emprenden acciones defensivas, y su nivel de gasto se incrementa si tienen niños pequeños. Mi-Jung Um

et al. (2002) estiman la disposición a pagar de los usuarios por mejorar los niveles aceptables de contaminación del agua del grifo o llave. Concluyen que los hogares están dispuestos a pagar entre USD 4,2 y 6,1 por mes, como monto adicional en el recibo, para mejorar los niveles aceptables de contaminación del agua en la llave.

Por otro lado, Yañez (2007) estima el costo económico de tratar las enfermedades y señala los costos que se pueden ahorrar como consecuencia del tratamiento de las aguas residuales. Mientras que Nil Adote Abrahams *et al.* (2000) estudian la elección del comportamiento defensivo de los hogares, estableciendo dos alternativas al *statu quo*, el consumo de agua en botella o la instalación de un filtro de agua dentro de la vivienda, concluyendo que los gastos en bienes que reducen el riesgo e incrementan la utilidad tienen que ser usados como una medida de gastos defensivos. La percepción del riesgo de la calidad del agua de grifo es importante para ciertos grupos étnicos y etarios que eligen agua embotellada. En cambio, quienes tienen mayores ingresos prefieren el filtro en la llave de agua para abordar la percepción de calidad del agua. Sin embargo, ajustando las diferencias de calidad entre ambas alternativas, el gasto en botellas de agua sobrestima en 12 % los costos evitados.

4. Metodología

La mejora en el bienestar económico de la población derivada de los beneficios del tratamiento de las aguas residuales (TAR), se puede cuantificar al estimar la prevalencia de enfermedades y los gastos preventivos y de mitigación que realiza la población para evitar ser afectada por la contaminación. En el caso de las afectaciones directas a la salud, los gastos defensivos son una buena aproximación a la disposición a pagar de la población o al cambio en el bienestar económico para evitar la afectación.

El daño a la salud, por no contar con una PTAR, también se enfoca en aquellas personas que no cuentan con alcantarillado, o sufren de roturas e interrupciones, justamente porque el sistema de recolección de las aguas residuales se encuentra colapsado.

Desde la perspectiva de la economía ambiental, el valor de la calidad ambiental se expresa a través de gastos preventivos y/o de restauración de bienes con mercado, con el propósito de evitar el daño sobre la salud y sobre los factores de producción. Los costos que se evitan, al incurrir en gastos preventivos, constituyen el beneficio de un proyecto de tratamiento de las aguas residuales. Los costos evitados son una expresión indirecta del valor o de la mejora en el bienestar material de las personas, y mide de manera más eficiente el cambio de las personas en su máxima disposición a pagar para evitar enfrentar el daño.

En buena medida, el cambio en la calidad ambiental o efectos nocivos sobre la salud y sobre la actividad económica se estima a partir de las funciones de producción o de dosis-respuesta.

La metodología de la función de producción y los costos evitados tiene dos partes: la primera correspondiente a la “función de producción” que se utiliza para medir la relación causa-efecto que genera la contaminación del agua sobre un cuerpo receptor, puede ser el cuerpo humano o un campo de cultivo, pastizales, un lago, un río, entre otros. Epidemiológicamente también se le conoce como la función de dosis-respuesta. Por lo general, mide la probabilidad o prevalencia de afectación de la contaminación sobre un cuerpo receptor. El método trata de encontrar la relación funcional entre el cambio ambiental y las condiciones de producción para ciertos bienes con mercado.

La segunda parte de este método está referida al valor económico del efecto generado que puede medirse a través de los costos incurridos, luego de sucedido el impacto, que de alguna forma busca cubrir el daño o mitigarlo; así como también de los gastos preventivos o de defensa en que se incurre para evitar ser afectado por un daño de probable ocurrencia. En ambas situaciones, sean costos incurridos o gastos preventivos, en caso se dé una mejora en la calidad ambiental del agua, se transforman en costos evitados o presupuesto que se ahorra porque no sucede el impacto.

El procedimiento utilizado para valorar los impactos económicos que se pueden evitar con el TAR y así no exponer a la población a estas aguas, en el ámbito de influencia de los vertimientos de las EP de las ciudades de Cajamarca y de Cusco, es el siguiente:

- i. Definición de dos grupos de enfermedades asociadas al impacto que genera la exposición a las aguas residuales: a) anemia y desnutrición, y b) enfermedades vinculadas predominantemente a EDA e IRA.
- ii. Estimación del cambio en la prevalencia de anemia y desnutrición crónica en niños, en mujeres gestantes y en adultos, como consecuencia del TAR, utilizando un modelo *probit/logit*.

- iii. Cuantificación del impacto económico que genera la anemia sobre los ingresos y la producción, utilizando la metodología propuesta por Alcázar (2012) basada en Ross y Horton (1998) y en Martínez y Fernández (2006).
- iv. Cuantificación del impacto económico que genera el cambio en la prevalencia de anemia y desnutrición crónica en niños, en mujeres gestantes y en adultos, como consecuencia del TAR.
- v. Estimación del cambio en el bienestar económico que generan las enfermedades vinculadas predominantemente a EDA e IRA como consecuencia de la exposición de la población a las aguas residuales.
- vi. La agregación de los dos ítems anteriores nos proporciona el valor del impacto económico que se puede evitar con el TAR.

Para evaluar económicamente los proyectos PTAR, asumiendo que los beneficios de estos proyectos están expresados como el valor del impacto económico evitado por el TAR, que ha sido cuantificado previamente, realizamos lo siguiente:

- vii. Proyección de los beneficios económicos atribuibles a la implementación del proyecto de construcción y operación de una planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR), derivados de evitar la exposición de la población a las aguas residuales.
- viii. Comparación de los beneficios generados por el proyecto PTAR con los costos u obligaciones financieras que asumiría el Estado y las empresas prestadoras con el concesionario a cargo del proyecto, a modo de retribuir la inversión y los costos de operación y mantenimiento de este.

4.1. Valoración de los impactos económicos que genera la anemia por exposición a las aguas residuales

Calculamos la mejora en el bienestar de la población en el ámbito de influencia de los vertimientos de aguas residuales de las ciudades de Cajamarca y Cusco, a partir de estimar la disminución de la prevalencia de anemia en estas dos ciudades como consecuencia del TAR, y de cuantificar el impacto económico que se evitaría al reducirse la prevalencia de anemia y desnutrición crónica.

4.1.1. Disminución de prevalencia de anemia y desnutrición crónica por el TAR.

Estimamos el cambio en la prevalencia de anemia en función del TAR y de un conjunto de variables explicativas utilizando un modelo *probit/logit*, habiendo constatado que no existe evidencia de endogeneidad entre la variable independiente y alguna de las variables explicativas del modelo. Caso contrario se estimaría un modelo *probit* bivariado.

Asumimos que el vertimiento de las aguas residuales no tratadas, a un cuerpo receptor, afecta principalmente a la población local expuesta a ellas, así como también a la población que utiliza como fuente de agua dicho cuerpo receptor. El beneficio del tratamiento de las aguas residuales se explica por ciertos costos que se evita cargar a la población del ámbito de la empresa prestadora, y de aquella ubicada “aguas

abajo”, como consecuencia de tratar las aguas residuales. La población afectada generalmente se encuentra en el mismo distrito en el que se ubica la localidad administrada por la EP; por lo general en el área rural o periurbana fuera del ámbito de responsabilidad de la EP, o se encuentra en el distrito vecino por donde discurre el vertimiento de las aguas residuales.

Para lograr una buena especificación de la función econométrica que explique la anemia y desnutrición crónica, y a la vez, para validar la incidencia del TAR en la reducción de la prevalencia de anemia en el ámbito de influencia de los vertimientos de las ciudades del Cusco y Cajamarca, teniendo en cuenta el limitado tamaño de las observaciones en estos ámbitos, estimamos el aporte o la contribución a la reducción de la prevalencia de anemia de todos los ámbitos de influencia (de los vertimientos de todas las EP del país) por parte del TAR de las EP de Cajamarca (y luego por parte del TAR de las EP del Cusco), en relación al TAR de todas las demás ciudades. Para ello incorporamos en el modelo, como variable explicativa, un cofactor que medirá el efecto sobre la prevalencia de anemia del TAR en Cajamarca y luego en Cusco en relación al TAR de las demás regiones.

A partir de esta estimación, asumimos que, si el TAR en Cajamarca o en el Cusco aporta a la reducción de la anemia en todo el país, entonces con mayor razón aportará en sus respectivas jurisdicciones. Con este resultado, validamos una segunda estimación considerando solamente el ámbito de los vertimientos en la región Cajamarca y en la región Cusco, pero con una especificación econométrica reducida, considerando el número de observaciones existentes en esos dos ámbitos.

4.1.2. Impacto económico que genera la anemia sobre los ingresos y la producción.

Estimamos el impacto económico que genera la anemia y la desnutrición crónica utilizando la metodología presentada por Alcázar (2012) basada en Ross y Horton (1998) y en Martínez y Fernández (2006). Esta metodología valora:

- La pérdida de producción como consecuencia del bajo desarrollo cognitivo de los trabajadores que tuvieron anemia cuando eran niños.
- El menor ingreso generado como consecuencia de la pérdida de años de escolaridad.
- La reducción de la productividad del trabajo como consecuencia de la anemia en adultos.
- La pérdida de recursos para el Estado asociados a partos prematuros y, a la repitencia del año escolar por los niños que padecieron anemia.

Según Alcázar (2022) y Martínez y Fernández (2006), habría dos efectos que genera la anemia y la desnutrición crónica sobre el desarrollo intelectual del niño, que tienen repercusión en el bienestar futuro de las personas. El primer efecto es el cognitivo, que repercute sobre la productividad laboral en el futuro de quienes tuvieron anemia cuando niños, y el segundo, es el efecto del desarrollo escolar en las competencias laborales futuras. Este efecto, al generar pérdida de años de escolaridad, reduce el ingreso que es percibido por los adultos, al obtener un menor salario como consecuencia del bajo desempeño escolar y limitadas competencias reveladas en el mercado laboral, en relación a las personas que no sufrieron anemia ni desnutrición

crónica cuando fueron niños, lo que permitió que tuvieran más energía y menos dificultades para la atención escolar.

Alcázar (2012) sostiene que estos dos efectos, a pesar de que se superponen, deben ser cuantificados de manera separada. Por una parte, porque la escuela brinda ciertas habilidades que tienen repercusión en el mercado laboral, particularmente sobre el salario, y por otra parte, porque los estudios utilizados para estimar la repercusión de la anemia por bajo desarrollo cognitivo, no han tomado en cuenta este aspecto.

Considerando lo señalado, a continuación, explicamos cinco tipos de impactos económicos que genera la anemia y la desnutrición crónica:

- i. Menor productividad (y pérdida de producción) como consecuencia del bajo desarrollo cognitivo de los trabajadores que tuvieron anemia cuando fueron niños.

Siguiendo a Alcázar (2012), la menor producción la podemos expresar como la pérdida del valor agregado por trabajador (valor del producto medio del trabajo) multiplicado por la población trabajadora que tuvo anemia.

$$\text{Menor producción} / \text{Población} = [\text{efecto pérdida cognitiva}] * [(Masa Salarial / PBI) * (PBI / Población)] * P_v(\text{niño})$$

Simplificando, también se puede expresar como la pérdida de ingreso per cápita de la población que sufrió de anemia:

$$\text{Menor producción anual} = [\text{efecto pérdida cognitiva}] * [\text{Ingreso Anual del Trabajador}] * P_v(\text{niño}) * \text{Población}$$

El bajo desarrollo cognitivo impacta en la productividad laboral a través de la reducción del valor agregado por trabajador o del ingreso medio del trabajo.

Ross y Horton (1998) afirman que el efecto negativo que genera la pérdida cognitiva por anemia, sobre el salario, es del 4 %. Este valor lo fundamenta con los estudios de Pollitt (1983) y de Psacharopoulos y Vélez (1992). Estos estudios establecen que la anemia reduce el coeficiente intelectual en 0,5 desviación estándar, y que 1 desviación estándar en el CI afecta al salario en promedio en 8 % (citado por Alcázar [2012]). Es por ello que este valor también es utilizado por Alcázar para el estudio del impacto económico de la anemia en el Perú.

Nosotros creemos que, para economías basadas fundamentalmente en la agricultura, en la explotación de recursos naturales por pequeños productores y en trabajadores independientes, el valor del producto medio del trabajo se aproxima al ingreso medio de la actividad económica. Para ello, utilizamos como fuente de información la Enaho 2022.

Para calcular esta pérdida, multiplicamos el ingreso anual perdido por el “efecto cognitivo” por la población laboral que tuvo anemia cuando eran niños.

Pérdida evitada en los ingresos=	$[\text{IngresoAnual}] * [0,05 * 0,22] * [\text{PoblaciónLaboral} * P_v(n)]$
----------------------------------	---

- ii. Menor ingreso generado como consecuencia de la pérdida de años de escolaridad de los trabajadores que tuvieron anemia cuando eran niños.

La podemos expresar como la porción de ingreso que se pierde por el efecto de obtener un menor salario en el mercado laboral, multiplicado por la población infantil que sufre de anemia. El menor salario percibido por los trabajadores sería consecuencia de la insuficiente capacidad generada en su escolaridad por la anemia que tuvieron en temprana edad, la misma que es revelada en su participación en el mercado laboral.

La ecuación presentada por Alcázar (2012), inspirada en el trabajo de Martínez y Fernández (2006) es la siguiente:

$$\text{Menor ingreso} / \text{Población} = [\text{años escolaridad perdidos} * \text{retorno por año de educación}] * [(\text{Masa Salarial} / \text{PBI}) * (\text{PBI} / \text{Población})] * P_v(\text{niño})$$

Simplificándola, la podemos expresar de la siguiente manera:

$$\text{Menor ingreso} / \text{Población} = [\text{años escolaridad perdidos} * \text{retorno por año de educación}] * [\text{Ingreso Anual del Trabajador}] * P_v(\text{niño})$$

Cada año escolar perdido afectará el retorno de la educación expresado en el salario obtenido por cada trabajador.

Se ha estimado que los niños con anemia pierden 0,22 años de escolaridad, y que perciben 5 % menos del salario³. Para calcular esta pérdida, multiplicamos el ingreso anual que no se genera por cada año de escolaridad perdido (valorado por el retorno de un año más de escolaridad), por la población laboral que tuvo anemia cuando niña.

Pérdida evitada en los ingresos=	$[\text{IngresoAnual}] * [0,05 * 0,22] * [\text{PoblaciónLaboral} * P_v(n)]$
----------------------------------	---

Martínez y Fernández (2006) consideran que la pérdida de ingresos de los trabajadores (de un grupo etario) que sufrieron desnutrición (en relación al ingreso promedio de las personas que no sufrieron anemia), para un determinado nivel de educación, depende del cambio en la probabilidad de alcanzar ese nivel de educación debido a la desnutrición. De este modo, si aumenta la anemia y desnutrición, la probabilidad de alcanzar un nivel educativo disminuye mucho. Si el cambio en la probabilidad de alcanzar ese nivel de educación es grande, el

³ Alcázar (2012)

diferencial de ingresos del grupo de personas que tuvo desnutrición cuando niño, también será grande.

iii. Menor productividad generada como consecuencia de la anemia que afecta actualmente a la población adulta.

La podemos expresar, siguiendo a Alcázar (2012), como la pérdida de una porción del producto medio del trabajo de cada segmento laboral afectado por la anemia. El segmento se define por el nivel de energía requerido, de la siguiente forma:

$$\text{Menor producción/ Población} = \frac{\{[\text{pérdida productiv}(i)] * [\text{segmento}(i) / \text{PEA}] * [\text{Ingreso del Trabajador}(i)] * P_v(.)\} + \{[\text{pérdida productiv}(j)] * [\text{segmento}(j) / \text{PEA}] * [\text{Ingreso Trabajador}(j)] * P_v(.)\}}{}$$

La energía requerida por las diferentes actividades laborales es afectada, en diferente magnitud, por la anemia que actualmente sufren los trabajadores, según el requerimiento de energía que cada actividad demanda. De esta forma, la anemia que actualmente afecta a la población adulta impacta negativamente en el nivel de su producción, reduciendo su productividad.

El rango de pérdida de productividad laboral oscila entre el 5 % y 12 %, según el esfuerzo realizado, de acuerdo a Alcázar (2012) y Ross y Horton (1998). Considerando que muchos de los adultos también sufrieron anemia cuando niños y repercutió en la productividad laboral por procesos cognitivos, asumiremos, como lo hace Alcázar, que solo al primer grupo poblacional que realiza menor esfuerzo físico, se le restará lo correspondiente a la pérdida por procesos cognitivos (5 % - 4 % del literal i), mientras que para el segundo grupo que realiza un trabajo más intenso se le mantendrá el 12 %. Además, se debe considerar que no necesariamente es la misma población.

Distribuida la población en dos segmentos de actividad, un segmento con mayor requerimiento de energía física en relación al otro, aplicamos al ingreso medio de cada segmento, la pérdida del 12 % y del 1 % respectivamente, considerando que el ingreso del segundo segmento ya ha sido afectado por la pérdida cognitiva en 4 %. El resultado obtenido lo multiplicamos por el total de población con anemia de cada segmento, según la siguiente ecuación:

Pérdida evitada en productividad.	$[\text{ingr}(i) * \nabla \text{Pr}(i)] + [\text{Pv}() * \text{PEA}(i)] + [\text{ingr}(ii) * \nabla \text{Pr}(ii)] + [\text{Pv}() * \text{PEA}(ii)]$
-----------------------------------	--

iv. Pérdida de recursos públicos por partos prematuros.

Se refiere a la atención a mujeres que dieron luz de forma prematura como consecuencia de padecer anemia. Esta atención implica: cesárea, requerimiento de mayores transfusiones de sangre, días de hospitalización, etc. En mujeres con anemia, el riesgo de parto prematuro es 2,7 veces más alto que el de mujeres sin

anemia. Esta estimación fue realizada por Scholl *et al.* (1992) en New Jersey, Estados Unidos y es utilizada por diferentes investigadores como Ross y Horton (1998), Moncada *et al.* (2009), entre otros.

Ross y Horton (1998) proponen la siguiente ecuación para estimar los costos por parto prematuro:

$$\text{Costo por parto prematuro} = [\text{"costo extra"}] \times [PAR] \times [\text{nacidos vivos}] \times [\% \text{prematuros}]$$

Donde:

- “costo extra” es el costo incrementado respecto a un parto normal, considerando no solo los gastos para el Estado sino también para las familias, en el desarrollo de su infancia.
- PAR representa la proporción de la población de mujeres que tuvieron parto prematuro por anemia.
- “nacidos vivos” representa el número de niños nacidos vivos.
- “%prematuros” representa el porcentaje de partos prematuros, que tienen lugar antes de las 37 semanas de gestación.

$$PAR = \{Pv(m) \times (RR-1)\} / \{1 + [Pv(m) \times (RR-1)]\}$$

Donde:

- Pv(m) es la prevalencia de anemia en mujeres gestantes (información que se obtiene de la Endes).
- RR es el riesgo de parto prematuro en mujeres con anemia, que es igual a 2,7, según Scholl *et al.* (1992).

La ecuación previa indica que de todos los bebés prematuros (calculado como “nacidos vivos” * “%prematuros”), una porción (PAR) tiene como causa la anemia. Por tanto, en la medida que disminuya la prevalencia de anemia, disminuirá esta porción que explica los partos prematuros y, por tanto, el costo que asume el Estado y las familias para mejorar la salud de sus niños, posteriormente.

Siguiendo la metodología presentada en el acápite 4.2.2., se establece que la ecuación de la variación del costo por parto prematuro ante una variación en la prevalencia de anemia en las madres gestantes, transmitida a través de PAR (dado que $\Delta Pv(m) \rightarrow \Delta PAR$), tiene la siguiente fórmula:

$\Delta \text{Costo} \times \text{parto prematuro} =$	$[\text{"costo extra"}] \times [\Delta PAR] \times [\text{nacidos vivos}] \times [\% \text{prematuros}]$
---	--

v. Pérdida de recursos públicos por repitencia del año escolar.

Se refiere a la población estudiantil que repite el año educativo como consecuencia de la anemia, y al costo operativo en el que incurre el Estado por cada alumno.

$$\text{Costo de anemia} \times \text{repitencia escolar} = [\text{Repitentes} \times \text{Anemia}] * [\text{CostoOperEstudiante}]$$

La porción de niños repitentes por anemia se calcula multiplicando la tasa de repitencia (tr) por el total de niños matriculados, ajustado por la proporción de la población de niños que repitieron teniendo como causa la anemia.

$$\text{Repitentes} \times \text{Anemia} = tr * \# \text{Matriculados} * \Phi$$

Siendo Φ la proporción de niños que repiten por causa de la anemia. Al no estar disponible esta información, utilizamos la siguiente identidad:

$$\text{Repitentes} \times \text{Anemia} = [tr * \# \text{Matriculados} * \Phi] = [Pv(n) * \# \text{Matriculados}] * \theta$$

Para estimar el valor de θ , que representa el porcentaje de niños que tuvieron anemia y que repitieron el año, utilizamos la información disponible en Alcázar (2012), y lo mantenemos constante para las estimaciones realizadas para el 2022.

Habiendo obtenido los valores de θ para primaria y secundaria, la ecuación del costo de anemia por repitencia del año escolar queda expresada de la siguiente manera:

$$\text{Costo de anemia} \times \text{repitencia escolar} = [Pv(n) * \# \text{Matriculados}] * \theta * [\text{CostoOperEstudiante}]$$

La información del costo en que incurre el Estado, por niño, proviene del programa Escala (Estadísticas de la Calidad Educativa, Programa del Minedu), y la información del número de niños matriculados del INEI.

Por otra parte, la ecuación de la variación del costo de anemia por repitencia del año escolar, ante una variación en la prevalencia de anemia en los niños menores de 5 años, es la siguiente:

$\Delta \text{Costo de anemia} \times \text{repitencia escolar} =$	$[\Delta Pv(n) * \# \text{Matriculados}] * \theta * [\text{CostoOperEstudiante}]$
--	---

4.1.3. Valor del impacto económico por disminución de la anemia por el TAR

El valor de la pérdida evitada en producción por anemia en niños, como consecuencia del TAR y la reducción de la prevalencia de anemia, la expresamos de la siguiente manera:

Δ Pérdida evitada en los ingresos =	$[Ingreso.Anual] * [0,05 * 0,22] * [PoblaciónLaboral] * [\Delta Pv(n)]$
---	---

El valor de la pérdida evitada en sueldos y salarios por anemia en niños, como consecuencia del TAR y la reducción de la prevalencia de anemia, la expresamos de la siguiente manera:

Δ Pérdida evitada en los ingresos =	$[Ingreso.Anual] * [0,05 * 0,22] * [PoblaciónLaboral] * [\Delta Pv(n)]$
---	---

El valor de la pérdida evitada en productividad por anemia en adultos, como consecuencia del TAR y la reducción de la prevalencia de anemia, la expresamos de la siguiente manera:

Δ Pérdida evitada en productividad	$[ingr(i) * \nabla Pr(i)] + [\nabla Pv() * PEA(i)] + [ingr(ii) * \nabla Pr(ii)] + [\nabla Pv() * PEA(ii)]$
---	--

4.2. Cambio en el bienestar que genera EDA e IRA por exposición a aguas residuales

Estimamos el impacto económico que generan las enfermedades diarreicas agudas y las infecciones respiratorias agudas, calculando, como medida de bienestar, la disposición a pagar de la población por evitar estas enfermedades, utilizando la teoría de la función de producción de salud. A través de esta teoría se identifica el esfuerzo y el gasto que realizan las familias por prevenir y mitigar este tipo de enfermedades, como, por ejemplo, el tiempo dedicado a la atención de la enfermedad, el tiempo para acceder a la fuente segura de agua antes de beberla, el tiempo dedicado a la atención de la salud de los miembros del hogar, el gasto en medicinas y en transporte para tratar la enfermedad, entre otros.

4.2.1. Función de gastos defensivos para abordar EDA e IRA.

La exposición de las personas a las aguas residuales, además de incidir sobre la prevalencia de anemia y desnutrición crónica, incide en enfermedades diarreicas agudas y en infecciones respiratorias agudas. Esta última, además, incrementa su prevalencia en presencia de anemia y desnutrición crónica, por la vulnerabilidad de la salud de las personas.

Nosotros creemos que, para el caso de EDA e IRA, más que para el caso de anemia y desnutrición, las familias perciben la pérdida de su bienestar a partir del gasto en el que incurren para afrontar estas enfermedades, y también por el esfuerzo y el tiempo que ocupan para implementar ciertas medidas de prevención y mitigación.

Para cuantificar el esfuerzo de las familias en prevenir las IRA y EDA, y en afrontar sus consecuencias, utilizamos el enfoque de la función de producción de salud y los gastos preventivos y de mitigación.

Desde la teoría económica, diversos autores como Bartik (1988), Courant & Porter (1981), Harrington & Portney (1987), han modelado el comportamiento de los individuos considerando que además de valorar los bienes y servicios, valoran su salud.

De acuerdo a este comportamiento, se puede afirmar que las personas valoran la calidad ambiental a partir del gasto que les genera y de las diversas acciones que realizan para evitar ser afectadas por los impactos que la mala calidad ambiental ocasiona en la salud y sobre otras actividades humanas, así como también para mitigar y afrontar sus efectos negativos. Por ello, el beneficio de la reducción de la contaminación debe igualar al ahorro de gastos defensivos o preventivos, así como también de gastos de mitigación, siendo muchas de estas medidas no marginales. Por esto último, los beneficios económicos, derivados del control de la contaminación del agua, no deben ser cuantificados a través de cambios marginales.

Por ello, cuando las personas deciden alcanzar un nivel óptimo de gasto y de acciones para afrontar un determinado nivel de contaminación, consideran que la afectación que genera la contaminación sobre su salud, depende del nivel y del tiempo de exposición al ambiente contaminado, así como también de ciertas medidas discretas (no marginales), tipo dicotómicas, que toman las personas o familias, para abordar el problema.

Para cuantificar los beneficios no marginales de la reducción de la contaminación; dado que es de nuestro interés medir el cambio en la prevalencia de EDA e IRA en función del nivel de exposición de las familias a las aguas residuales y de las medidas que decidan o no tomar, seguimos el planteamiento de Hanemann (1984) que lo aborda como un problema de elección discreta, en el que el individuo, con una función de utilidad, debe decidir si tomar o no tomar ciertas medidas y acciones de tipo preventivo para minimizar la probabilidad de enfermarse (aproximándola a cero); considerando que, para decidir, compara su nivel de pérdida de bienestar al deteriorarse su salud, con el nivel de pérdida de bienestar por una reducción de su ingreso disponible o presupuesto, y de su tiempo; escogiendo finalmente, el nivel de gasto que lo pone en una situación de indiferencia, de modo que la diferencia de utilidad se aproxima a cero.

Esto es: $Pr(no\ enfermarse) = Pr(\Delta V > \delta) = F(\Delta V)$

Siendo: $\Delta V = V(I=0, Y - G(Q, P), S) - V(I=1, Y, S) > \delta$

El primer término de la expresión indica el nivel de utilidad habiendo considerado las medidas para no enfermarse $G(\cdot)$, y el segundo término, sin considerarlas, donde el indicador $I=i$ ($i=1, 0$), señala si existe o no existe contaminación del agua. Siendo $\delta = \varepsilon_1 - \varepsilon_0$, donde la media de ε es cero. Siendo Y el nivel de ingreso y S las condiciones socioeconómicas del individuo.

Los individuos, deciden sobre el nivel de esfuerzo y gasto G que deben realizar para lograr el nivel de salud deseado Q , considerando que el nivel de calidad ambiental P afecta de diferente forma la salud de las personas. Para la estimación de $Pr(no\ enfermarse)$ se especifica una forma funcional para la función de utilidad indirecta V y por tanto para ΔV , y una distribución de probabilidad para el error δ que puede ser *probit* o *logit*.

Bartik (1988) mostró que la disponibilidad a pagar no marginal por una mejora en la calidad ambiental, a través de cambios en la variación compensada o equivalente, puede estimarse en función del gasto y de las diversas acciones que realizan las personas para evitar que su salud sea afectada por los impactos ambientales. Además, lo planteó como un método costo-efectividad para estimar los beneficios de una política ambiental.

Tomando una forma funcional lineal para $V(\cdot)$ y la medida de cambio de bienestar asociada a la función lineal $E[DAP]$ presentada por Ardila (1993), estimamos lo siguiente:

$$Pr(EDA-IRA) = \beta_0 + \beta_1 G + \beta_2 Ingreso$$

$$\Delta V = \beta_0 + \beta_1 G + \beta_2 Ingreso, \quad E[DAP] = (-) a / \beta_1, \quad \text{siendo: } a = \beta_0 + \beta_2 Ingreso,$$

Utilizando esta función se estima la máxima disposición de las familias a pagar para evitar este tipo de enfermedades, como una expresión bastante aproximada del cambio en el nivel de bienestar.

La especificación econométrica de la función de prevalencia de las EDA e IRA, expresa el nivel de esfuerzo, el nivel de gasto y las diferentes medidas de prevención y mitigación que toman las personas para evitar caer enfermos; o de otra forma, encaminadas a “lograr” un nivel de exposición a aguas residuales que conduzca a un nivel deseado de salud, de modo que su probabilidad de enfermarse sea cercana a cero.

Considerando que en la Enaho 2022 no existe suficiente información para estimar la máxima disposición a pagar (DAP) por evitar los impactos sobre la salud de las personas como consecuencia del vertimiento de las aguas residuales, en el ámbito de las EP del Cusco y de Cajamarca; y, además, considerando que la variable “nivel de tratamiento de las aguas” no muestra suficiente variabilidad en algunos ámbitos, hemos especificado dos funciones con el propósito de minimizar la sobreestimación del valor DAP. La primera especificación, llamada modelo 1 contiene información de todas las EP, y la segunda especificación, llamada modelo 2, contiene información

solo de las EP con mayor población y con mayor variabilidad en el tratamiento de aguas residuales. El mínimo valor de la DAP permitirá estimar de manera conservadora, el valor que le otorga la población al tratamiento de las aguas residuales para evitar enfermarse de EDA o IRA.

Para obtener el valor de la máxima disposición a pagar, reemplazamos los valores medios de las variables referidas en la especificación econométrica utilizada, pertenecientes al ámbito del proyecto a ser evaluado, en los dos modelos (modelo 1 y modelo 2), y nos quedamos con el modelo que genere el menor valor para DAP.

5. Datos

5.1. Valor del impacto económico por anemia

La información utilizada para estimar el cambio en la prevalencia de anemia en mujeres gestantes y en niños menores de 5 años proviene de la Endes 2022; y aquella referida al “nivel de tratamiento de aguas residuales” en el ámbito de las empresas prestadoras y de las localidades donde estas vierten los desagües, proviene de la Sunass, específicamente del Sistema de Captura de Información (Sicap); y, de haber identificado los puntos de vertimiento de aguas residuales de cada una de las localidades de las EP (tengan o no PTAR), así como de las localidades que serían afectadas por esos niveles de vertimiento. La afectación se daría principalmente en las zonas rurales del distrito de la localidad que vierte y del distrito que inmediatamente recibe.

Consideramos que este estudio sería el primero que utiliza esta información para estimar la prevalencia de anemia y desnutrición crónica, atribuida al nivel de tratamiento de las aguas residuales en el ámbito de influencia de las EP.

Toda vez que la información referida a “nivel de tratamiento de las aguas residuales” se encuentra disponible para las localidades administradas por las EP, hemos incorporado esta información como variable “ptar” en la Endes 2022 y en la Enaho 2022, utilizando la variable “ubigeo” para cada uno de los distritos que son administrados por las empresas prestadoras y para aquellos distritos que, no formando parte de las EP, reciben las descargas de aguas residuales. Luego de haber incorporado esta variable, hemos eliminado de la base de datos todos los demás distritos que no forman parte de la unidad de análisis, porque el propósito del estudio es medir la relación entre las descargas de aguas residuales y su incidencia en la prevalencia de enfermedades en el ámbito de los vertimientos de aguas residuales de las EP.

A continuación, identificamos las preguntas de la Endes 2022 que están relacionadas a anemia y desnutrición crónica, así como aquellas relacionadas.

Pregunta relacionada a ANEMIA para niños menores de 5 años.

VAR = HC53 Nivel de hemoglobina (g/dl-1 decimal).

VAR = HC56 Nivel de hemoglobina ajustado por altitud.

VAR = HC57 Nivel de anemia.

Pregunta relacionada a ANEMIA para mujeres gestantes.

VAR = HA53 Nivel de hemoglobina (g/dl-1 decimal).

VAR = HA56 Nivel de hemoglobina ajustado por altitud.

VAR = HA57 Nivel de anemia.

Preguntas que podrían estar referidas a la anemia, asociadas:

VAR = HA66; HA67. El nivel educativo más alto, aprobado, de la mujer, y el año más alto de educación de la mujer.

Pregunta relacionada a DESNUTRICIÓN CRÓNICA.

VAR = HC5 Talla/Edad desviación estándar (medido por el Minsa).

VAR = HC70 Talla/Edad de la desviación estándar (medido por OMS).

VAR HV103 = “¿Durmió aquí anoche?”.

A continuación, presentamos la información que vamos a estimar con la función de probabilidad o prevalencia de enfermedad, así como también el uso que va a tener esta información en el proceso de evaluación económica de las dos PTAR.

Cuadro 1: Uso de los modelos a estimar

Variable resultado	Modelo	Fuente	Uso
Prevalencia anemia/desnutrición en niños menores de 5 años.	Sintáxis Endes	Endes 2010	Repitencia
Cambio en la prevalencia de anemia en niños menores de 5 años ante cambio en tratamiento de aguas residuales.	<i>Probit/logit</i>	Endes 2022	Pérdida cognitiva Pérdida de escolaridad Pérdida de productividad Repitencia
Cambio en la prevalencia de anemia en mujeres gestantes ante cambio en tratamiento de aguas residuales.	<i>Probit/logit</i>	Endes 2022	Parto prematuro
Prevalencia de anemia en adultos.	Sintáxis Endes	INEI-Cenan 2012	Pérdida de productividad
Cambio en la prevalencia de anemia en adultos ante cambio en tratamiento de aguas residuales.	Sintáxis Endes	Asumimos un valor conservador.	Pérdida de productividad

Para realizar los cálculos referidos al impacto económico que genera la anemia por pérdida cognitiva, por pérdida de años de escolaridad y por menor rendimiento laboral, utilizaremos las siguientes fuentes de información.

Cuadro 2: Variables y parámetros utilizados

Variables	Cajamarca	Cusco	Fuente
Población laboral ocupada del ámbito.	138 843	198 765	Propia/Enaho 2022
% PEA “trabajo manual intenso”.	56 %	40 %	Propia/Enaho 2022/Alcázar
Ingreso anual del trabajador del ámbito.	14 534	17 439	Propia/Enaho 2022
Prevalencia de anemia en niños <5 años.	38 %	51 %	Propia/Endes 2022
Pérdida cognitiva del salario.	4 %	4 %	Pollitt (1983)
Retorno por un año más de educación.	5 %	5 %	Yamada y Castro (2010)
Años de escolaridad perdidos.	0,22	0,22	Alcázar (2012), Psacharopoulos & Véllez(1988)
Pérdida de productividad por anemia.	(1 % - 12 %)	(1 % - 12 %)	Alcázar (2012)

En el siguiente cuadro se muestran las variables y los parámetros que utilizamos para realizar los cálculos referidos a la pérdida de recursos públicos que genera la anemia, por partos prematuros y por repitencia escolar.

Cuadro 3: Variables y parámetros utilizados

Variables	Cajamarca	Cusco	Fuente
Costo extra por parto prematuro.	4700	4700	Ross & Horton (1998) ajustado x inflación.
Riesgo por parto prematuro (RR).	2,7	2,7	Scholl <i>et al.</i> (1992)
Niños nacidos vivos.	18 926	21 503	INEI 2021
Porcentaje de partos prematuros.	8,4 %	5,7 %	INEI 2021
Porcentaje de niños con anemia que repiten (θ) primaria/secundaria.	0,05562 0,07196	0,05562 0,07196	Estimación a partir de Alcázar (2012)
Costo operativo por estudiante prim.	4517	4539	Escale 2022
Costo operativo por estudiante sec.	4852	5290	Escale 2022
Número de matriculados prim.	52 946	44 154	INEI 2022 y proporción niños Enaho.
Número de matriculados prim.	40 551	34 102	INEI 2022 y proporción niños Enaho.

5.2. Cambio en el bienestar por la ocurrencia de EDA e IRA

Para estimar la función de probabilidad de ocurrencia de EDA e IRA, $Pr(EDA-IRA)$, utilizamos la Enaho 2022 y la información sobre el nivel de tratamiento de aguas residuales en el ámbito de las empresas prestadoras. Esta información, obtenida de la Sunass, como se indicó anteriormente, la hemos incorporado en la base de datos de este estudio.

Respecto a la información sobre EDA e IRA de la Enaho 2022, es importante mencionar que estas enfermedades se encuentran incluidas en el grupo de aquellas que se presentan con diversos síntomas, como la gripe, el dolor de cabeza y la fiebre, que podrían no estar vinculados directamente a las EDA o IRA.

Las preguntas de la Enaho 2022 que están relacionados a enfermedades vinculadas predominantemente a las EDA o IRA, así como aquellas que están relacionadas con sus consecuencias son las siguientes:

En las últimas 4 semanas, ¿presentó usted algún(a)...

[VAR = p4021, p4022, p4023, p4024, p4025, y p4026]

- síntoma o malestar (tos, dolor de cabeza, fiebre)?
- enfermedad (gripe, colitis, etc.)?
- recaída de enfermedad crónica?
- accidente?
- síntoma de COVID-19 (fiebre, tos seca, sensación de ahogo)?
- No tuvo enfermedad, síntoma, recaída, accidente.

¿A dónde acudió para consultar por esta enfermedad, síntoma, malestar y/o accidente?

[VAR = p4031, p4032,p40314]

(Puesto de salud Minsa, centro de salud Minsa, posta, hospital, clínica, etc.)

¿Quién le atendió durante la consulta?

[VAR: p4041, p4042, ...p4047]

(Médico, dentista, obstetriz.....)

Generalmente, ¿cuánto tiempo demora para llegar al establecimiento de salud a donde acudió? (en minutos)

[VAR: p407g3]

¿Cuáles son las razones por las que no acudió a un centro o establecimiento de salud?

[VAR: p409, ...p40911]

(No tuvo dinero, se encuentra lejos, demora mucho en atender, etc.)

En las últimas 4 semanas, el gasto realizado fue pagado por...

[VAR: p4151_01, ...p4151_17]

(Miembro del hogar, autoconsumo, regalado, donado por programa, etc.)

En las últimas 4 semanas, ¿De cuánto fue el gasto total por...

[VAR: p41601, p41602, p41603, p41604]

(Consulta, medicinas, análisis, rayos X)

El sistema de prestación del seguro de salud al cual usted está afiliado, es...

[VAR: p4191,...p4198]

(EsSalud, seguro privado de salud, EPS, Seguro FF. AA., SIS, universitario, escolar)

¿La semana pasada tuvo algún trabajo? (si/no)

[VAR: p501]

Aunque no trabajó la semana pasada, ¿tiene algún empleo fijo al que próximamente volverá?

[VAR: p502]

La semana pasada, ¿realizó alguna actividad al menos una hora para obtener ingresos en dinero o en especie, como: realizando labores remuneradas en la chacra o cuidando animales.

[VAR: p5049]

6. Resultados

A continuación se muestran los beneficios económicos del tratamiento de las aguas residuales en las ciudades de Cajamarca y Cusco, y la comparación de estos beneficios con los costos de diseñar, financiar, construir, operar y mantener la PTAR Cajamarca y la PTAR Cusco. Los beneficios económicos son resultado de los impactos económicos evitados por reducir la prevalencia de anemia y por la mejora en el bienestar como consecuencia de reducir la prevalencia de enfermedades vinculadas a EDA e IRA.

6.1. Impacto económico por el tratamiento de aguas residuales y reducción de la anemia

La especificación econométrica para estimar la contribución a la disminución de la prevalencia de anemia en niños menores de 5 años y en madres gestantes, en el ámbito de influencia de todos los vertimientos de las empresas prestadoras de servicios de saneamiento en todo el país, por parte del tratamiento de aguas residuales en Cajamarca y el Cusco, en relación al tratamiento de aguas residuales en las demás ciudades del país, es la siguiente:

$$\text{Pr(anemiat)} = \beta_0 + \beta_1\text{des} + \beta_2\text{tar} + \beta_3\text{dum1} + \beta_4\text{dum1*tar} + \beta_5\text{hac} + \beta_6\text{hec} + \beta_7\text{lug*tar}$$

Las variables utilizadas en el modelo, así como su descripción, se presentan en el siguiente cuadro:

Variable	Abrev.	Definición	Periodicidad	Variable
Anemia	Anemiat	<u>Anemia</u> : condición en la que el contenido de hemoglobina en la sangre se encuentra por debajo de valores normales.	Al momento de realizar la encuesta.	<i>Dummy</i> Toma el valor de “1” si el nivel de hemoglobina ajustada por altitud se encuentra entre 1 y 11.
Anemia y desnutrición crónica.	enfo	<u>Desnutrición crónica</u> : estado en el cual los niños tienen una baja estatura con relación a una población de referencia. La Endes mide la anemia en niños menores de 5 años, y también en mujeres de 12 a 49 años.		Toma el valor de “0” en otro caso.
<u>Fuente:</u> Endes 2022				
Desagüe	des	Se pregunta sobre el tipo de servicio higiénico del hogar: conectado a la red pública de desagüe (dentro o fuera de la vivienda), letrina, otras.	Al momento de la encuesta.	<i>Dummy</i> Toma el valor de “1” si la vivienda está conectada a la red de desagüe. Toma el valor de “0” en caso contrario.
<u>Fuente:</u> Endes 2022				
Tratamiento de aguas residuales.	tar	Nivel de tratamiento de aguas residuales distritales en el ámbito de las EPS y en el ámbito del vertimiento de las aguas residuales.	Anual Año 2022	Numérica Expresada como el cociente: volumen tratado anual/volumen vertido anual.
<u>Fuente:</u> Sicap (Sunass)				

Región Cajamarca	<i>dum1</i>	Representa a Cajamarca en relación a las demás regiones.	Anual Año 2022	<i>Dummy</i> Toma el valor de “1” si la región es Cajamarca. Toma el valor de “0” en caso contrario.
Aporte relativo al tratamiento de aguas residuales en Cajamarca. <u>Fuente:</u> Endes 2022	<i>Dum*tar</i>	Mide el efecto sobre la anemia del tratamiento de las aguas residuales en Cajamarca en relación a otras regiones.	Anual Anual 2022	Cofactor
Hacinamiento <u>Fuente:</u> Endes 2022	hac	Mide el nivel de hacinamiento existente en el hogar.	Anual Anual 2022	Numérica Expresada como: número de personas en el hogar/número de habitaciones.
Tratamiento del agua para beber en el hogar. <u>Fuente:</u> Endes 2022	hec	Establece si el hogar realiza algún tipo de tratamiento al agua, dentro de la vivienda, antes de beberla.	Anual Anual 2022	<i>Dummy</i> Toma el valor de “1” si el hogar realiza algún tipo de tratamiento al agua antes de beberla. Toma el valor de “0” en caso contrario.
Aporte relativo al tratamiento de aguas residuales en las ciudades en relación a los demás lugares. <u>Fuente:</u> Endes 2022	<i>Lug*tar</i>	Mide el efecto sobre la anemia del tratamiento del agua residual en la ciudad en relación a los demás lugares que no son ciudad, como por ejemplo centros poblados o campos. Ciudad =1 Otro lugar (pequeña ciudad pueblo, campo =0)	Anual Anual 2022	Cofactor

La principal consideración de esta estimación es que mide el aporte en la reducción de la prevalencia de anemia de una región en relación a las demás, utilizando como variable *dummy* la región respectiva. Además, mide la reducción de la anemia por parte de las ciudades, por tratar las aguas residuales, en relación al total de lugares diferentes a las ciudades en el Perú.

6.1.1. Impacto económico en Cajamarca por tratar las aguas residuales y reducir la anemia.

A continuación, se presenta las principales estadísticas descriptivas de las variables que forman parte del modelo econométrico:

Variable	Media	Desv. estándar	Valor mínimo	Valor máximo
anemiat	0,24	0,42	0	1
ddesague	0,70	0,45	0	1
ptar	0,31	0,43	0	1
hacina	3,03	1,23	1	9
dhechalgo	0,76	0,42	0	1
lugar	0	0	0	0

Utilizando la información de la encuesta Endes 2022 así como también la data sobre nivel de tratamiento de aguas residuales en el ámbito de las EP, proveniente de Sunass, de acuerdo a lo indicado en el acápite metodológico, hemos obtenido los siguientes resultados:

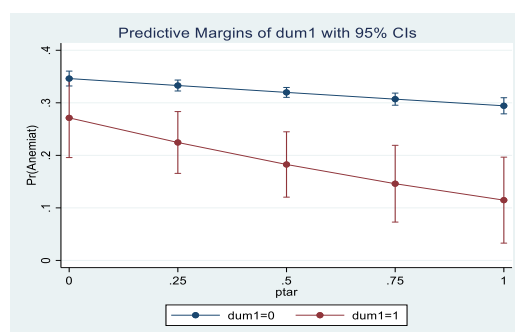
Probit regression		Prevalencia Anemia Niños			Number of obs = 9,635	
Cajamarca					Prob > chi2 = 0.0000	
Log likelihood = -5894.1181					Pseudo R2 = 0.0251	
anemiat	Coef.	Std. Err.	z	P>z	[95% Conf.	Interval]
ddesague	-0.2821892	0.0303348	-9.3	0	-0.3416444	-0.2227341
ptar	-0.1484452	0.0335476	-4.42	0	-0.2141974	-0.0826931
1.dum1	-0.2180052	0.120658	-1.81	0.071	-0.4544905	0.0184801
dum1#c.ptar						
1	-0.4588715	0.2583481	-1.78	0.076	-0.9652245	0.0474815
hacina	0.1063771	0.0105576	10.08	0	0.0856845	0.1270697
dhechalgo	-0.1952761	0.0543221	-3.59	0	-0.3017456	-0.0888067
_cons	-0.3115021	0.0642721	-4.85	0	-0.4374731	-0.1855311

Delta-method						
Margin	Std. Err.	z	P>z	[95% Conf.	Interval]	
at#dum1						
1 0	0.3461897	0.0072254	47.91	0	0.3320282	0.3603512
1 1	0.2713376	0.0385643	7.04	0	0.195753	0.3469222
2 0	0.3328988	0.0053166	62.62	0	0.3224785	0.343319
2 1	0.2244876	0.0300005	7.48	0	0.1656877	0.2832876
3 0	0.3198161	0.0047911	66.75	0	0.3104257	0.3292066
3 1	0.1826273	0.0317313	5.76	0	0.1204351	0.2448194
4 0	0.3069554	0.0058799	52.2	0	0.2954311	0.3184797
4 1	0.1460351	0.0372779	3.92	0	0.0729717	0.2190984
5 0	0.2943295	0.0078275	37.6	0	0.2789879	0.3096712
5 1	0.1147398	0.0417483	2.75	0.006	0.0329146	0.196565

Los resultados muestran buena significancia estadística de los coeficientes del modelo y los signos revelan coherencia con la teoría. Incrementar la cobertura de alcantarillo y tratar las aguas residuales en Cajamarca reduce la prevalencia de anemia. El hacinamiento contribuye a aumentar la prevalencia de anemia y el tratamiento o cuidado del agua dentro del hogar contribuye a su disminución.

Respecto a la importancia del TAR en Cajamarca, se puede indicar que a medida que aumenta el TAR en todo el país; se torna relevante el aporte en Cajamarca, a la reducción de la prevalencia de anemia en el ámbito de todos los vertimientos considerados, en relación a la contribución de las demás ciudades del país. En Cajamarca, el impacto temporal (a lo largo del tiempo) de tratar las aguas residuales sobre la disminución de la prevalencia de anemia va: de 27 puntos porcentuales a 11 puntos porcentuales, mientras que, en el resto de ciudades del país, el impacto temporal de tratar las aguas residuales sobre la disminución de la prevalencia de anemia va: de 34 puntos porcentuales a 29 puntos porcentuales.

El gráfico siguiente muestra que la contribución de Cajamarca a la reducción en la prevalencia de anemia va disminuyendo de manera más acelerada, a medida que pasa el tiempo y aumenta el TAR, en relación a la reducción en las demás ciudades, hasta alcanzar los 11 puntos porcentuales, al tratarse el 100 % de aguas residuales.



Al realizar las estimaciones solo en Cajamarca, los resultados muestran que el efecto marginal del tratamiento de las aguas residuales sobre la reducción de la prevalencia de anemia, en promedio, es de 19 puntos porcentuales.

Probit regression		Prevalencia Anemia Niños		Number of obs = 190	
Cajamarca				LR chi2(1) = 6.77	
				Prob > chi2 = 0.0093	
Log likelihood = -101.78078				Pseudo R2 = 0.0322	
anemiat	Coef.	Std. Err.	z	P>z	[95% Conf. Interval]
ptar	-0.6386244	0.2531341	-2.52	0.012	-1.134758 -0.1424906
_cons	-0.5298063	0.1178155	-4.5	0	-0.7607204 -0.2988921

Expression : Pr(enfo), predict()

dy/dx w.r.t. : ptar hacina

Delta-method

	dy/dx	Std. Err.	z	P>z	[95% Conf. Interval]
ptar	-0.1928023	0.0734932	-2.62	0.009	-0.3368463 -0.0487584

Anemia en mujeres gestantes

A continuación, mostramos la estimación del cambio en la prevalencia de anemia en las madres gestantes. La metodología y las variables son las mismas que se utilizaron para el caso de los niños menores de 5 años. La diferencia se encuentra en la base de datos utilizada.

Probit regression		Prevalencia Anemia Mujeres Gestantes		Number of obs = 990	
Cajamarca				LR chi2(3) = 7.89	
				Prob > chi2 = 0.0483	
Log likelihood = -357.71321				Pseudo R2 = 0.0109	
anemiati	Coef.	Std. Err.	z	P>z	[95% Conf. Interval]
ptar	-0.2491398	0.1550766	-1.61	0.108	-0.5530843 0.0548047
1.luga	-0.2442889	0.135327	-1.81	0.071	-0.509525 0.0209473
hacina	0.0858298	0.0418826	2.05	0.04	0.0037414 0.1679183
_cons	-1.242396	0.1663768	-7.47	0	-1.568488 -0.916303
Expression : Pr(anemiati), predict()					
dy/dx w.r.t. : ptar					
Delta-method					
	dy/dx	Std. Err.	z	P>z	[95% Conf. Interval]
ptar	-0.049052	0.0305172	-1.61	0.108	-0.1088647 0.0107606
1.luga	-0.0477008	0.026233	-1.82	0.069	-0.0991165 0.0037149
hacina	0.0168987	0.0082392	2.05	0.04	0.00075 0.0330473

Los resultados muestran significancia estadística en los coeficientes del modelo, y los signos revelan coherencia teórica. Incrementar el tratamiento de las aguas residuales reduce la prevalencia de anemia en mujeres gestantes, en cambio el hacinamiento aumenta la prevalencia. Como era de esperarse el nivel de reducción de la anemia es menor al nivel observado en niños menores de 5 años.

A continuación, se muestra un cuadro que agrupa todos los resultados obtenidos con la función de probabilidad de anemia.

Cuadro 4: Cambio en prevalencia de anemia en Cajamarca

Cajamarca	Prevalencia		Cambio en la prevalencia		Población del ámbito	
	PV	Fuente	Δ PV	Fuente	Población	Fuente
Niños <6 ^a	38,1 5%	Endes 2022	19 %	Estimación	6554	Enaho 2022
Mujeres 14-54	11,76 %	Endes 2022	5 % PAR	Estimación	83 987	Enaho 2022
Adultos >14 ^a	2,18 - 4,45 %	Cenan 2011	1 %	Supuesto	217 114	Enaho 2022

La incidencia de los desagües sobre la anemia

La incidencia de anemia por exposición de aguas residuales no solo se da por el vertimiento de estas aguas, sino también por su no recolección en las viviendas que las generan. Al respecto, es importante agregar a los cálculos previos, en donde sea posible, el efecto en el cambio en la prevalencia de anemia por la ampliación de la cobertura de alcantarillado. La incidencia de los desagües sobre la anemia amplifica los efectos generados por el no tratamiento de las aguas residuales.

En este sentido, existiría un segundo efecto marginal, sobre la prevalencia de anemia. Este efecto lo recogemos a través de la especificación inicial, asumiendo que en gran medida las poblaciones no son las mismas: una población se ubica en las viviendas que no tienen sistema de recolección de aguas residuales (cobertura de alcantarillado o desagüe), y la otra población se ubica en las viviendas cercanas

a los lugares por donde discurren las aguas residuales vertidas por las empresas prestadoras, sobre la que hemos realizado el análisis. Si bien las personas pueden recibir un efecto combinado, su prestador no le trata sus aguas y, además, no tiene desagüe. Por lo general, esta población es atendida por un prestador diferente al de una EP que vierte las aguas residuales y sobre cuyos niveles de tratamiento realizamos aquí el análisis.

Finalmente, de utilizar los resultados del cuadro 4, así como los datos de los cuadros 2 y 3, y las ecuaciones de la sección 4.1.2., se obtienen los impactos económicos generados por el tratamiento de aguas residuales y la reducción de la prevalencia de anemia.

Cuadro 5: Pérdida total evitable por tratar las aguas residuales en Cajamarca

Cajamarca	Ingreso anual	Efecto en ingreso	Año escolar // PEA%	$\Delta Pv(.)$	Fuerza laboral área influencia*	Pérdida Total evitable
Costo por pérdida						
Cognitiva (productividad)	14 534	4%	---	19%	138 843	15 335 962
Escolaridad (ingresos)	14 534	5%	0.22	19%	138 843	4 217 390
Productividad x fatiga - i	14 534	1%	44%	1%	138 843	88 787
Productividad x fatiga - ii	14 534	12%	56%	1%	138 843	1 444 809
Sub total						20 998 161
Costo al Estado	Costo	θ	ΔPAR	$\Delta Pv(.)$	Prematuro // Matriculados	Costo evitable
Parto prematuro	4 700	----	0.085	5%	448	178 900
Repitencia escolar prim.	4 517	0.05562	---	19%	52 946	2 527 507
Repitencia escolar sec.	4 852	0.07196	---	19%	40 551	2 689 754
Sub total						5 396 161
Total perdida por anemia						26 394 322

6.1.2. Impacto económico en el Cusco por tratar las aguas residuales y reducir la anemia.

A continuación, se presenta las principales estadísticas descriptivas de las variables que forman parte del modelo econométrico.

Variable	Media	Desv. estándar	Valor mínimo	Valor máximo
enfo	0,43	0,49	0	1
ddesague	0,89	0,31	0	1
ptar	0,85	0,32	0	0,98
hacina	2,63	1,03	0,8	6
dhechalgo	0,98	0,11	0	1
lugar	1,28	0,62	1	3

Utilizando la información de la encuesta Endes 2022, así como también la data sobre tratamiento de aguas residuales en el ámbito de las EP, proveniente de Sunass, de acuerdo a lo indicado en el acápite metodológico, hemos obtenido los siguientes resultados:

Probit regression Prevalencia Anemia Niños				Number of obs = 9,635		
Peru: Dummy: Cusco				Prob > chi2 = 0.0000		
Log likelihood = -6103.751				Pseudo R2 = 0.0328		
enfo	Coef.	Std. Err.	z	P>z	[95% Conf.	Interval]
ddesague	-0.3420963	0.0300065	-11.4	0	-0.4009079	-0.2832848
ptar	-0.2235844	0.0333176	-6.71	0	-0.2888857	-0.158283
1.dum2	0.8575828	0.2597769	3.3	0.001	0.3484295	1.366736
dum2#c.ptar						
1	-0.5566737	0.2833108	-1.96	0.049	-1.111953	-0.0013947
hacina	0.1085074	0.0105144	10.32	0	0.0878994	0.1291153
dhechalgo	-0.222073	0.053744	-4.13	0	-0.3274093	-0.1167368
_cons	-0.1158113	0.0634686	-1.82	0.068	-0.2402075	0.0085849

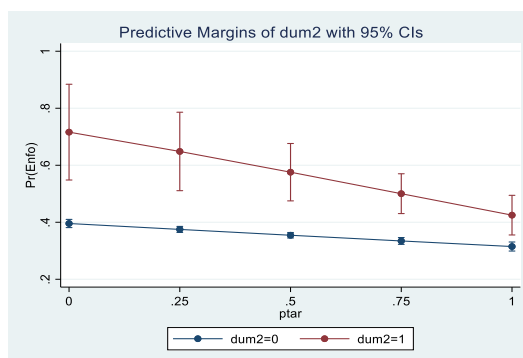
Delta-method						
	Margin	Std. Err.	z	P>z	[95% Conf.	Interval]
at#dum2						
1 0	0.3956963	0.0073382	53.92	0	0.3813137	0.410079
1 1	0.7161897	0.0857033	8.36	0	0.5482144	0.8841651
2 0	0.3749024	0.0054033	69.38	0	0.3643121	0.3854927
2 1	0.648453	0.0702217	9.23	0	0.5108211	0.786085
3 0	0.3544707	0.0049311	71.89	0	0.344806	0.3641354
3 1	0.5756882	0.0513358	11.21	0	0.475072	0.6763045
4 0	0.3344541	0.0060957	54.87	0	0.3225067	0.3464015
4 1	0.5002977	0.0356333	14.04	0	0.4304577	0.5701378
5 0	0.3149021	0.0080762	38.99	0	0.299073	0.3307311
5 1	0.4249544	0.0354864	11.98	0	0.3554023	0.4945065

Los resultados muestran buena significancia estadística de los coeficientes del modelo y los signos revelan coherencia teórica. En Cusco, el tratamiento de las aguas residuales reduce la anemia y la desnutrición crónica, a su vez, los hogares que tratan el agua dentro del hogar también reducen la anemia. Sin embargo, los hogares que viven hacinados la aumentan. No tener acceso a la red pública de recolección de aguas servidas, esto es no tener desagüe, contribuye de manera importante al aumento de la prevalencia de anemia.

Respecto a la importancia del TAR en el Cusco, se puede indicar que a medida que aumenta el TAR en todo el país, se torna relevante el aporte en la ciudad imperial a la reducción de la prevalencia de anemia en el ámbito de todos los vertimientos considerados, en relación a la contribución de las demás ciudades del país. En el Cusco, el impacto temporal, a lo largo del tiempo, de tratar las aguas residuales sobre la disminución de la prevalencia de anemia va: de 71 puntos porcentuales a 42 puntos porcentuales, mientras que, en el resto de ciudades del país, el impacto temporal de tratar las aguas residuales sobre la disminución de la prevalencia de anemia va: de 39 puntos porcentuales a 31 puntos porcentuales.

El gráfico siguiente muestra que la contribución del Cusco a la reducción en la prevalencia de anemia va disminuyendo de manera más acelerada a medida que pasa el tiempo y aumenta el TAR, en relación a la reducción en las demás ciudades,

hasta alcanzar los 42 puntos porcentuales, al realizar el tratamiento al 100 % de las aguas residuales.



Al realizar las estimaciones solo en el Cusco, los resultados muestran que el efecto marginal del tratamiento de las aguas residuales sobre la reducción de la prevalencia de anemia es, en promedio, de 33 puntos porcentuales.

Probit regression		Prevalencia Anemia Niños		Number of o	=	228
Cusco				LR chi2(1)	=	11.07
				Prob > chi2	=	0.0009
Log likelihoo		Pseudo R2			=	0.0355

	Coef.	Std. Err.	z	P>z	[95% Conf.	Interval]
ptar	-0.8855529	0.2741608	-3.23	0.001	-1.422898	-0.3482075
_cons	0.5919987	0.2516084	2.35	0.019	0.0988552	1.085142

Expression : Pr(enfo), predict()
dy/dx w.r.t. : ptar hacina
Delta-method

	dy/dx	Std. Err.	z	P>z	[95% Conf.	Interval]
ptar	-0.3350314	0.0961987	-3.48	0	-0.5235774	-0.1464854

Anemia en mujeres gestantes

La reducción en la prevalencia de anemia en mujeres gestantes como consecuencia del tratamiento de aguas residuales es del 15 %. La metodología y la información es la misma utilizada para el caso de los niños. La diferencia se encuentra en la base de datos utilizada.

Probit regression		Prevalencia Anemia Mujeres 15-49 años		Number of obs	=	1,287
Cusco						
				Prob > chi2	=	0.0000
Log likelihood = -636.79746				Pseudo R2	=	0.0188
anemiat	Coef.	Std. Err.	z	P>z	[95% Conf.	Interval]
ptar	-0.5560221	0.1113637	-4.99	0	-0.7742911	-0.3377532
_cons	-0.3746289	0.0990058	-3.78	0	-0.5686768	-0.1805811
Expression : Pr(anemiat), predict()						
dy/dx w.r.t. : ptar						
Delta-method						
	dy/dx	Std. Err.	z	P>z	[95% Conf.	Interval]
ptar	-0.1538621	0.0301027	-5.11	0	-0.2128624	-0.0948618

A continuación, se muestra un resumen de los resultados obtenidos.

Cuadro 6: Cambio en prevalencia de anemia en el Cusco

Cusco	Prevalencia		Cambio en la prevalencia		Población del Ámbito	
	PV	Fuente	Δ PV	Fuente	Población	Fuente
Niños	51,2 %	Endes 2022	33 %	Estimación	4337	Enaho 2022
Mujeres 15-49	19,79 %	Endes 2022	15 % (PAR)	Estimación	121 409	Enaho 2022
Adultos	2,9 – 4,5 %	Cenan 2011	1 %	Supuesto	330 390	Enaho 2022

El resultado de todos los impactos económicos generados como consecuencia de la mejora en el nivel de tratamiento de aguas residuales, obtenidos con las ecuaciones mostradas en esta sección, las resumimos en el siguiente cuadro:

Cuadro 7: Pérdida total evitable de tratar las aguas residuales en el Cusco

Cusco	Ingreso anual	Efecto en ingreso	Año escolar // PEA%	Δ Pv(.)	Fuerza laboral área influencia*	Pérdida Total evitable
Pérdida por anemia						
Cognitiva (productividad)	17 439	4%	--	33%	198 765	45 755 708
Escolaridad (ingresos)	17 439	5%	0.22	33%	198 765	12 582 820
Productividad x fatiga - i	17 439	1%	60%	1%	198 765	207 980
Productividad x fatiga - ii	17 439	12%	40%	1%	198 765	1 663 844
Sub total						60 210 353
Costo al Estado	Costo	θ	Δ PAR	Δ Pv(.)	Prematuro // Matriculados	Costo evitable
Parto prematuro	4 700	----	0.255	15%	345	413 400
Repitencia escolar prim.	4 539	0.05562	---	33%	44 154	3 679 387
Repitencia escolar sec.	5 290	0.07196	---	33%	34 102	4 283 378
Sub total						8 376 165
Total perdida por anemia						68 586 518

(*) Referida al ámbito de influencia del tratamiento y de los vertimientos de aguas residuales

6.2. DAP no marginal por tratar las aguas residuales y reducir enfermedades vinculadas a las EDA e IRA

La especificación del modelo econométrico utilizado para estimar la probabilidad de contraer enfermedades que están vinculadas predominantemente a diarreas o a infecciones respiratorias agudas, es el siguiente:

$$\text{Pr}(\text{eda-ira}) = \beta_0 + \beta_1\text{gas} + \beta_2\text{ing} + \beta_3\text{tar} + \beta_4\text{edu} + \beta_5\text{tvr}$$

Las variables utilizadas en el modelo, así como su descripción, se presentan en el siguiente cuadro:

Variable	Abrev.	Definición	Periodicidad	Variable
Enfermedad EDA + IRA	denfermedad (eda-ira)	EDA: deposición tres o más veces al día de las heces sueltas o líquidas.	En las última cuatro semanas a	Dummy Toma valor de "1" si la persona ha presentado EDA o IRA.

<u>Fuente:</u> Enaho 2022		<u>IRA:</u> enfermedades del aparato respiratorio, causado por diferentes microorganismos como virus o bacterias, que empiezan de manera repentina y duran al menos dos semanas.	la realización de la encuesta.	Toma el valor de “0” en otro caso.
Gasto de la enfermedad. <u>Fuente:</u> Enaho 2022	gas	Monto de dinero gastado en la consulta médica, medicinas y exámenes clínicos, asociados a la EDA e IRA, en las últimas cuatro semanas previas a la realización de la encuesta.	En las última cuatro semanas previas a la realización de la encuesta.	Númerica
Ingresos <u>Fuente:</u> Enaho 2022	ing	Total de los ingresos anuales del hogar, por todo concepto, dividido entre doce meses.	Anual Año 2022	Númerica
Tratamiento de aguas residuales <u>Fuente:</u> Sicap (Sunass)	tar	Nivel de tratamiento de aguas residuales en los distritos en el ámbito de la EPS y en el ámbito del vertimiento de las aguas residuales.	Año 2022	Númerica Expresada como el cociente: volumen tratado anual/volumen vertido anual.
Nivel de educación <u>Fuente:</u> Enaho 2022	Edu (niveledu)	¿Cuál es el último año o grado de estudios y nivel que aprobó? (sin nivel, inicial, primaria incompleta, primaria completa, secundaria incompleta, secundaria incompleta, superior no universitaria incompleta, etc.)	Al momento en que se realizó la encuesta.	Variable categorizada (valores de 1 hasta 11).
Tiempo de viaje <u>Fuente:</u> Enaho 2022	tv	Total de minutos para llegar al establecimiento de salud donde lo atenderán.	Generalmente cuando asiste al establecimiento de salud.	Númerica

Las estadísticas descriptivas de las variables que forman parte del modelo econométrico se muestran en el siguiente cuadro:

Variable	Media		Desv. estándar		Valor mínimo		Valor máximo	
	CAJ	CUS	CAJ	CUS	CAJ	CUS	CAJ	CUS
denfermedad	0,61	0,34	0,48	0,47	0	0	1	1
gastoenfermo	16,50	13,19	78,70	76,64	0	0	1870	1687
ingresos	2157	2386	2711	2208	0	0	28 030	12 928
ptar	0,27	0,82	0,41	0,34	0	0	1	1
niveledu	5,03	5,99	2,62	3,68	1	1	12	99
tiempoviajem	1,43	1,47	5,66	6,37	0	0	45	50

Para estimar la disposición a pagar no marginal de los hogares del ámbito de influencia de los vertimientos de las EP de las ciudades de Cajamarca y de las ciudades del Cusco, que minimiza la probabilidad de contraer EDA o IRA, al evitar su exposición a las aguas residuales no tratadas, hemos reemplazado los valores

promedio de las variables dependientes del ámbito de responsabilidad de estas empresas prestadoras en la función de valor de la disposición a pagar no marginal DAP, de acuerdo a lo explicado en el acápite metodológico de este estudio. La función de valor de la DAP la hemos definido a partir del modelo que genera el mínimo valor de la DAP, entre las dos siguientes especificaciones:

$$\text{Pr(eda-ira)}^1 = \beta_0^1 + \beta_1^1 \text{gas} + \beta_2^1 \text{ing} + \beta_3^1 \text{tar} + \beta_4^1 \text{edu} + \beta_5^1 \text{ing} + \beta_6^1 \text{tvr} \quad (\text{modelo 1})$$

$$\text{Pr(eda-ira)}^2 = \beta_0^2 + \beta_1^2 \text{gas} + \beta_2^2 \text{ing} + \beta_3^2 \text{tar} + \beta_4^2 \text{edu} + \beta_5^2 \text{ing} + \beta_6^2 \text{tvr} \quad (\text{modelo 2})$$

El modelo 1 contiene información de todas las empresas prestadoras mientras que el modelo 2 contiene información de las empresas prestadoras con mayor población y con mayor variabilidad en el tratamiento de aguas residuales. El mínimo valor de la DAP permitirá estimar, de manera conservadora, el valor que le otorga la población al tratamiento de las aguas residuales para evitar ser afectado con enfermedades vinculadas predominantemente a EDA o IRA.

6.2.1. DAP en Cajamarca por evitar enfermarse predominantemente de EDA e IRA como consecuencia del TAR.

Los resultados de la estimación de ambos modelos los mostramos en el siguiente cuadro:

VARIABLES	Modelo1	Modelo2
	denfermedad	denfermedad
gastoenfermo	0,00457*** (0,000118)	0,00416*** (0,000123)
ingresos	-2,89e-05*** (2,28E-06)	-3,25e-05*** (2,55E-06)
ptar	-0,155*** (0,014)	-0,224*** (0,0166)
niveledu	-0,0425*** (0,00235)	-0,0479*** (0,00267)
tiempoviajem	0,0590*** (0,00145)	0,0561*** (0,00164)
Constant	0,154*** (0,0154)	0,245*** (0,0186)
Observations	49,664	38,061

Notes_Titles

Standard errors in parentheses

*** p<0,01, ** p<0,05, * p<0,1

Para ambos modelos los signos son los esperados y los coeficientes son altamente significativos. El tratamiento de las aguas residuales disminuye la probabilidad de contraer enfermedades vinculadas predominantemente a EDA e IRA. Asimismo, una mayor probabilidad de enfermarse implica mayor gasto en salud. Las personas con mayor ingreso y con mayor nivel educativo tienen menor propensión a enfermarse, mientras que las personas que ocupan más tiempo en llegar a su centro de salud, tienen mayor propensión a enfermarse.

Por otra parte, es importante mencionar que no hay evidencia de endogeneidad en las variables dependientes puesto que no se logra rechazar la hipótesis nula de exogeneidad de un modelo *probit* bivariado.

La función de valor para Cajamarca que genera la mínima DAP, proveniente del modelo 2, es la siguiente:

$$\text{Pr}(\text{eda-ira})^1 = 0,1544 + 0,0045*\text{gas} - 0,00002*\text{ing} - 0,1552*\text{ptar} - 0,0424*\text{edu} + 0,0589*\text{tvr}$$

Con este modelo, el efecto marginal de tratar las aguas residuales sobre la reducción de la probabilidad de contraer enfermedades vinculadas predominantemente a EDA o IRA, en el ámbito en que las empresas prestadoras realizan sus descargas, es de 9 puntos porcentuales cuando se alcanza el 100 % de tratamiento en las localidades que son atendidas por empresas prestadoras.

La disposición a pagar no marginal de los hogares sería de 12 soles mensuales, para un nivel de prevalencia cercano a cero. Este valor representa, según la teoría presentada en la sección metodológica, el ahorro en gastos y esfuerzo de los hogares en la prevención y en la mitigación de las enfermedades de origen hídrico, como EDA o IRA. Este valor se obtiene de reemplazar los valores medios de las variables dependientes de Cajamarca en la siguiente función de valor:

$$\text{DAP} = - [0,1544 - 0,00002*(\text{ing}) - 0,1552*\text{tar} - 0,0424*\text{edu} + 0,0589*\text{tv}] / [0,0045]$$

Los valores medios de las variables dependientes utilizados en la función de valor son:

eda	gas	ing	tar	Edu	tv
0,62	16,50	2157	0,27	5,04	1,4

Para la ciudad de Cajamarca, con una incidencia de enfermedades vinculadas predominantemente a EDA e IRA del 62 %, reducir la probabilidad de contraer estas enfermedades a 52 % (esto es -10 pp), debiera generar una disposición a pagar no menor de 2 soles mensuales por vivienda, considerando que por reducir 62 pp se pagaría 12 soles.

Este valor se multiplica por el número de hogares que serán beneficiarios del proyecto en su ámbito de influencia. El cuadro siguiente muestra el valor económico total por tratar las aguas residuales y evitar afectarse con enfermedades vinculadas predominantemente a EDA o IRA.

Cuadro 8: Valor económico por evitar enfermarse en Cajamarca

DAP en Cajamarca x hogar		Población Total en el ámbito del Proyecto (4,8 per/hogar)	Número hogares	Valor anual por TAR
Mensual	Anual			
2	24	291 079	60 641	1 455 384

6.2.2. DAP en el Cusco por evitar enfermarse predominantemente de EDA e IRA como consecuencia del TAR.

Los resultados de la estimación de ambos modelos los mostramos en el siguiente cuadro:

Variables	Modelo1 denfermedad	Modelo2 denfermedad
gastoenfermo	0,00457*** (0,000118)	0,00416*** (0,000123)
ingresos	-2,89e-05*** (2,28E-06)	-3,25e-05*** (2,55E-06)
ptar	-0,155*** (0,014)	-0,224*** (0,0166)
niveledu	-0,0425*** (0,00235)	-0,0479*** (0,00267)
tiempoviajem	0,0590*** (0,00145)	0,0561*** (0,00164)
Constant	0,154*** (0,0154)	0,245*** (0,0186)
Observations	49,664	38,061

Notes_Titles

Standard errors in parentheses

*** p<0,01, ** p<0,05, * p<0,1

Para ambos modelos los signos son los esperados y los coeficientes son altamente significativos. El tratamiento de las aguas residuales disminuye la probabilidad de contraer enfermedades vinculadas predominantemente a EDA o IRA. Las personas con mayor ingreso y mayor nivel educativo tienen menor propensión a enfermarse, mientras que las personas que ocupan más tiempo en llegar a su centro de salud, tienen mayor propensión a enfermarse. Por otra parte, es importante mencionar que no hay evidencia de endogeneidad en las variables dependientes puesto que no se logra rechazar la hipótesis nula de exogeneidad de un modelo *probit* bivariado.

La función de valor para el Cusco que genera la mínima DAP, proveniente del modelo 1, es:

$$\text{Pr}(\text{eda-ira})^1 = 0,2445 + 0,0041*\text{gas} - 0,00003*\text{ing} - 0,2242*\text{ptar} - 0,0479*\text{edu} + 0,0561*\text{tvr}$$

El efecto marginal de tratar las aguas residuales sobre la reducción de la probabilidad de contraer enfermedades vinculadas predominantemente a EDA o IRA, en el ámbito en que las empresas prestadoras realizan sus descargas, es de 7 puntos porcentuales cuando se alcanza el 100 % de tratamiento en las localidades que son atendidas por empresas prestadoras.

Para un nivel de prevalencia cercano a cero, la disposición a pagar no marginal de los hogares sería de 46 soles mensuales. Este valor se interpreta, según la teoría presentada en la sección metodológica, como el ahorro en gastos y esfuerzo de los hogares en acciones de prevención y de mitigación para evitar afectarse de enfermedades vinculadas predominantemente a EDA o IRA.

Este valor se obtiene de reemplazar los valores medios de las variables dependientes del Cusco en la siguiente función de valor:

$$DAP = - [0,2445 - 0,00003*(ing) - 0,2242*ptar - 0,0561*edu + 0,0561*tvr] / [0,0041]$$

Los valores medios de las variables dependientes de la función de valor son:

eda	gas	ing	Tar	edu	tvr
0,35	13,20	2387	0,827	5,99	1,47

Para el caso de la ciudad del Cusco, con una incidencia de enfermedades vinculadas predominantemente a EDA o IRA del 35 %, reducir la probabilidad de contraer estas enfermedades a 25 % (es decir -10 pp), considerando que su DAP por todo tipo de gasto y esfuerzo (realizado por prevenir o mitigar las enfermedades de origen hídrico) es de 46 soles, debiera generar una disposición a pagar no menor de 13 soles mensuales por vivienda (considerando que por reducir 35 % pp (es decir llevar la prevalencia a cero) se pagaría 46 soles).

Finalmente, este valor se multiplica por el número de hogares que serán beneficiarios del proyecto en su ámbito de influencia. El cuadro siguiente muestra el valor económico total por tratar las aguas residuales y evitar afectarse de enfermedades vinculadas predominantemente a EDA o IRA.

Cuadro 9: Valor económico por evitar enfermarse en el Cusco

DAP en el Cusco x hogar		Población total en el ámbito del proyecto (4,5 per/hogar)	Número hogares	Valor anual por TAR
Mensual	Anual			
13	156	415 990	92 442	14 420 952

6.3. Evaluación económica

La evaluación económica de la implementación de los proyectos PTAR Cajamarca y PTAR Cusco, considerando solamente los beneficios económicos que se generan al evitar las afectaciones a la salud por la exposición directa de la población a las aguas residuales que se encuentran en el ámbito de influencia de los vertimientos de estas dos ciudades, consiste en cuantificar estos beneficios, y contrastarlos con los costos

de inversión y, de operación y mantenimiento de estas PTAR, representadas por las obligaciones financieras que asumirá el Estado, por la inversión, y las EPS, por la operación y mantenimiento, con los ingresos generados por las tarifas de saneamiento.

Nuestro interés por esta evaluación es conocer en qué medida los beneficios calculados en la sección previa, tendrían la capacidad de cubrir las obligaciones financieras en las cuales incurrirían el Estado y las empresas prestadoras con el concesionario, de ejecutarse estos proyectos; dejando en claro que estos beneficios no son los únicos que se obtendrían de tratar las aguas residuales. Otros beneficios son: el de evitar su afectación por la ingesta de alimentos regados con aguas residuales, la mejora en la belleza paisajística, el aumento del valor predial, del turismo y de la actividad económica, la reducción de la mortalidad, entre los principales

Como se indicó en la sección metodológica, los beneficios económicos de los proyectos PTAR Cajamarca y PTAR Cusco por evitar la exposición directa de la población a las aguas residuales, están referidos a los costos económicos que se evitan al Estado y a la población asentada en el ámbito de influencia de los vertimientos de las aguas residuales. El principal costo que se evita al minimizar o reducir la exposición a las aguas residuales, es el costo en salud.

En este estudio hemos cuantificado los costos económicos que se generan por la prevalencia de anemia y de enfermedades vinculadas predominantemente a las enfermedades diarreicas agudas e infecciones respiratorias agudas, derivadas.

El siguiente cuadro muestra los beneficios generados por los proyectos PTAR Cajamarca y PTAR Cusco, calculados en la sección previa:

Concepto de beneficio	Beneficios anuales PTAR Cajamarca	Beneficios anuales PTAR Cusco
Costo evitado por anemia (cognitiva, escolaridad, productividad)	20 998 161	60 210 353
Costo evitado al Estado por anemia (partos prematuros, pérdida año)	5 696 161	8 376 165
DAP por evitar aguas residuales (minimizar enfermarse)	1 455 395	14 420 987
Total	27 849 717	83 007 505

Por otro lado, los costos económicos de inversión y de operación y mantenimiento de los proyectos PTAR Cajamarca y PTAR Cusco que serían asumidos por el Estado y por las EPS a través del pago de las obligaciones financieras con el concesionario, por estos dos conceptos, se muestran a continuación.

Concepto de costos	Costos anuales PTAR Cajamarca	Costos anuales PTAR Cusco
Costo vinculado a retribuir la operación y mantenimiento	42 000 000	35 303 000
Costo vinculado a retribuir la inversión	38 000 000	28 843 200
Total	81 000 000	64 146 200

El método utilizado en la evaluación económica es el método del Valor Actual Neto (VAN) que consiste en traer a valor presente la diferencia entre el flujo proyectado de “beneficios económicos del proyecto” (costos evitados de los proyectos PTAR Cajamarca y PTAR Cusco) y los “costos del proyecto” (suma de obligaciones

financieras del Estado y de las EPS con el concesionario), a una determinada tasa social de descuento.

Considerando diferentes escenarios para el periodo de evaluación y para la tasa de descuento, obtenemos los siguientes VAN del proyecto:

Escenario de evaluación	n = periodo i = tasa dscto	VAN PTAR Cajamarca	VAN PTAR Cusco
Cubriendo todas las obligaciones.	Para cualquier "n" e "i"	< 0	> 0
Cubriendo solo las obligaciones de inversión.	n > 25; i > 0; Benef. año 1	> 0	> 0
Cubriendo solo las obligaciones de inversión.	n > 30; i = 0; Benef. año 10	> 0	> 0

Del resultado de la evaluación económica del proyecto PTAR Cajamarca podemos señalar lo siguiente:

Los "beneficios económicos" calculados del proyecto por evitar la exposición directa de la población a las aguas residuales, identificados y cuantificados en este estudio, en valor presente, pueden cubrir las obligaciones que tiene el Estado por la inversión en la PTAR, pero no las obligaciones financieras que tiene la EP Sedacaj por la operación y mantenimiento, inclusive alargando el periodo de evaluación y considerando una tasa de descuento igual a cero. Estas obligaciones requerirían un incremento tarifario importante.

El resultado obtenido es muy importante, porque muestra que el cofinanciamiento que otorgaría el MEF, a través del MVCS es necesario y está bien justificado, porque su retorno en términos de bienestar económico es positivo. Además de lo indicado, las cifras muestran que existe justificación para que este cofinanciamiento sea mayor.

No obstante, el resultado obtenido, hemos identificado las siguientes condiciones que contribuirían a cubrir todas las obligaciones del proyecto, para un periodo de evaluación de 45 años.

1. Una reducción en la prevalencia de anemia de 25 puntos porcentuales, y no de 19 puntos porcentuales, con lo que se generaría un incremento en los beneficios de aproximadamente 5 millones de soles.
2. Un incremento en la tarifa de saneamiento de S/ 0,5 por metro cúbico, cuyo flujo de aproximadamente 5 millones de soles, se agregaría al flujo de beneficios del proyecto.
3. Un nivel de OPEX de 15 millones de soles a partir del año 25.
4. Una tasa social de descuento de 0 %, considerando que no es adecuado descontar los beneficios que se generan en el futuro sobre la salud de las personas a consecuencia de la mejora ambiental, dado los efectos acumulativos que tienen.
5. Generación de beneficios a partir del segundo o tercer año de operación.

Existen más beneficios económicos, no cuantificados en este estudio, derivados de la mejora de la calidad ambiental, que contribuirían a implementar la política pública de manera más rápida y eficiente.

Del resultado de la evaluación económica del proyecto PTAR Cusco podemos señalar lo siguiente:

Los “beneficios económicos” calculados del proyecto para evitar la exposición directa de la población a las aguas residuales, pueden cubrir todas las obligaciones, tanto las que tiene el Estado por la ejecución de la inversión de la PTAR como las obligaciones financieras que tiene la EP Sedacusco por la operación y mantenimiento.

El resultado obtenido revela que el cofinanciamiento que otorgaría el MEF, a través del MVCS, es necesario y está bien justificado, porque su retorno en términos de bienestar es positivo. Además, las cifras muestran que existe justificación para que este cofinanciamiento sea mayor, e inclusive pueda cubrir las obligaciones por operación y mantenimiento.

Suponiendo que el beneficio ambiental generado por el tratamiento de las aguas residuales y su impacto sobre la salud de las personas, tiene lugar 10 años después de la entrada en operación de la ampliación de la PTAR, justamente considerando que los efectos ambientales son de largo plazo y acumulativos; y asumiendo una tasa de descuento igual a cero para un horizonte de 25 o de 30 años de evaluación, el VAN resulta siendo positivo. Por lo expuesto, el proyecto es altamente beneficioso para la población de la ciudad del Cusco. Este resultado se muestra en el siguiente cuadro:

CAPACIDAD DE LOS “BENEFICIOS EN SALUD” DE CUBRIR LOS COSTOS DE PTAR CUSCO						
Años	RPI ESTADO	RPMO EPS	Costo Total	Costo Total (sin IGV)	Beneficios (Bienestar)	Beneficio Neto 8,919,574
(n=30 i=0%)						
1	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0
4	35,303,000	25,871,000	61,174,000	51,842,373	0	- 51,842,373
5	35,303,000	25,871,000	61,174,000	51,842,373	0	- 51,842,373
6	35,303,000	26,453,000	61,756,000	52,335,593	0	- 52,335,593
7	35,303,000	26,647,000	61,950,000	52,500,000	0	- 52,500,000
8	35,303,000	26,847,000	62,150,000	52,669,492	0	- 52,669,492
9	35,303,000	27,447,000	62,750,000	53,177,966	0	- 53,177,966
10	35,303,000	27,447,000	62,750,000	53,177,966	0	- 53,177,966
11	35,303,000	28,064,000	63,367,000	53,700,847	0	- 53,700,847
12	35,303,000	28,270,000	63,573,000	53,875,424	0	- 53,875,424
13	35,303,000	28,482,000	63,785,000	54,055,085	0	- 54,055,085
14	35,303,000	29,118,000	64,421,000	54,594,068	83,007,505	28,413,437
15	35,303,000	29,118,000	64,421,000	54,594,068	83,007,505	28,413,437
16	35,303,000	29,774,000	65,077,000	55,150,000	83,007,505	27,857,505
17	35,303,000	29,992,000	65,295,000	55,334,746	83,007,505	27,672,759
18	35,303,000	30,217,000	65,520,000	55,525,424	83,007,505	27,482,081
19		30,892,000	30,892,000	26,179,661	83,007,505	56,827,844
20		30,892,000	30,892,000	26,179,661	83,007,505	56,827,844
21		31,587,000	31,587,000	26,768,644	83,007,505	56,238,861
22		31,818,000	31,818,000	26,964,407	83,007,505	56,043,098
23		32,057,000	32,057,000	27,166,949	83,007,505	55,840,556
24		28,843,200	28,843,200	24,443,390	83,007,505	58,564,115
25		28,843,200	28,843,200	24,443,390	83,007,505	58,564,115
26		28,843,200	28,843,200	24,443,390	83,007,505	58,564,115
27		28,843,200	28,843,200	24,443,390	83,007,505	58,564,115
28		28,843,200	28,843,200	24,443,390	83,007,505	58,564,115
29		28,843,200	28,843,200	24,443,390	83,007,505	58,564,115
30		28,843,200	28,843,200	24,443,390	83,007,505	58,564,115

7. Conclusiones

- De los beneficios que genera el acceso a los servicios de agua potable y saneamiento, el más importante es el de evitar el deterioro de la salud. El acceso a los servicios de agua potable y saneamiento evita que la población contraiga diversas enfermedades de origen hídrico (como anemia, desnutrición, EDA, IRA, hepatitis, etc.), y que se aceleren otras de tipo crónico, ya sea por el contacto directo con el cuerpo contaminado o por el consumo de alimentos regados con aguas residuales.
- En este trabajo hemos encontrado resultados muy relevantes concentrándonos solamente en los beneficios asociados a la disminución en la prevalencia de anemia, de enfermedades diarreicas y de infecciones respiratorias agudas. Existen otros beneficios derivados del tratamiento de las aguas residuales.
- Se ha demostrado que las enfermedades de origen hídrico repercuten en el gasto y en la generación de ingresos, tanto en el presente como en el largo plazo. Sin embargo, la población no percibe, necesariamente, todos los riesgos que implica no tener acceso a agua segura y saneamiento adecuado.
- Se ha cuantificado la mejora en el bienestar de la población del ámbito de influencia de los vertimientos de aguas residuales en Cajamarca y también en el Cusco, como consecuencia del tratamiento de las aguas residuales. Los beneficios obtenidos se expresan a través de los costos que se evitarían al tratar las aguas residuales y no impactar de manera directa en la salud de las personas. Así, el beneficio total per cápita en Cajamarca asciende a 96 soles anuales, y en el Cusco a 199 soles anuales; solamente evitándose la ocurrencia de las enfermedades antes mencionadas.
- Los resultados muestran el gran impacto que tiene para la salud de las personas no tratar las aguas residuales.
- Además, estos beneficios muestran, por su magnitud, su capacidad para cubrir las obligaciones financieras derivadas de su construcción y de la operación de las plantas de tratamiento de aguas residuales. Con estos resultados, se puede hacer incidencia en las entidades vinculadas al proceso de promoción de la inversión privada, con el propósito de innovar mecanismos financieros.
- Los resultados obtenidos serían los primeros que vinculan la incidencia del tratamiento de las aguas residuales sobre la prevalencia de anemia y sobre la prevalencia de enfermedades de origen hídrico como las EDA e IRA, utilizando la Endes y la Enaho.
- Por su magnitud, los resultados muestran que tanto los costos por no tratar las aguas residuales, como los beneficios por tratarlas, deben ser tomados en cuenta en el diseño de la política pública.

8. Recomendaciones y agenda pendiente

- En el marco del proceso de promoción de la inversión privada, y, en el contexto del crecimiento acelerado de las ciudades, de la contaminación de los cuerpos de agua por vertimiento de aguas residuales, y del impacto que esto genera en la salud de las personas, es necesario alertar sobre las consecuencias de no acelerar el proceso de adjudicación y de ejecución de proyectos para el tratamiento de las aguas residuales. También se deben evaluar las consecuencias de tomar un largo periodo de tiempo para justificar, desde las finanzas públicas, la viabilidad de estos proyectos, cuando es posible demostrar con pocos datos, pero bien fundamentados, los impactos que se genera sobre la salud de las personas y sobre el crecimiento económico.
- Por los resultados obtenidos, se recomienda realizar estudios con información primaria generada en el ámbito de influencia de los proyectos que se encuentran en el proceso de promoción de la inversión privada, a través de la aplicación de un cuestionario estructurado, con el propósito de lograr estimaciones más precisas y de mayor impacto que las estimadas en este estudio.
- Finalmente, se recomienda diseñar un instrumento financiero público-privado que permita capturar los beneficios que se obtienen a lo largo del tiempo y que a partir de ello se puedan mejorar las condiciones de financiamiento de los proyectos de APP.
- Centrándonos en la evaluación económica de los proyectos APP del sector Saneamiento, objetivo de este estudio, la agenda de investigación pendiente del sector la hemos dividido en tres partes. La primera tiene que ver con la oferta y los costos asociados para brindar el servicio, la segunda detalla los beneficios y la disponibilidad a pagar de los usuarios de los servicios, y la tercera parte está referida a la mejora de los esquemas tarifarios y de financiamiento para cumplir con las obligaciones financieras a las que se haya comprometido el prestador y/o el concedente.
- Por el lado de la oferta es importante definir o dimensionar el tamaño y los costos de un proyecto APP, así como también las diferentes posibilidades de agrupar localidades para brindar los servicios de saneamiento aprovechando las economías de escala y el ámbito. Con este análisis se podría promocionar nuevos proyectos que sean más eficientes en costos al aprovecharse las economías de escala y de ámbito.
- Para evaluar si las APP pueden abarcar más de una localidad, es importante analizar el tamaño de la prestación y los costos eficientes, considerando que actualmente el sector presenta una gran atomización. Los temas de investigación serían:

- ✓ Estimación de funciones de costos técnico-eficientes de los procesos de tratamiento y abastecimiento de agua potable bajo un enfoque territorial, que optimicen los sistemas y procesos que intervienen en la cadena de valor de la prestación de abastecimiento de agua potable en un determinado espacio, incluyendo las fuentes. De esta manera, se puede determinar, en base a la escala eficiente de producción, el “área de prestación de servicios”, de acuerdo a lo establecido en el DL 1620.
 - ✓ Estimación de funciones de costos técnico-eficientes de los procesos de recolección y tratamiento y de reuso de aguas residuales, bajo un enfoque territorial, buscando optimizar los sumideros y los sistemas; y los procesos de reutilización de las aguas residuales en un espacio determinado, para establecer, en base a la escala eficiente de producción, el “área de prestación de servicios” de acuerdo a lo establecido en el DL 1620.
 - ✓ Determinación de la escala eficiente de la prestación de los servicios de saneamiento sin restricción de los límites políticos provinciales o regionales, de acuerdo a lo establecido en el DL 1620.
 - ✓ Simulación del proceso de integración de prestadores de diferente tipo y tamaño, considerando los incentivos sectoriales así como los niveles de calidad del servicio y un proceso de gradualidad tarifaria.
- Por el lado de la demanda, es importante cuantificar la capacidad de pago y la disposición a pagar de los usuarios por los diferentes servicios de saneamiento, así como por los diferentes atributos que tiene cada uno de estos servicios, considerando los servicios ecosistémicos hídricos asociados. Con este análisis se podría justificar nuevos incrementos tarifarios que permitan cubrir las obligaciones de las empresas prestadoras con los concesionarios.
 - Para evaluar si la población tiene disposición a pagar más de lo que actualmente paga, identificando mejoras en determinados atributos de la prestación, los temas de investigación serían:
 - ✓ Identificación y valoración de los “diferentes” beneficios que genera a la población los servicios de abastecimiento de agua potable y de recolección y tratamiento de aguas residuales y de reuso; y diferenciarlos.
 - ✓ Identificación de los mecanismos financieros que permiten internalizar el valor económico de los beneficios que genera el acceso al agua potable, recolección y tratamiento de aguas residuales, como, por ejemplo, beneficios en salud y en educación, en los instrumentos de financiamiento privado y en las finanzas públicas.
 - ✓ Identificación y valoración de los atributos de los servicios de abastecimiento de agua potable y de recolección y tratamiento de aguas residuales que sean preferidos por los usuarios, con el propósito de diseñar contratos de

concesión que incluyan los niveles preferidos de calidad del servicio y, a partir de ello, diseñar una estrategia para la aplicación de incrementos tarifarios necesarios para lograr la viabilidad financiera de la concesión.

- Para evaluar si se puede mejorar la estructura tarifaria, diferenciando las tasas entre quienes pueden pagar más y quienes pueden pagar menos, los temas de investigación serían los siguientes:
 - ✓ Diseño de un esquema tarifario de corto y de largo plazo para el cierre de brechas de infraestructura, que contribuya a atraer financiamiento privado y mitigue el riesgo de no pago de las obligaciones financieras.
 - ✓ Diseño de una estructura tarifaria óptima en base a la evaluación de la estructura tarifaria actual con el objetivo de generar los ingresos necesarios para cubrir los costos del servicio y desincentivar el consumo elevado, evaluando el actual esquema de subsidios cruzados, en el marco de lo establecido en el DL 1620.
 - ✓ Diseño de un mecanismo para la gestión del Fondo de Inversión en Agua y Saneamiento (FIAS) que permita financiar rápidas mejoras de gestión en las empresas prestadoras, previo al ajuste de tarifas, allí donde no es posible lograr ganancias de eficiencia sin incrementar las tarifas. Y, además, que desincentive la acumulación de recursos provenientes de la tarifa, por parte de las empresas prestadoras, sin que sean utilizados.
 - ✓ Evaluación de diferentes sistemas de abastecimiento de agua con el propósito de identificar las posibles ganancias de eficiencia antes de incrementar las tarifas de agua, de modo que se pueda quebrar el círculo vicioso existente entre bajas tarifas y baja calidad del servicio, y entre participación privada e incremento de tarifas.

9. Referencias bibliográficas

- Ahn, J. *et al.* (2020). Social benefits of improving water infrastructure in South Korea: upgrading sewage treatment plants. *Environmental Science and Pollution Research*: January 2020, 27.
- Alcázar, Lorena (2012). Impacto económico de la anemia en el Perú. Grade. Acción Contra el Hambre.
- Ardila, Sergio (1993). Guía para la utilización de modelos econométricos en aplicaciones del método de valoración contingente. *Environment Division Working Paper* ENP-101. Washington, D. C.: Inter-American Development Bank.
- Bartik, T. J. (1988). Evaluating the benefits of non marginal reductions in pollution using information on defensive expenditures. *Journal of Environmental Economics and Management*. Vol 15. Pp. 111-127.
- Abdalla, Charles *et al.* (1992). Valuing environmental quality changes using averting expenditures: an application to groundwater contamination. *Land Economics*. May 1992. 68(2): 163-69
- Courant, P. and Porter, R. (1981). Averting expenditures and the cost of pollution, *J. Environ. Econom. Management* 8, 321-29.
- Cropper, M. L. (1981). Measuring the benefits from reduced morbidity. *American Economic Association Papers and Proceedings* 71 (2): 235-240.
- Freeman III, M. (1993). The measurement of environmental and resource values, theory and methods. Resources for the Future, Washington, D. C.
- Hanemann, W. M. (1984). Welfare evaluations in contingent valuation experiments with discrete responses. *Amer. J. Agri. Econom.* 66, 332-341.
- Harrington, W. and Portney, P. (1987). Valuing the benefits of health and safety regulation, *J. Urban Economics*. 22: 101-112.
- Jamil, Faisal *et al.* (2021). Valuing health loss in Karachi city from water contamination and household defensive behavior. *Water Economics and Policy*. Vol 8 N.º 1 (2002).
- Kontogianni, A. *et al.* (2003). Social preferences for improving water quality: an economic analysis of benefits from wastewater treatment. *Water Resources Management*. Oct 2003, 17.
- Martínez, R. y Fernández, A. (2006). Modelo de análisis del impacto social y económico de la desnutrición infantil en América Latina. Santiago de Chile: Cepal.
- Mi-Jung Um *et al.* (2002). Estimating willingness to pay for improved drinking water quality using averting behavior method with perception measure. *Environmental and Resources Economics* 21: 287-302, (2002).
- Nil Adote, Abrahams *et al.* (2000). Joint production and averting expenditure measure of willingness to pay: do water expenditures really measure avoidance costs? *American Journal of Agriculture Economics*, 82 (May 2000) 427-437.
- Ortiz-Correa *et al.* (2016). Impact of access to water and sanitation services on educational attainment. *Water Resources and Economics*. Vol. 14. April 2016.
- Loyola, R. y Soncco, C. (2006). Valoración económica del efecto en la salud por el cambio en la calidad del agua en zonas urbano marginales de Lima y Callao. CIES. 2006.
- Pollit, E. (1983). Iron deficiency anemia and cognitive test performance in pre-school children. *Nutrition and Behavior*, N.º 1: 137-146.

- Pscharopoulos, G. y Vélez, E. (1992). Schooling, ability and earnings in Colombia, 1988. *Economic Development and Cultural Change*, N.º 40: 629-643.
- Ross, J. y Horton, S. (1998). Economic consequences of iron deficiency. Ottawa: The Micronutrient Initiative.
- Scholl, T. O., Hediger, M. L., Fisher, R. L. y Shearer, J. W. (1992). Anemia vs iron deficiency: increased risk of preterm delivery in a prospective study. *American Journal of Clinical Nutrition* 55, N.º 5: 985-988.
- Tudela y Rodríguez (2017). Estimación de beneficios económicos por el mejoramiento del sistema de tratamiento de aguas residuales en la ciudad de Puno (Perú). *Revista Desarrollo y Sociedad*. Segundo Semestre 2017 pp. 189-237.
- Yamada, G. y Castro, J. F. (2010). Educación superior e ingresos laborales: estimaciones paramétricas y no paramétricas de la rentabilidad por niveles y carreras en el Perú. Documento de discusión. Centro de investigación de la Universidad del Pacífico.
- Yañez, M. (2007) Costos de enfermedad asociados a la contaminación de la Ciénaga de la Virgen de Cartagena de Indias. Tesis magister en economía del medio ambiente y los recursos naturales. Universidad de los Andes. Colombia.

PRO INVERSIÓN

PRO INVERSIÓN

Av. Enrique Canaval Moreyra 150
Piso 9, San Isidro
Lima 27 / PERÚ
T: +51 1 200 1200 Anx 1201
F: +51 1 221 2931



www.investinperu.pe

