



Modelo de regresión multinomial para el análisis de cobertura de servicios agua y saneamiento en escenarios rurales de América Latina

Multinomial regression model for the analysis of water and sanitation services coverage in rural Latin American setting

Carlos Felipe URAZÁN Bonells [1](#); María Alejandra CAICEDO Londoño [2](#)

Recibido: 18/01/2018 • Aprobado: 15/02/2018

Contenido

[1. Introducción](#)

[2. Metodología](#)

[3. Resultados](#)

[4. Conclusiones](#)

[Referencias bibliográficas](#)

RESUMEN:

Los resultados de las Metas del Milenio a 2015 evidencian la extensión de las redes de servicios públicos rurales en América Latina; siendo cobertura en saneamiento la que permite establecer un modelo explicativo para la región. A partir de 1990 los modelos establecen dependencia con cobertura de agua, población rural y economía. Para el año 2000 solo se correlaciona con cobertura de agua potable, pero a partir del 2015 se vuelve a un modelo que cobija las 3 variables explicativas.

Palabras-Clave: Abastecimiento de agua, Desarrollo rural, Metas del milenio, Saneamiento.

ABSTRACT:

The results of the 2015 Millennium Goals make clear the extension of rural public service networks in Latin America; being sanitation coverage the one that allows to establish an explanatory model for the region. Starting in 1990, the models sets up a dependence on water coverage, rural population and economy. For the year 2000, model only correlates with drinking water coverage, but from 2015 onwards, it returns to a model that covers the three explanatory variables

Keywords: Water supply, Rural development, Millennium goals, Sanitation

1. Introducción

Los Objetivos del Desarrollo Sostenible ODS apuntan a nivel mundial, y por tanto para latinoamerica (objeto de estudio del presente artículo) a una agenda con miras al año 2030 en pro de un desarrollo sostenible, interpretado como la conjunción del crecimiento económico, la inclusión social y la sostenibilidad ambiental (PNUD, 2017). Entre los 17 objetivos, el número 6 "agua limpia y saneamiento" busca garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible, al igual que saneamiento para todos. En el portal web de la Organización de las Naciones Unidas ONU se menciona que para el año 2015 cerca del 90% de la población mundial utilizaba fuentes mejoradas de agua y cerca de dos tercios utilizaba instalaciones de saneamiento mejoradas; y que en ambos casos las personas carentes de acceso a los servicios residían principalmente en zonas rurales (ONU, 2018).

Años atrás, al cierre del año 2012, la región latinoamericana registraba 167 millones de personas en situación de pobreza, cifra equivalente al 28.8% de la población, y eran 70 millones de personas (12%) que califican en extrema pobreza, y esa pobreza extrema alcanzaba al 30% de la población que habita las zonas rurales (CEPAL, 2015). En respuesta a intentar disminuir esa condición de pobreza a

nivel mundial, los países miembros de la ONU establecieron en el año 2000 los Objetivos del Milenio ODM en pro de mejor calidad de vida de aproximadamente 100 millones de personas que habitaban sectores informales.

Esos sectores informales o "slums" son definidos por UNHABITAT como un lugar específico, si más de la mitad de sus habitantes carece en sus hogares de: agua mejorada, saneamiento mejorado, área suficiente en su vivienda, vivienda con materiales duraderos, seguridad de la tenencia, o una combinación de lo anterior (Nuisl y Heinrich, 2013). El término slums también es referido al escenario rural, como en Ramírez y Villarejo, 2012.

Como queda expuesto en los renglones anteriores, una condición adecuada en la provisión de cobertura de los servicios de agua y saneamiento es factor indispensable para superar la pobreza. El Departamento Nacional de Planeación DNP (2018) expone en su portal web que "El sector de agua y saneamiento es fundamental dado que contribuye en forma determinante en la calidad de vida de la población, por causa del mejoramiento de las condiciones de salubridad y el desarrollo económico de las regiones".

La importancia del agua en las zonas rurales es reseñada por Frutos (2006) como un elemento multifuncional que no solo es aprovechada en sus usos primarios como agricultura y ganadería, sino que ha de explotarse su potencial en actividades industriales, de producción energética y turística.

En el caso colombiano "el 32% de los colombianos son pobladores rurales, y en las tres cuartas partes de los municipios, cuya área ocupa la mayoría del territorio nacional, predominan relaciones propias de sociedades rurales", y el agua potable, infraestructura y saneamiento figuran entre los indicadores socioeconómicos que ponen en evidencia su vulnerabilidad (PNUD, 2011).

Más recientemente, el gobierno colombiano estableció que la Reforma Rural Integral "Busca la erradicación de la pobreza rural extrema y la disminución en un 50 % de la pobreza en el campo en un plazo de 10 años, la promoción de la igualdad, el cierre de la brecha entre el campo y la ciudad, la reactivación del campo y, en especial, el desarrollo de la agricultura campesina, familiar y comunitaria". Esa Reforma Rural Integral cuenta entre sus estrategias la protección de áreas de interés especial como fuentes de agua y humedales, de manera compatible con las alternativas económicas de las comunidades. También busca garantizar el acceso a acueductos veredales y al mejoramiento de la calidad de vivienda en el campo (Alto Comisionado para la Paz, 2013).

El efecto de ampliar la cobertura de los servicios de agua y saneamiento está ligado al déficit de vivienda. En el escenario rural colombiano el déficit general de vivienda rural ha mejorado desde 1993 a 2016 al descender de 78.8% a 55.3%; cifras de las cuales un 6.9% y 2.98% corresponden, respectivamente, a déficit cualitativo (DNP, 2018a). La reducción del déficit de vivienda se explica en parte por el aumento en la disposición de subsidios estatales para vivienda rural, los cuales han aumentado entre el año 2000 y 2014 de 12.345 a 29.776 adjudicaciones (DNP, 2018b).

1.1. Cumplimiento de los ODM a 2015 en América Latina

Urazán y Caicedo (2016) expone la tendencia de cumplimiento de los ODM a 2015 en una muestra de países latinoamericanos, similar a la del presente documento. Se aclara que si bien ha habido mejora en la cobertura poblacional de los servicios de abastecimiento de agua y saneamiento básico en la región, el sector rural se presenta en desventaja frente al urbano. También indica que el comportamiento regional se aprecia en 3 grupos de países: los de mayor población rural (México y Brasil) lograron cumplir la meta en agua, pero Brasil no lo hace en saneamiento debido posiblemente a una demanda un 30% mayor. El segundo grupo con más población rural (Colombia, Perú, Guatemala y Ecuador) logró la meta en cobertura de saneamiento en dos países (Colombia y Ecuador), mientras que los otros dos países lo hicieron en agua. En el tercer grupo (Bolivia, República Dominicana, Nicaragua, Argentina, Paraguay, Chile y El Salvador) Argentina, Chile, República Dominicana y Paraguay lograron la meta en materia de ambos servicios; mientras que los países restantes no cumplieron en saneamiento. Finalmente concluye que una mayor cobertura poblacional de servicios de agua y saneamiento depende principalmente de la demanda, o porcentaje de población rural. Por lo contrario, una gran cantidad poblacional a atender, disminuye la cifra de saneamiento (el servicio con menor cobertura). Los países con menor demanda tienden a cubrir ambos servicios, mientras que los países con menor condición económica tienden a no alcanzar la meta en saneamiento. Por su parte, los países con una clasificación media de población rural, cumplen con la cobertura de alguno de los dos servicios.

Vale resaltar que a diferencia del análisis expuesto en Urazán y Caicedo (2016), la presente investigación no aborda el criterio del cumplimiento de los ODM, sino que busca establecer un modelo con variables nacionales que permita inferir la tenencia en la cobertura de servicios básicos en el escenario rural de los países más relevantes económica y demográficamente en América Latina. Queda pendiente encontrar el modelo que explique las condiciones de economía, demografía y cobertura de

servicios que se correlacionan con el cumplimiento de los ODM a 2015, y la tendencia de esos mismos indicadores que no facilitaron cumplir las metas establecidas. Es importante añadir que cada país ha fijado sus metas de cobertura en función de sus posibilidades, no todas las metas apuntan al 100%.

2. Metodología

La presente investigación se desarrolló con registros tomados de la base de datos CEPALSTAT de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe CEPAL, división de las Naciones Unidas (ONU). El emplear una sola base de datos da confianza en la unificación de criterios en los indicadores empleados.

La muestra de países analizada corresponde a 19 naciones consideradas las más representativas de la región: Argentina, Bolivia, Brasil, Chile, Colombia, Costa Rica, Ecuador, El Salvador, Guatemala, Honduras, Jamaica, México, Nicaragua, Panamá, Paraguay, Perú, República Dominicana, Uruguay y Venezuela.

El objetivo principal es encontrar modelos multilineales que explicaran el logro de una mayor cobertura poblacional (%) de agua segura y saneamiento básico en la región, a partir de la condición demográfica, situación económica y la demanda inmediata en sectores de menos recursos económicos.

Para ello se tomó información de los siguientes indicadores de la CEPALSTAT:

- Proporción de la población que utiliza fuentes mejoradas de abastecimiento de agua potable, por área rural.
- Proporción de la población que utiliza instalaciones de saneamiento mejoradas, por área rural.
- Población rural.
- Producto interno bruto (PIB) total anual por habitante a precios constantes en dólares.

Las cifras empleadas en el estudio son las más recientes de la base de datos, para el año 2015 (tabla 1).

Tabla 1

Valores de los indicadores empleados para modelar el comportamiento de la cobertura poblacional del servicio de saneamiento en el sector rural al corte del año 2015.

País	saneamiento	población	PIB	agua
Argentina	81,9	4017	8255,6	81,3
Bolivia (Estado Plurinacional de)	17,9	3169	1625,7	55,1
Brasil	39,6	32969	8793,0	75,7
Chile	69,3	2144	9821,2	67,8
Colombia	86,8	10611	4764,1	71,0
Costa Rica	54,9	1611	6184,7	88,8
Ecuador	42,4	5003	3678,9	67,3
El Salvador	39,0	2531	3019,7	65,0
Guatemala	51,9	6424	2542,9	75,9
Honduras	82,2	3560	1693,0	69,5
Jamaica	51,2	1244	4161,9	88,9
México	39,0	25549	8611,9	73,0
Nicaragua	46,7	2253	1315,5	60,1
Panamá	50,7	1143	5444,7	75,9
Paraguay	29,6	2278	2694,8	51,6
Perú	67,2	7011	3310,2	54,0
República Dominicana	84,3	3277	3896,2	78,2
Uruguay	56,0	289	8672,3	77,0
Venezuela (República Bolivariana de)	88,3	2937	7281,9	72,5

Fuente: los autores, cifras CEPALSTAT.

Nota: Los indicadores corresponden a:

Saneamiento: Proporción de la población que utiliza instalaciones de saneamiento mejoradas, por área rural.

Población: Población rural, en miles.

PIB: Producto Interno Bruto total anual por habitante a precios constantes en dólares.

Agua: Proporción de la población que utiliza fuentes mejoradas de abastecimiento de agua potable, por área rural.

El planteamiento de los modelos que se quiere establecer se realizó por medio de correlaciones múltiples lineales. Para dar validez a un modelo se inició verificando si el coeficiente de regresión R² ajustado es superior a 0.7.

En segunda instancia se hace lectura de cuáles de las variables explicativas tienen una fuerte relación con el resultado de la variable dependiente, para lo cual el valor "p" o p-value debe resultar igual o inferior a 0.05 (Manterola y Pineda, 2008). Si alguna variable no cumple esa condición, se descarta como variable explicativa del fenómeno y se procede a una nueva regresión aplicando solamente las que sí cumplieron. Si alguna variable no cumple esa condición, se descarta como variable explicativa del fenómeno y se procede a una nueva regresión aplicando solamente las que sí cumplieron. Es diversa la literatura estadística que enseña y ejemplifica el tipo de análisis que valida las correlaciones múltiples, como Uriel (2013) o Novales (2010).

Otro paso en la comprobación del modelo es el signo de los coeficientes de las variables explicativas. Esto depende del planteamiento de la hipótesis que soporta el modelo, y se relaciona con el hecho de si la variable independiente y la variable dependiente son directamente proporcionales o no, es decir, si se espera que al incrementarse la variable explicativa incrementa también el valor numérico de la variable independiente, el signo del coeficiente de la independiente debe ser positivo; de ser negativo la relación de aumento o descenso de las dos variables sería inversa.

Finalmente, el valor relativo de cada coeficiente en el modelo, establece el peso o participación que cada variable independiente tiene respecto al comportamiento de la variable que se está explicando.

3. Resultados

Empleando las cifras consignadas a la fecha en la CEPALSTAT se procedió a establecer modelos de regresión lineal múltiple, estadísticamente válidos, buscando una tendencia media para la región que identifique si condiciones de cantidad poblacional y de economía dan guía de una mayor o menor cobertura poblacional de agua y saneamiento a nivel nacional para los países de la muestra.

3.1. Análisis de la correlación entre PIB; servicios y población. Cifras rurales.

Al igual que en Urazán y Caicedo (2018), se aplicó la metodología ya descrita, en la cual el primer planteamiento fue que el PIB per cápita global de cada país estuviera explicado por el comportamiento de la cobertura de los servicios públicos de agua y saneamiento, y la población rural. El resultado no fue fiable por cuanto el R² resultó en 0.29, considerablemente inferior al 0.48 resultante en las cuentas nacionales (es decir, sin discriminar la información para los escenarios urbano y rural). De igual manera, los p-value resultaron altos en valor (con límites entre 0.15 para la cobertura del servicio de saneamiento y 0.29 para la cobertura del servicio de agua). Como opción alternativa (empleando las mismas variables dependiente e independientes) se replanteó el modelo con la diferencia de hacer el intercepto igual a cero en la regresión. Como resultado el R² resultó favorable (0.77), pero los p-value superaron el 0.05 recomendado como mínimo, de los cuales el valor más cercano fue para el servicio de saneamiento con 0.08. En este caso, otra particularidad que resta valor estadístico al modelo es que el coeficiente para la variable relacionada con el servicio agua resultó con valor negativo, mostrando una tendencia inversa. Esto no coincide con el planteamiento de hipótesis de que para un país con mejor economía (PIB más alto respecto a otros) debería haber una mejor cobertura poblacional del servicio de agua.

Vale aclarar que si se analizan otros artículos recientes de estructura similar como Urazán y Caicedo (2018) (en los cuales se aborda información para el escenario urbano) se incorporan la variable independiente "porcentaje de población en tugurios", la cual no está presente en el escenario rural.

En esta instancia del análisis se deduce que no hay modelo estadísticamente válido que permita exponer el impacto de tener la cobertura de servicios de agua potable y saneamiento básico, así como de población rural con la tendencia económica de un país en Latinoamérica. En Urazán y Caicedo (2018) (cuentas nacionales con datos urbanos y rurales) esta instancia del análisis permitía inferir que la variable que acompaña el comportamiento del PIB per cápita en la región es la cobertura poblacional de saneamiento.

La figura 1 permite hacer la lectura de que entre las 3 variables explicativas, saneamiento es la que comparte mayor similitud con el comportamiento del PIB en cuanto al seguimiento de picos y valles; pero es la variable agua la que tiene mayor acercamiento estadístico al registro PIB, es decir, mayor correlación; tal como se aprecia en los coeficientes del modelo (121 para agua y 86 para saneamiento, ecuación 1).

$$Y = -10004,5 + (121 * x_1) + (86 * x_2) - (0,14 * x_3)$$

Ecuación 1

Donde:

y: Proporción de la población que utiliza instalaciones de saneamiento mejoradas, por área rural.

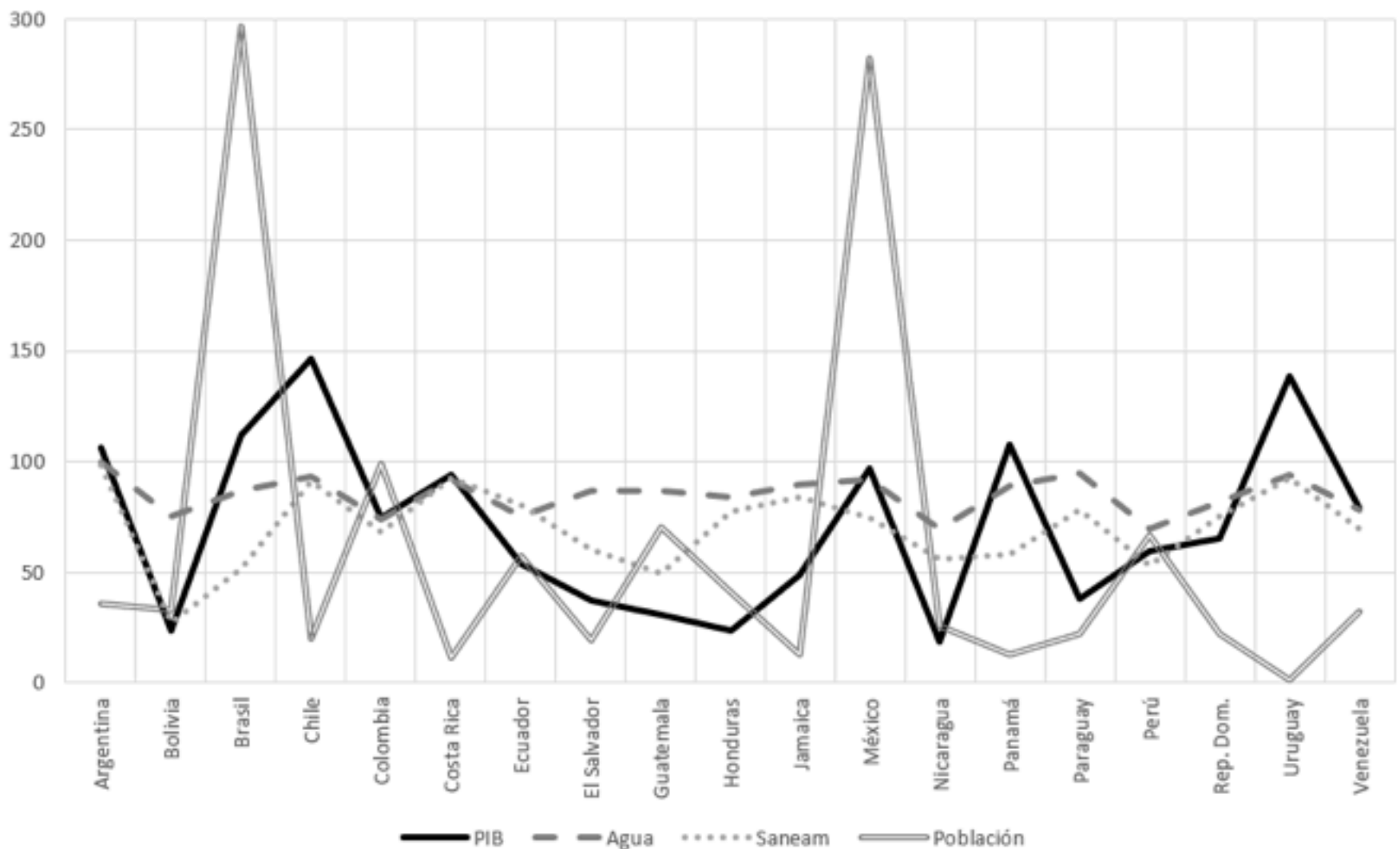
x1: Población rural.

x2: Producto Interno Bruto (PIB) total anual por habitante a precios constantes en dólares.

x3: Proporción de la población que utiliza fuentes mejoradas de abastecimiento de agua potable, por área rural.

Figura 1

Comportamiento del PIB per cápita, de la cobertura poblacional en agua y en saneamiento rural, y de la cantidad población rural. Cifras 2015.



Fuente: los autores, cifras CEPALSTAT.

Nota: La escala para el PIB per cápita general y para la población rural están en relación (1/100).

Producto Interno Bruto (PIB) total anual por habitante a precios constantes en dólares.

Proporción de la población que utiliza fuentes mejoradas de abastecimiento de agua potable, por área rural.

Proporción de la población que utiliza instalaciones de saneamiento mejoradas, por área rural.

Finalmente, no se determina la existencia de un modelo explicativo (ecuación 1) del comportamiento del PIB en función de las variables estudiadas y se procede a analizar la dependencia de la cobertura de servicios en función del PIB per cápita y la población.

3.2. Análisis de la correlación en función de la cobertura del servicio de abastecimiento de agua. Cifras rurales.

El apartado previo no dio claridad estadística respecto de la relación entre los recursos económicos de un país y la condición de cobertura de los dos servicios públicos en agua y saneamiento en zonas rurales, por lo cual se planteó un modelo que tuviese como variable dependiente la cobertura del servicio de agua en las zonas rurales y como variables independientes la cobertura del servicio de saneamiento básico, el desempeño económico (interpretado en el PIB per cápita) y la cantidad de población; todo ello con cifras del sector rural, excepto el PIB que es cuenta nacional.

El resultado presentó mala correlación de variables: el R² ajustado fue de 0.31 (con las cuentas nacionales fue 0.12) y el único p-value aceptable fue para el servicio de saneamiento (0.07), mientras que para PIB y población superaron el límite recomendado de 0.05 (0.30 y 0.70, respectivamente). Los respectivos coeficientes resultaron con valor positivo, tal como se esperaba, y el de mayor participación con tan solo un 0.30 fue para la variable independiente saneamiento.

Debido a que los resultados mencionados anteriormente no satisfacen un modelo apropiado de correlación, se planteó un nuevo modelo, con la diferencia de que el valor de la constante del intercepto en el modelo sea cero. El resultado fue muy favorable con un R2 ajustado de 0.90, pero el único p-value que no brinda confianza estadística es el de la variable PIB (0.84), y adicionalmente, su coeficiente resultó en valor negativo; lo cual es opuesto a la hipótesis planteada pues se asume que debe haber relación entre una mejor economía (mayor PIB) y una mayor cobertura poblacional del servicio de agua potable en zonas rurales. Por lo anterior, el modelo se descarta como aceptable.

Paso a seguir se estableció un nuevo modelo, pero con la diferencia de que la única variable independiente es la cobertura del servicio de saneamiento. El resultado tampoco fue positivo, pues el valor del R2 ajustado prácticamente se mantuvo, presentando un aumento de tan solo 0.31 a 0.32, y estadísticamente sigue siendo insuficiente para dar validez a la correlación. En definitiva, aunque el p-value continúa siendo inferior a 0.05, el valor arrojado por el R2 ajustado invalida el modelo.

Debido a que no se encuentra una correlación estadísticamente apropiada en función de la variable dependiente cobertura de abastecimiento de agua segura en zonas rurales, se procede a analizar los indicadores disponibles, tomando ahora como variable dependiente a la cobertura del servicio de saneamiento básico en zonas rurales.

3.3. Análisis de la correlación en función de la cobertura del servicio de saneamiento básico. Cifras rurales.

Como se mencionó, se procedió a correlacionar la cobertura poblacional rural en materia de saneamiento básico a partir de la condición económica global, la cobertura del servicio de agua segura y de la cantidad poblacional en zonas rurales. El resultado no fue favorable, pues se llegó a un R2 ajustado de tan solo 0.40, y el único p-value inferior a 0.05 fue para el servicio de agua. En este caso se obtuvo la expresión de la ecuación 2.

$$y = -10.31 + (-0.00070 * x_1) + (0.0015 * x_2) + (0.87 * x_3) \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde:

y: Proporción de la población que utiliza instalaciones de saneamiento mejoradas, por área rural.

x1: Población rural.

x2: Producto Interno Bruto (PIB) total anual por habitante a precios constantes en dólares.

x3: Proporción de la población que utiliza fuentes mejoradas de abastecimiento de agua potable, por área rural.

A partir del resultado anterior, se llevó a cabo un nuevo intento, pero recurriendo solamente a la cobertura del servicio rural de agua potable como variable independiente. El R2 ajustado no fue favorable, pues su valor fue inferior al del modelo anterior (0.32 frente a 0.40); situación esperada pues ya se habían correlacionado las mismas 2 variables en el apartado anterior.

Luego se procedió a una nueva correlación condicionando el intercepto igual a cero, y considerando nuevamente las 3 variables independientes. El resultado fue favorable con un R2 ajustado que aumentó de 0.40 a 0.90. Respecto de los p-value el único que cumplió con un valor inferior a 0.05 fue el de cobertura poblacional de agua segura ($2.52 \cdot 10^{-7}$) mientras que para población rural y PIB per cápita si bien no cumplieron el criterio anterior, se mantuvieron relativamente bajos, sin superar el umbral de 0.10. Para el caso de los signos de los respectivos coeficientes, el de la población fue negativo, lo cual tiene sentido en la presunción de que los países con menor población rural requieren de menos esfuerzos para suplir sus necesidades de servicios públicos (debido a una menor demanda), y en consecuencia será más fácil tener mejor cobertura. El modelo se expone por la ecuación 3.

$$y = (-0.00070 * x_1) + (0.0017 * x_2) + (0.74 * x_3) \quad \text{Ecuación 3}$$

Donde:

y: Proporción de la población que utiliza instalaciones de saneamiento mejoradas, por área rural.

x1: Población rural.

x2: Producto Interno Bruto (PIB) total anual por habitante a precios constantes en dólares.

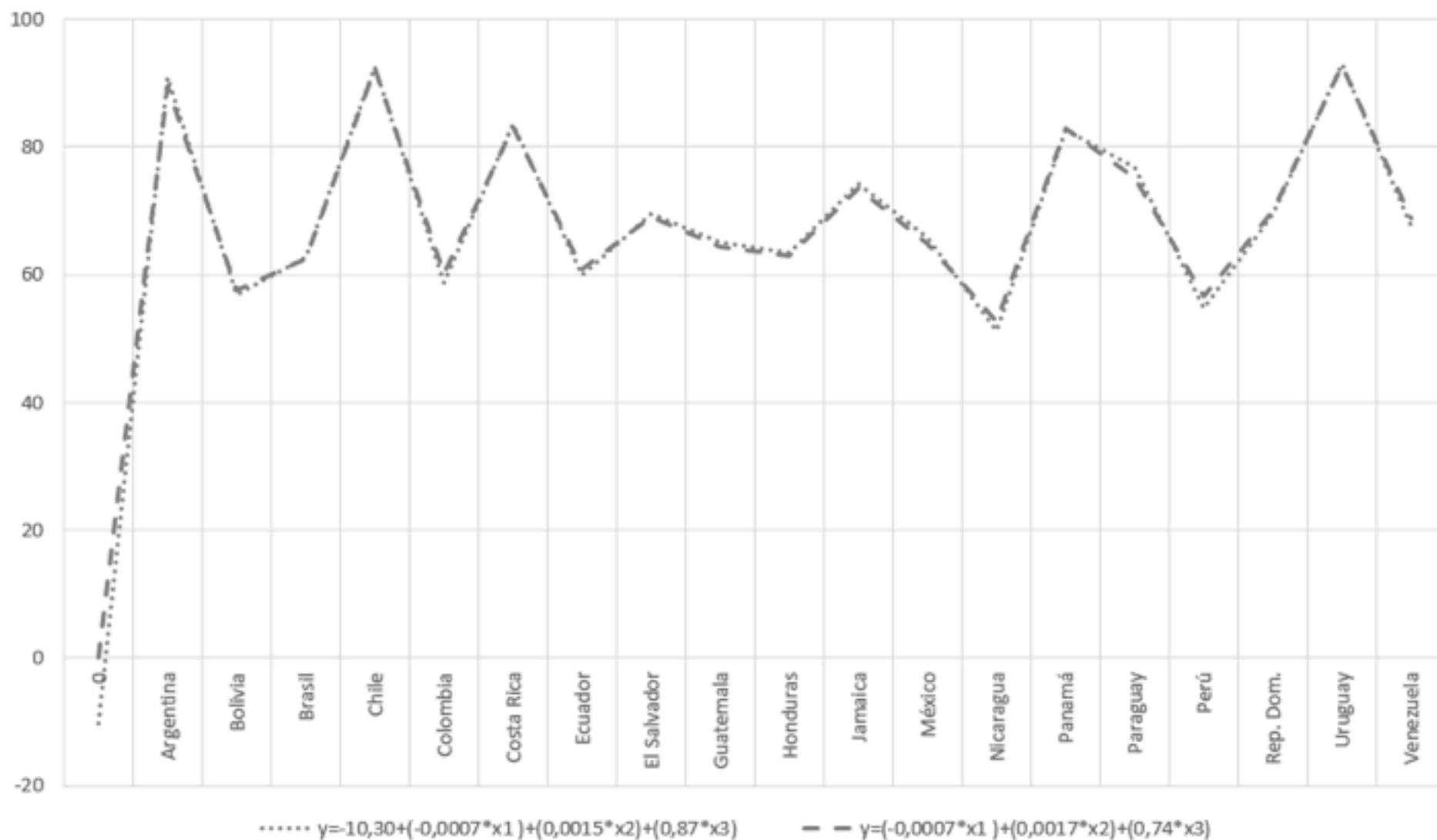
x3: Proporción de la población que utiliza fuentes mejoradas de abastecimiento de agua potable, por área rural.

Como se observa, la variable que tiene el mayor impacto en explicar la cobertura del servicio de saneamiento mejorado en zonas rurales es la cobertura del servicio de agua en el mismo escenario, con una constante del 74%.

Respecto de la validez de haber hecho el intercepto igual a cero en los dos modelos anteriores (ecuaciones 2 y 3) la figura 2 muestra claramente un comportamiento similar para ambas expresiones.

Figura 2

Modelos que emplean la cobertura del servicio de agua potable en zonas rurales, el PIB per cápita y la cantidad de población rural como variables explicativas a la cobertura del servicio de saneamiento mejorado en zonas rurales, ecuaciones 2 y 3. Cifras 2015.



Fuente: los autores, cifras CEPALSTAT.

Ahora, debido a que la única variable independiente o explicativa que presentó una relación favorable con la variable dependiente fue la del servicio de agua, se procedió a analizar una nueva correlación exclusivamente entre estas dos variables, pero con el intercepto igual a cero. El resultado obtenido fue satisfactorios, con un R2 ajustado de 0.90, un p-value inferior a 0.05 ($6.02 * 10^{-14}$) y un coeficiente positivo que aumentó la relación explicativa del 74% al 83%. El modelo se presenta en la ecuación 4.

$$y = (0.83 * x_1) \quad \text{Ecuación 4}$$

Donde:

y: Proporción de la población que utiliza instalaciones de saneamiento mejoradas, por área rural.

x1: Proporción de la población que utiliza fuentes mejoradas de abastecimiento de agua potable, por área rural.

Es importante resaltar que el modelo que utiliza como única variable explicativa la cobertura del servicio de agua segura con el intercepto igual a cero, y el modelo que emplea la misma variable, pero sin hacer el intercepto igual a cero, tienen prácticamente el mismo comportamiento, salvo claro está, en el intercepto. El último caso se expresa por la ecuación 5.

$$y = -32.53 + (1.21 * x_1) \quad \text{Ecuación 5}$$

Donde:

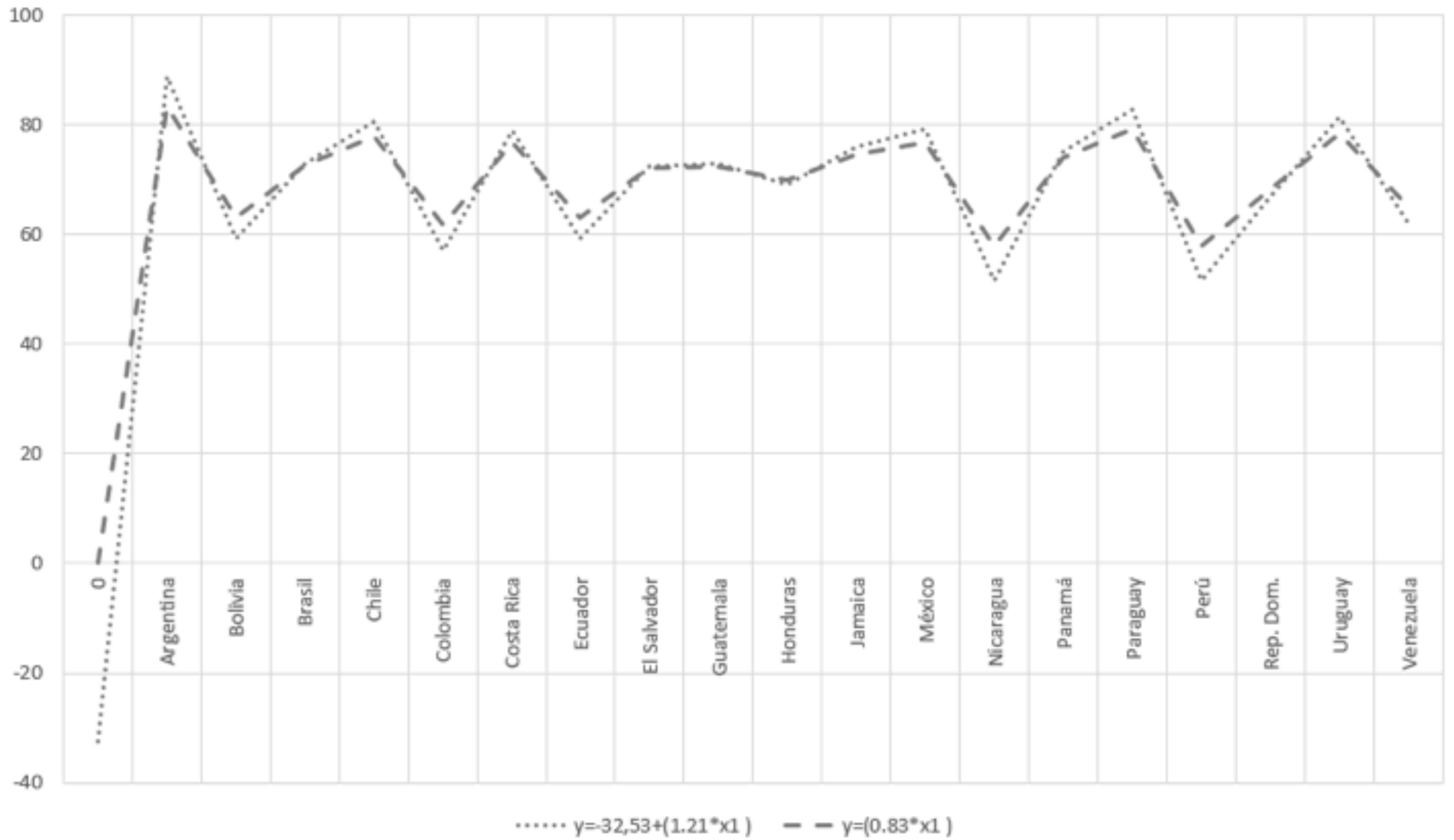
y: Proporción de la población que utiliza instalaciones de saneamiento mejoradas, por área rural.

x1: Proporción de la población que utiliza fuentes mejoradas de abastecimiento de agua potable, por área rural.

Respecto de la validez de haber hecho el intercepto igual a cero en los modelos que se basan en la cobertura de agua como única variable explicativa a la cobertura de saneamiento (ecuaciones 4 y 5) lo muestra la figura 3, en la que claramente se observa un comportamiento similar para ambas expresiones matemáticas, tal como se manifestó en párrafos anteriores previo a la ecuación 5.

Figura 3

Modelos que emplean la cobertura del servicio de agua potable en zonas rurales como única variable explicativa a la cobertura del servicio de saneamiento mejorado en zonas rurales, ecuaciones 4 y 5. Cifras 2015.



Fuente: los autores, cifras CEPALSTAT.

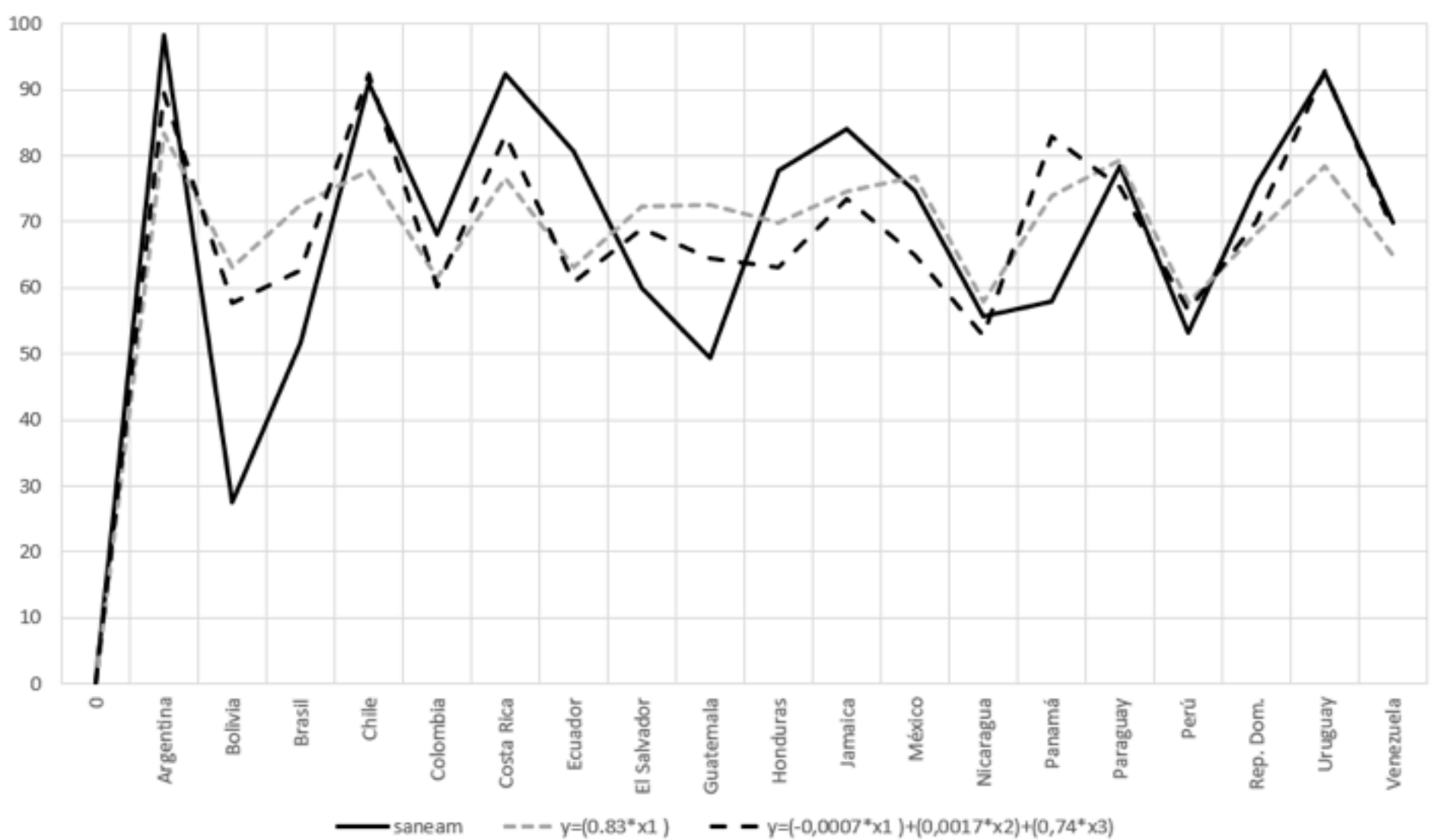
Tras el análisis realizado se obtiene que las correlaciones que presentaron validez estadística son las de los modelos representados en las ecuaciones 3 y 4, debido principalmente a su R2 ajustado aproximado de 0.90. Haciendo seguimiento gráfico a estos dos modelos respecto del comportamiento real de la variable dependiente (saneamiento) (figura 4) se aprecia que el modelo que emplea las 3 variables independientes o explicativas (ecuación 3) se ajusta o acerca más a los registros de la variable a interpretar (datos CEPAL). Los únicos casos en que hay más cercanía (significativa) entre los registros reales de la variable y los establecidos por el modelo que solo se basa en la variable explicativa cobertura del servicio de agua (ecuación 4) es para los países México y Panamá; y en menor medida en el caso Ecuador.

Como comprobación adicional, se tiene que los resultados estadísticos de los modelos validados (ecuaciones 3 y 4) arrojan un error típico de 15.09 para el modelo de la ecuación 4, y un menor error de 13.81 para el modelo de la ecuación 3.

En resumen, el modelo de la ecuación 3, que emplea las 3 variables independientes (cobertura del servicio de agua, PIB y población) para explicar el comportamiento de la cobertura del servicio poblacional de saneamiento mejorado, es el más acertado.

Figura 4

Comportamiento de la variable cobertura del servicio de saneamiento mejorado en zonas rurales y de dos modelos asociados, ecuaciones 3 y 4. Cifras 2015.



Fuente: los autores, cifras CEPALSTAT.

Los resultados obtenidos hasta esta instancia hacen referencia al escenario 2015. Sin embargo, queda la inquietud de si el modelo se asimila a las condiciones de períodos anteriores. Por ello se procede a estudiar la dependencia de la cobertura del servicio de saneamiento mejorado en zonas rurales para los años 1990 y 2000.

3.4. Análisis del modelo para cobertura poblacional del servicio de saneamiento mejorado en zonas rurales. Cifras de 1990.

La dependencia de la cobertura poblacional de saneamiento mejorado en zonas rurales muestra correlación estadística con las 3 variables independientes en estudio (cobertura poblacional de agua segura en zonas rurales, cantidad de población rural y PIB per cápita nacional). El R2 ajustado es de 0.73 y los p-value son en los 3 casos inferiores a 0.05. El coeficiente para población es negativo, siguiendo el comportamiento esperado y validado en el modelo de la ecuación 3. El modelo para este caso, cifras a 1990, está representado en la ecuación 6. También vale mencionar que la mayor participación o incidencia la tiene la cobertura del servicio de agua con un 75%, similar al 74% en el modelo para las cifras al año 2015.

$$y = -15.88 + (-0.0012 * x_1) + (0.0051 * x_2) + (0.75 * x_3) \quad \text{Ecuación 6}$$

Donde:

y: Proporción de la población que utiliza instalaciones de saneamiento mejoradas, por área rural.

x1: Población rural.

x2: Producto Interno Bruto (PIB) total anual por habitante a precios constantes en dólares.

x3: Proporción de la población que utiliza fuentes mejoradas de abastecimiento de agua potable, por área rural.

3.5. Análisis del modelo para cobertura poblacional del servicio de saneamiento mejorado en zonas rurales. Cifras de 2000.

En este caso, a diferencia del apartado para las cifras a 1990, el modelo no resultó con la participación de las 3 variables independientes. En principio se obtuvo un R2 ajustado muy bajo (0.03) y p-value mayores a 0.28. Luego, planteando un modelo para las 3 variables independientes, pero con el intercepto igual a cero. Se logró un R2 ajustado válido de 0.83, pero un p-value aceptable solo para el

indicador referente al servicio de agua (0.00011). Siendo así, se trabajó en nuevo modelo que solo consideró el servicio público mencionado y con el intercepto igual a cero. En esta ocasión se llega a un R2 ajustado similar al anterior (0.84) y un p-value de $1.93 \cdot 10^{-10}$. La participación de la variable independiente aumentó con un coeficiente que pasó de 0.76 a 0.80. En los 3 modelos estudiados el último registra el menor error típico. El modelo resultante se expresa por la ecuación 7.

$$y = (0.80 * x_1) \quad \text{Ecuación 7}$$

Donde:

y: Proporción de la población que utiliza instalaciones de saneamiento mejoradas, por área rural.

x1: Proporción de la población que utiliza fuentes mejoradas de abastecimiento de agua potable, por área rural.

4. Conclusiones

De las 4 variables en estudio (población rural, PIB per cápita nacional, cobertura poblacional rural de los servicios de agua potable y saneamiento mejorado), es la cobertura en saneamiento la que obtiene un modelo estadísticamente válido a partir del comportamiento de las otras 3.

En Urazán y Caicedo (2018), que trabaja con cifras de cuentas nacionales, es decir, tanto en el ámbito urbano como rural, se deduce también que la variable dependiente es la cobertura del servicio de saneamiento mejorado, pero tiene como única variable independiente la cobertura del servicio de agua segura. Un segundo modelo que se ajusta estadísticamente, aunque con menor rigurosidad, es aquel en el cual la única variable explicativa a la cobertura poblacional del servicio de saneamiento es la cobertura poblacional de agua segura, tal como se presenta en el artículo de las cuentas nacionales.

Teniendo en cuenta ese segundo modelo y recordando que en el primer modelo (el de las 3 variables independientes) la variable referente a la cobertura de agua tiene un coeficiente de correlación de 0.74, se puede concluir que hay una fuerte relación entre la extensión de las redes de los dos servicios en las regiones rurales de América Latina.

La dependencia de la cobertura del servicio de saneamiento respecto de la cantidad de poblacional rural, o demanda del servicio, y de la condición económica del país; permite inferir que a diferencia de las cuentas nacionales, en el escenario rural es la inversión en la red de abastecimiento de agua.

Respecto de la evolución que a partir de 1990 ha tenido el modelo explicativo de la cobertura poblacional del servicio de saneamiento mejorado en zonas rurales, se encuentra que para ese año los registros muestran una dependencia de los 3 indicadores, es decir, que los países con mejor cobertura de agua, menor cantidad poblacional o demanda potencial y una mejor condición económica, tienden a una mejor cobertura del servicio de saneamiento.

Para el año 2000 se encuentra que la correlación existente ya no es con las 3 variables, sino que la tendencia de un país latinoamericano a contar con mayor cobertura del servicio de saneamiento mejorado en zonas rurales corresponde en mayor parte a su nivel de cobertura del servicio de agua potable, también en zonas rurales.

Para el año 2015, la correlación vuelve nuevamente a expresarse por un modelo que cobija nuevamente las 3 variables explicativas, con una mayor participación del servicio de agua, al igual que en los resultados para el año 1990.

Al igual que en los resultados de las cuentas nacionales (Urazán y Caicedo, 2018) la participación del potencial económico de los países de la región disminuyó considerablemente su influencia en la cobertura del servicio de saneamiento, entre 1990 y 2000, al punto de no figurar como variable explicativa estadísticamente válida en ese último año; para luego retomar participación en el modelo a 2015. Lo anterior se destaca porque una hipótesis de partida sería que los países con mayor recurso económico tendrían un menor déficit en servicios públicos domiciliarios. La participación de las cifras demográficas también se registra solo en el modelo a 2000, con una incidencia menor que la del PIB.

En compensación al comportamiento de las variables económica y poblacional, la participación de la cobertura del servicio de agua aumenta de 75% a 80% en el período 1990 a 2000 y luego vuelve a bajar a 74% en el modelo a 2015. El repunte de la participación de la cobertura del servicio de agua en el modelo del año 2000 coincide con el esfuerzo de la región por extender las redes de servicios públicos básicos en función de cumplir con los objetivos de las metas del milenio ODM (2015). Lo anterior se respalda en el hecho de que para los registros cercanos a fecha límite de los ODM (a 2012) solo República Dominicana (de una muestra de 19 países de la región latinoamericana) se encontraba lejos de alcanzar la meta propuesta en materia de cobertura del servicio de agua segura; mientras que en el caso del servicio de saneamiento la situación era más compleja, es decir, no solo la cobertura

poblacional es más baja que para el servicio de aguasino que más países estaban lejos de la meta. Queda esperar la evolución de la cobertura de los servicios estudiados en los próximos años para analizar nuevamente los indicadores que marquen un patrón en un nuevo modelo que se espera esté influenciado positivamente por las Metas del Desarrollo Sostenible MDS.

Referencias bibliográficas

Alto Comisionado para la Paz. República de Colombia (2013). **Acuerdo Política de desarrollo agrario integral**. Recuperado de: <http://www.altocomisionadoparalapaz.gov.co/Documents/informes-especiales/abc-del-proceso-de-paz/politica-de-desarrollo-agrario-integral.html>.

Comisión Económica para América Latina y el Caribe CEPAL (2012). **Panorama Social de América Latina**. Recuperado de: http://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/1247/1/S2012959_es.pdf

Comisión Económica para América Latina y el Caribe CEPAL (2015). División de la Organización de las Naciones Unidas ONU. Base de datos y publicaciones estadísticas.

Comisión Económica para América Latina y el Caribe CEPAL (2018). **Bases de datos y publicaciones estadísticas CEPALSTAT**. Recuperado de: <http://estadisticas.cepal.org/cepalstat/Portada.html>

Departamento Nacional de Planeación DNP, República de Colombia (2018). Recuperado de: <https://www.dnp.gov.co/programas/vivienda-agua-y-desarrollo-urbano/Paginas/agua-potable-y-saneamiento-basico-.aspx>

Departamento Nacional de Planeación DNP, República de Colombia (2018a). **Vivienda de interés social rural**. Recuperado de: <https://www.dnp.gov.co/programas/agricultura/estadisticas-del-sector-agropecuario/Paginas/Resultados-de-Pol%C3%ADtica-P%C3%ABlica.aspx>

Departamento Nacional de Planeación DNP, República de Colombia (2018b). **Déficit de vivienda rural**. Recuperado de: <https://www.dnp.gov.co/programas/agricultura/estadisticas-del-sector-agropecuario/Paginas/Sectoriales.aspx>

Frutos L. M. (2006). **El agua como factor de desarrollo rural**. *Norba, Revista de Geografía. Universidad de Zaragoza*. Vol. XI, p-p. 51-68.

MANTEROLA, C. y PINEDA, C. (2008). **El valor de "p" y la significación estadística**. *Revista chilena de cirugía*, Vol. 60, No. 1, p-p. 86-89.

NOVALES, A. (2010). **Análisis de regresión**. *Universidad Complutense de Madrid*. Recuperado de: <https://www.ucm.es/data/cont/docs/518-2013-11-13-Analisis%20de%20Regresion.pdf>

NUSSL, H. y HEINRICH, D. (2013). **Slums: perspectives of the definition, the appraisal and the management of an urban phenomenon**. *Journal of the Geographical Society of Berlin*. Vol. 144, No. 2, p-p. 105-116.

Organización de las Naciones Unidas ONU (2018).

<http://www.un.org/sustainabledevelopment/es/water-and-sanitation/>

Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo PNUD (2011). **Colombia rural. Razones para la esperanza**. Recuperado de:

http://www.undp.org/content/dam/colombia/docs/DesarrolloHumano/undp-co-ic_indh2011-parte1-2011.pdf.

Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo PNUD (2017). **Informe nacional sobre desarrollo humano 2017**. Recuperado de: <http://hdr.undp.org/en/content/informe-nacional-sobre-desarrollo-humano-2017>.

RAMÍREZ, S. y VILLAREJO, D. (2012). **Poverty, housing and the rural slum: policies and the production of inequities, past and present**. *American Journal of public health*. Vol. 102, No. 9, p-p. 1664 -1675.

URAZÁN, Carlos, F. y CAICEDO, María, A. (2016). **Lectura del avance en cobertura de agua potable y saneamiento básico en zonas rurales. Caso América Latina y el Caribe**. *XVII Congreso latinoamericano de hidráulica*. Lima, Perú.

URAZÁN, Carlos, F. y CAICEDO, María, A. (2018). **Modelo de correlación entre economía, población y servicios de agua y saneamiento en América Latina. Análisis de 1990 a 2015**. *Revista Espacios*. Vol. 38, número 8. Aprobación editorial para publicación fechada del 22 de diciembre de 2017.

URIEL, E. (2013). **Regresión lineal múltiple: estimación y propiedades**. *Universidad de Valencia*. Recuperado de:

<https://www.uv.es/=uriel/3%20Regresion%20lineal%20multiple%20estimacion%20y%20propiedades.pdf>

1. Ingeniero Civil, Especialista en Administración de la Construcción, Doctor en Gestión Territorial e Infraestructuras del Transporte por la Universidad Politécnica de Catalunya (UPC) (España), Profesor Titular, Programa de Ingeniería Civil, Universidad de La Salle, Bogotá - Colombia. Correo electrónico: caurazan@unisalle.edu.co

2. Ingeniera Civil, Magister en Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente por la Universidad Politécnica de Valencia (UPV) (España), Profesor Asistente, Programa de Ingeniería Civil, Universidad de La Salle, Bogotá - Colombia. Correo electrónico: macaicedo@unisalle.edu.co

Revista ESPACIOS. ISSN 0798 1015
Vol. 39 (Nº 24) Año 2018

[Índice]

[En caso de encontrar un error en esta página notificar a [webmaster](#)]

©2018. revistaESPACIOS.com • ®Derechos Reservados