

Análisis científico - técnico como base para la definición del marco regulatorio de la descarga de plantas de tratamiento de agua urbana

Scientific-technical analysis as the basis for the definition of the regulator framework for the discharge of urban water treatment plants



Rosero José Augusto

Docente Facultad de Ingeniería en Geología, Minas Petróleos y Ambiental de la Universidad Central del Ecuador/ jarosero@uce.edu.ec

Resumen

Este recorrido proporciona una visión sobre cómo se puede modelar el manejo regional de las descargas municipales con especial atención a la concentración orgánica presente en las aguas municipales. Se pone énfasis en la construcción, definición y conjugación de política pública a partir de modelos que dan cuenta del comportamiento de la calidad del agua residual en función de parámetros que reflejan la complejidad de los ecosistemas considerados en el marco de la megadiversidad biológica que caracteriza a Ecuador. El análisis parte de la evidencia aportada por estudios realizados en proyectos de tesis de grado de diferentes carreras de ingeniería en varias universidades públicas del país. Los estudios dan cuenta de las mediciones realizadas en plantas de tratamiento de agua residual en diferentes etapas de la evolución de la conservación de la calidad de los receptores regionales. La modelación así obtenida permite además, correr los datos y detalles que configuran el desempeño de cada una de las Plantas de Tratamiento de Agua Residual, de los Gobiernos Autónomos Regionales, GADS. El sistema también dará cuenta de los múltiples actores que aprovecharán la oferta pública disponible en los ecosistemas receptores, con un sistema operativo único para ser alimentado a partir de diferentes bases de datos, como es la intención del gobierno digital en Ecuador.

Palabras clave: construcción de política pública; generación de credibilidad; modelación matemática; manejo de descargas urbanas; megadiversidad biológica

Abstract

This approach provides an insight into how regional management of municipal discharges can be modeled with special attention to the organic concentration of municipal wastewaters. Emphasis is placed on the construction, definition and conjugation of public policy based on models which account for the behavior of wastewater quality parameters that reflect the complexity of the ecosystems considered within the framework of the biological megadiversity that characterizes Ecuador. The analysis is based on the evidence provided by studies carried out by degree testers of different engineering careers in several public universities in the country. The studies give an account of the measurements performed in wastewater treatment plants at different stages on quality evolution of regional receptors. The modeling thus obtained also allows to run the performance of Residual Water Treatment Plants at the Regional Autonomous Governments, GADS. It also accounts, for multiple actors who will take advantage of the public offering on each of the receiving ecosystems with a unique operating system to be fed from different databases, as is the intention of the digital government in Ecuador.

Keywords. generating credibility, mathematical modeling, urban discharge management, public policy building, bio-logical megadiversity

Introducción

Necesitamos exponernos conscientemente a la evidencia que desafía nuestras creencias para compensar nuestra inclinación a desconfiarlo. En política pública sectorial, es decir sobre el direccionamiento técnico de los servicios públicos [1], en el Ecuador de los últimos decenios se evidencia un claro “sesgo de confirmación”. En la administración del Sistema de Saneamiento Ambiental, a menudo se denomina política pública el “decirle a la gente lo que quiere oír», lo que en realidad es un fenómeno distinto conocido como “sesgo de deseabilidad”, o la tendencia a acreditar información que desea creer.

Aunque hay una clara diferencia entre lo que se cree y lo que se quiere creer - el pesimista puede esperar lo peor, pero espera lo mejor - cuando se trata de creencias políticas, que con frecuencia están alineadas a directrices de interés preestablecidas [2].

En el momento actual, por ejemplo, - después de que se ha conocido que USA se retira del Convenio de Cambio Climático- existe una sensación de desconcierto creada tanto por el sesgo de deseabilidad como por el de confirmación. Pero lo más preocupante, es la confusión. Es aquí donde este trabajo pretende aportar con lineamientos de formulación que sustenten desde la ciencia y la técnica el apropiado marco de referencia.

En términos de política pública, es preciso conocer que es posible reducir los sesgos de deseabilidad y confirmación y por tanto continuar con el control de la degradación ambiental aún en el extremo caso en el que no fuera posible establecer, aplicar y/o financiar normas para la reducción de efectos globales como el cambio climático. La opción consiste en establecer la formulación de políticas públicas que consideren como base del marco regulatorio el análisis científico y técnico del sistema bajo control [3].

Así, mientras se profundiza en los métodos de modelación en busca de las formulaciones que puedan servir de sustento, se indaga al mismo tiempo la posibilidad de identificar la racionalidad que promueve un nivel de desarrollo económico en el que sea más económico no contaminar el ambiente. Se ha puesto énfasis en la necesidad de promover el aporte de la modelación a nivel de los Gobiernos Autónomos Descentralizados, GADS, de tal manera que el proceso de descentralización administrativa cuente con una herramienta de planificación

ambiental sectorial en apoyo al desarrollo sostenible de la relación urbano- rural [4].

Se muestra el aporte del Sistema de Educación Superior- en particular de las universidades públicas- en la decantación de un sistema regional de tratamiento de aguas residuales urbanas y la necesaria evolución tecnológica asociada a la condición de Ecuador como país con alta biodiversidad.

Desde esta bibliografía técnica y de la experiencia profesional se tiene que este efecto acumulado se produce a causa de que las plantas convencionales de tratamiento de agua residual - junto a las descargas directas clandestinas- no remueven apropiadamente los nutrientes de la descarga municipal. La acumulación de nutrientes ocasiona la pérdida del equilibrio ecológico en los ecosistemas receptores [5].

Material y Métodos.

La investigación se ha realizado en la Facultad de Ingeniería Civil, Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad Central del Ecuador. Se formulan observaciones sobre los aportes realizados en un conjunto de tesis de los graduantes de ingeniería de diferentes facultades y universidades del país. Se ha puesto especial interés en la sistematización de los datos que reflejan algún nivel de tratamiento de aguas residuales y se establece su aporte en función de la evolución en la construcción y puesta en marcha del número de plantas de tratamiento en el país. La información aportada es ordenada de tal manera que se pueda usar en la aplicación de una base científica tal que mediante el análisis de las correspondientes ecuaciones se pueda conocer los efectos de la tecnología usada para liberar tasas de degradación en el ecosistema del receptor final.

Considerando que la remoción de nutrientes ocasiona a su vez el incremento acelerado del costo de tratamiento de aguas residuales, se ha observado la remoción de nutrientes en el nivel que sea aceptable para el sistema regional. La remoción de nutrientes es también una función dependiente de la capacidad de absorción del receptor final, aspecto que se considera con el método apropiado para el cálculo y estimación de la carga regional, lo que finalmente es una consecuencia de la tecnología utilizada, tanto en el diseño como en la operación de los sistemas.

Se utiliza la teoría mecánica del transporte [6] para identificar los intensivos y extensivos que caracte-



rizan el transporte de nutrientes Ec. (1) —fósforo, nitrógeno residual - y su relación en la descarga con la calidad del flujo en el receptor final -oxígeno disuelto, DBO₅ — [7].

En la ecuación de transporte de Szücs la tasa de cambio (derivada temporal en el punto de descarga) es propuesta como la diferencia entre los cambios ocurridos en la entrada y salida del proceso analizado:

$$dx/dt = Q - I$$

Esto significa que la contaminación en el receptor regional (RR), principalmente ríos, desde el punto de vista del funcionamiento operativo y consecuente descarga de la planta de aguas residuales (PTAR) podría caracterizarse como el flujo del caudal en función de los cambios en las tasas de contaminación que descargan las PTAR (Q) y el cambio logrado en la calidad del río (I) – bajo el supuesto de que las descargas no tratadas son consideradas en el sistema de análisis como carga que absorbe la capacidad de autodepuración propia del ecosistema –. El flujo así definido, fue objeto de modelación para reflejar la tasa de cambio (dx/dt); Ec. (1), como la variación que se produce a consecuencia de los cambios producidos entre los extensivos e intensivos en la descarga, de tal manera que el cambio de la calidad del agua en el receptor pueda caracterizarse con una ecuación que permita considerar diferentes hipótesis de carga y por tanto el poder definir líneas de política sobre esta base, de acuerdo a la Ec. (2):

$$m/(ef(i)PTAR)/(ef(i)RR) \text{ Ec. (2)}$$

Donde “m” es la masa de agua que fluye en el receptor regional, “e” es el conjunto de extensivos que caracterizan al sistema regional (Oxígeno Disuelto y DBO₅), asimismo, “i”, es el intensivo del flujo caracterizado por la tasa de degradación reducida o el nivel de tratamiento logrado. La ecuación señala el transporte de contaminantes al momento de la descarga desde la PTAR en el receptor final RR. La función e/i/ es la tasa de degradación ambiental TIDAM [3], en el punto de descarga.

Al establecer la interrelación entre el intensivo de la descarga y el extensivo del receptor mediante la aplicación de ecuaciones, éstas se resuelven en atención a diferentes hipótesis de ocurrencia. En función de las diferentes condiciones de borde se caracterizan hipótesis cuya comprobación arroja los lineamientos que sustentan el apropiado marco normativo de la política pública sectorial, alejando

de esta manera los sesgos de deseabilidad y de credibilidad arriba anotados, y por tanto aportando solidez a la definición del marco normativo correspondiente.

En consecuencia, las hipótesis — planteadas en base al marco de análisis que permite la Ec. (2–, reflejan las situaciones propias de la política pública ecuatoriana, mismas que fueron identificadas exclusivamente desde los datos producidos por las universidades ecuatorianas. Se ha centrado el planteamiento de los escenarios en referencia tan solo para los últimos cinco años (2012- 2017 como sigue:

H01: A consecuencia del crecimiento poblacional, y de la decisión política en los GADS, el número de plantas de tratamiento de agua residual ha aumentado considerablemente TIDAM, la carga urbana tratada que es depositada en los ríos, misma que aumenta el costo de inversión en infraestructura (numerosas plantas pero que al mismo tiempo no asegura el control de la calidad porque no se cumple, en términos operativos las normas ambientales de descarga.

H02: El mejoramiento de la tecnología de tratamiento tampoco asegura la calidad en el receptor toda vez que la norma ambiental TULAS señala condiciones para la descarga en un ecosistema general y no distingue la condición de país con alta biodiversidad, las necesidades de la megadiversidad.

Así, la construcción de los diferentes escenarios hipotéticos de política pública de control ambiental, se realizó basándose en los datos aportados por la producción de grado y posgrado de Profesores Tutores y Alumnos Graduantes en las diferentes carreras de ingeniería – civil, química, agronomía, ambiental – en la mayoría de universidades del país, tanto públicas como privadas, entre los años 2006 y 2017.

Resultados

De la experiencia de 10 años de desarrollo nacional, del Gobierno saliente-, se tiene que, con el aumento de los proyectos de vivienda, se incrementaron también los de aprovisionamiento de agua potable y canalización. Un efecto directo de este importante proceso de desarrollo es el deterioro de la calidad de los receptores regionales, del sistema hídrico nacional.

Este deterioro de la calidad del agua en la mayoría de los casos es causado por la descarga de

aguas residuales municipales, a pesar de que las plantas de tratamiento de aguas residuales se están construyendo en una escala creciente. Así, los datos obtenidos en su mayoría de las Tesis de Graduación en las universidades ecuatorianas reflejan esta realidad y constituyen una misma base de sustento para el abordaje de las dos hipótesis arriba expuestas.

Datos Obtenidos

El 61,86% (133 de los GAD Municipales realizan tratamientos de sus aguas residuales, mientras que el 38,14% (82) no realizan tratamiento. A nivel regional, la Sierra posee el mayor número de plantas para el tratamiento del agua residual con un 49,88% [12].

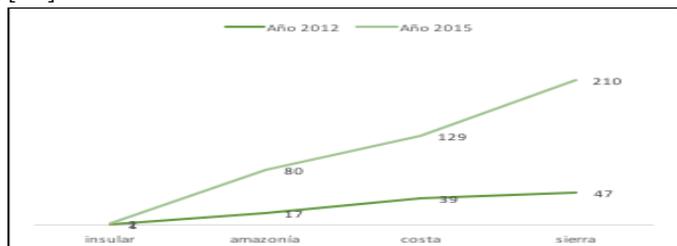


Figura 1. NPTAR, evolución del número de plantas de tratamiento de aguas residuales urbanas por regiones / Fuente: [12] , [13]

El 56,39% de los GAD Municipales disponen el agua residual tratada en los ríos, el 26,32% en quebradas y el restante 19,55% disponen en otros sitios. En la Región Insular el 100% del agua residual tratada se dispone en otros sitios (mar y pantano artificial).



Figura 2. Disposición Final del Agua Residual Tratada / Elaborado por el Autor Fuente: AME-INEC 2015. Registro de gestión de agua potable y alcantarillado

Tabla 1. Determinación del % de remoción promedio en muestras compuestas de mayo- junio de 2016

Parámetro	Unidad	Agua residual	Agua tratada	Ilustración	% remoción
DBO	mg/L	4532.25	17.0		99.6

Fuente: Modificado de la Tesis en la Escuela de Ingeniería Química, Escuela Superior Politécnica del Chimborazo, [14].

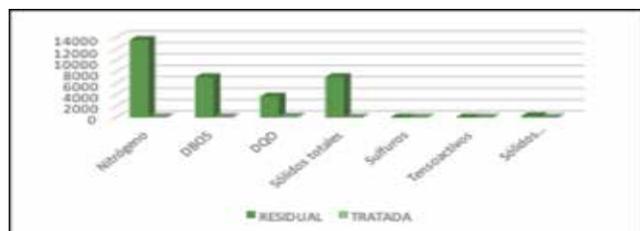


Figura 3. Parámetros de Tratamiento en Empresa Pública Mancomunada, Tunurahua / Fuente: Tesis en la Escuela de Ingeniería Química, Escuela Superior Politécnica del Chimborazo, [15].

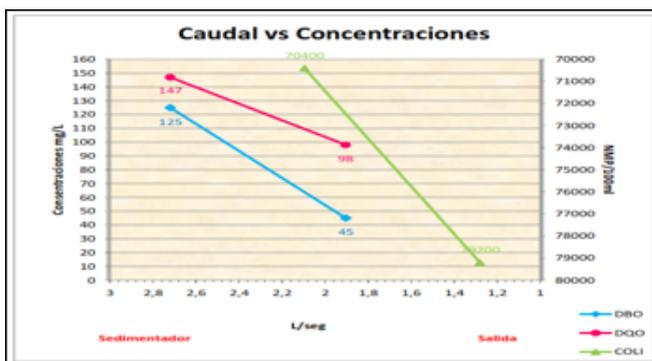


Figura 4. Variación de Concentración de DBO, DQO, COLI, Barrio La Pampa, Nueva Loja / Fuente: Tesis en la Escuela de Ingeniería Civil, Escuela Politécnica del Ejercito, [16].

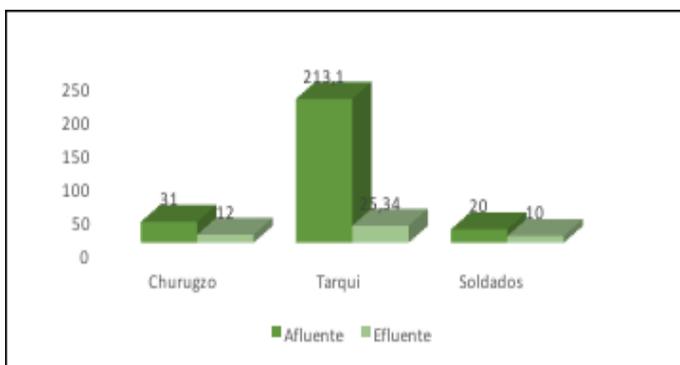


Figura 5. Desempeño del Humedal (DBO5), Plantas de depuración en el sector rural, Azuay / Fuente: Tesis en la Escuela de Ingeniería Civil, Universidad de Cuenca, [17].

Parámetros	Método	Unidades	Límite permisible	Resultado punto de muestreo 1			
DBO5	MEAG-08 APHA 5210 D	mg/L	100	< 1	2	48	1

Tabla 2. Resultados de análisis de muestras en la descarga de aguas residuales, Parroquia Fátima, Pastaza

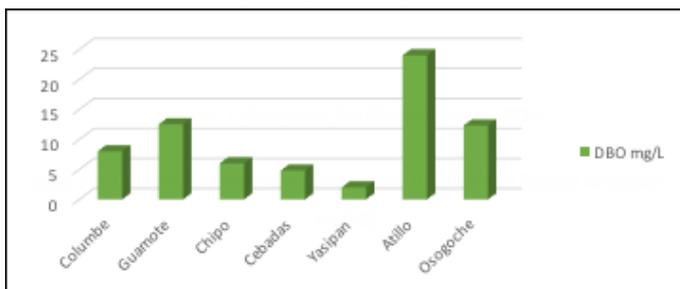


Figura 6. Demanda Bioquímica de Oxígeno, ríos del Cantón Guamote.

Fuente: Tesis de Grado de la Escuela de Ingeniería Ambiental, Universidad Nacional de Chimborazo [19].

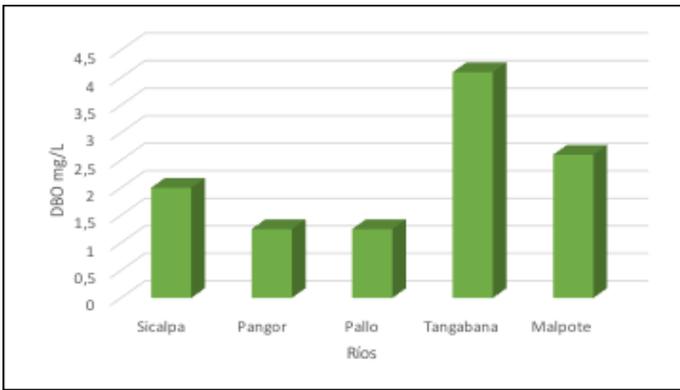


Figura 7. Demanda Bioquímica de Oxígeno, ríos del Cantón Colta / Fuente: Tesis de Grado de la Escuela de Ingeniería Ambiental, Universidad Nacional de Chimborazo [19]

Principales Resultados

La construcción de políticas públicas a base de modelos matemáticos procura la caracterización de la degradación ambiental desde el lado de la oferta, es decir, en función de los proyectos sectoriales que se pueden generar con el direccionamiento y la aplicación de la normativa propuesta. Esta alternativa ha sido construida con la modelación de un sistema técnico-científico mismo que partiendo de la realidad levantada y que se ha resumido en el punto anterior, deriva soluciones concretas que facilitan la concepción de un sistema de políticas públicas que puede ser abordado por diferentes entidades, como se presenta en el Apéndice I, Tabla 3.

La modelación así obtenida permite además correr los datos y detalles que configuran el desempeño de cada una de las Plantas de Tratamiento de Agua Residual, de cada uno de los GADS en cada uno de los ecosistemas receptores para los múltiples actores que aprovecharán la oferta pública, en un sistema operativo único a ser alimentado por diferentes bases de datos, como es la intención del gobierno digital en Ecuador [9]. Se espera que esta contribución facilite la reducción del ambiente de desconfianza y confusión que se percibe en el momento actual en Ecuador.

Discusión.

Las hipótesis planteadas, se discuten con el desarrollo del modelo hasta encontrar soluciones al contenido de las mismas como sigue.

H01: A consecuencia del crecimiento poblacional, los problemas de la gestión operacional de los GADS, y el número de plantas de tratamiento de agua residual, ha aumentado también de manera considerable TIDAM, la carga urbana tratada que

es depositada en los ríos, misma que aumenta el costo de inversión en infraestructura (numerosas plantas) pero que al mismo tiempo no asegura el control de la calidad porque no se cumple, en términos operativos las normas ambientales de descarga.

En la pauta de la Ec. (2), la tasa de descarga TIDAM = e/i , está sujeta, en síntesis, a las condiciones de borde del escenario cuyas variables principales son las siguientes: IP, el incremento de población [20], los PGO, problemas de la gestión operacional de los GADS [10], y la calidad de las descargas OD y DBO5, Tabla 1, Fig. 2, 3 y 4. Los datos en la Tabla 1, muestran además como ya el sistema funciona al límite de su capacidad purificadora.

Estas condiciones hacen que los intensivos en las PTR definidos como DBO5 deban obtener su valor en función de los extensivos IP y PGO, con lo que se invierte la estructura de la función de e/i para convertirse en i/e , lo que provoca una operación errónea y de confusión que es como han estado funcionando la mayoría de PTAR en el área urbano-rural [21], con lo que en la Ec. (2), se generó la relación que constituye la Ec. (3):

$$/e,i/PTAR=i(OD,DBO5)f(e(IP,PGO)) \quad \text{Ec. (3)}$$

En esta situación el comportamiento extensivo $e(IP, PGO)$ señala un incremento excesivo de la tasa de degradación ambiental, TIDAM, [3], pues mientras mayor es la incidencia de las variables IP y PGO, mayor será el impacto intensivo del sistema, al punto de no servir el esquema de tratamiento en su misión de protección frente a la degradación ambiental.

El incremento de los valores en IP y PGO, pareciera incontrolable, razón por la cual la reducción de su impacto solo se obtuvo con la introducción en el escenario de la variable "tecnología apropiada a la situación en Ecuador", TAE, de la siguiente manera:

$$e(IP,PGO) \mapsto e(TAE)$$

Así la resolución del sistema de hipótesis planteadas se logró con la expresión de la Ec. (4):

$$/e,i/PTAR=i(OD,DBO5)f(e(TAE)) \quad \text{Ec. (4)}$$

H02: El mejoramiento de la tecnología de tratamiento tampoco asegura la calidad en el receptor toda vez que la norma ambiental TULAS señala condiciones para la descarga en un ecosistema general y no distingue la condición de país con alta biodi-

versidad, las necesidades de la megadiversidad, Tabla 2, Fig. 5, 6, 7.

En las condiciones del receptor regional RR, el incremento del número de plantas de tratamiento NPTAR, Fig. 1 – tendencia que cada GAD puede adoptar para resolver el tema ambiental con su propia PTAR de tecnología mejorada –, bajo los estándares ambientales actuales TULAS, aspecto que en la modelación tan solo ocasionó aún más el incremento de TIDAM, pues la normativa no considera la condición de alta calidad que exige el ecosistema receptor en su condición de megadiverso. La Fig. No.1 señala el incremento de la variable NPTAR misma que es de esperarse continuará —al 2016 experimentó un incremento del 25% – situación que junto a un proceso largo de redefinición de normativa señala un impacto degradativo en RR. La introducción de este conjunto de condiciones al sistema de derivación de la E. (2) generó la siguiente relación, Ec. (5):

$$/e,i/RR=i(OD,DBO5)f(e(NPTAR,TULAS)) \quad \text{Ec. (5)}$$

Una opción de solución consistió en bajar la velocidad de crecimiento de la variable NPTAR, lo que condujo a la identificación de la estrategia regional: la regionalización y por tanto la creación de consorcios regionales de PTAR, lo que permitió reducir la dependencia del incremento de PTAR, como se puede apreciar de la información en las Fig. 3 y 5.

$$e(NPTAR,TULAS) \mapsto e(\text{Consortios})$$

Por otro lado, el mejoramiento de la variable TULAS, se resolvió cambiando el intensivo del sistema por otro que señalice de mejor manera la exigencia de la megadiversidad en el receptor. Así se cambió la definición del intensivo del sistema regional por otro que refleja la condición requerida:

$$i(OD,DBO5) \mapsto i(\text{fósforo,nitrógeno})$$

La resolución de largo plazo para el sistema de hipótesis así planteado se logró con la expresión definida en la Ec. (6):

$$/e,i/RR=i(\text{fósforo,nitrógeno})f(e(\text{Consortios})) \quad \text{Ec. (6)}$$

Finalmente, la resolución simultánea de las hipótesis H01 y H02, se obtuvo con la integración de las ecuaciones que albergan las soluciones antes establecidas para cada una de ellas.

Con lo que -revirtiendo la especulación original, común en la actualidad [2]-, la ecuación que sirve de

base para el planteamiento correcto de la política pública a nivel regional, es una operación de integrales parciales desde las derivadas obtenidas de las ecuaciones Ec. (4 y (6 cuya expresión final se presenta en la Ec. (7):

$$m(/ef(i)PTAR)/(ef(i)RR)=m(e(TAEf(\text{Consortios})i(-\text{fósforo,nitrógeno})) \quad \text{Ec. (7)}$$

Conclusiones

El empeño por dar solución a la creciente demanda habitacional, programa que a nivel nacional impulsó la construcción de soluciones habitacionales que demandaron infraestructura sanitaria, ocasionó también el incremento del número de plantas de tratamiento de agua residual.

La adopción de políticas ambientales como uno de los ejes transversales para el desarrollo económico y social en los sistemas urbanos –rurales, impulsó al mismo tiempo el incremento de políticas públicas ambientales en los GADS.

Las dificultades de financiamiento para solventar la organización apropiada del control ambiental y consecuente puesta en marcha de los planes operativos de las GADS, es un aspecto que junto a la falta del talento humano especializado en la operación y mantenimiento de los sistemas han generado impactos claramente negativos en el ecosistema de los receptores regionales.

- Las diferentes tecnologías utilizadas para establecer el perfil tecnológico de las plantas de tratamiento no han sido estandarizadas todavía, lo que ha dificultado la operación de los sistemas bajo directivas heterogéneas de operación.
- La normativa ambiental nacional, TULAS, no diferencia los límites de contaminación por descarga urbana tratada, en función de la sensibilidad ecológica que hace el contexto de los receptores regionales de un país biológicamente megadiverso.
- El sistema de modelación propuesto permite construir política pública diferenciada para diferentes tipos de organización administrativa en los GADS, de tal manera que pudieran constituir en mancomunidades para atender el control de las descargas de manera apropiada.
- Se propicia la adecuación de incentivos a fin de renovar la tecnología planteada al momento y mejorarla u optimizarla con tecnología apropiada para Ecuador.



- La puesta en marcha de este sistema de normativas busca el desarrollo empresarial para la producción de máquinas de tratamiento de agua urbana.
- La normativa así concebida exige también la consideración de medidas de reciclaje industrializado para así solventar con eficacia el aprovechamiento de subproductos de alto perfil industrial como el fósforo y nitrógeno.
- La modelación así obtenida permite además correr los datos y detalles que configuran el desempeño de cada una de las Plantas de Tratamiento de Agua Residual, con especial atención a la demanda diferenciada que se presentará en el futuro por parte de futuros operadores en el sistema.
- El conjunto de modelos presentados facilita la puesta en marcha de un sistema operativo único a ser alimentado por diferentes operadores con base en minería de datos.

Referencias bibliográficas

- [1] A. N. Roth Deubel, Políticas Públicas: formulación, implementación y evaluación, Bogotá: Ediciones Aurora, 2014.
- [2] L. V. D. L. R. M. BEN TAPPIN, You are not going to change your mind, , New York: The New York Times company, 2017.
- [3] J. A. Rosero, «Formulación de políticas regionales y contabilidad ambiental a base del análisis del sistema de degradación ambiental, con el apoyo del sistema de información geográfica d,» Geografía y medio ambiente, vol. 8, p. 5, 1997.
- [4] J. A. Rosero, «Desarrollo Urbano Rural en base al control del medio ambiente- Caso Babahoyo,» de Primer congreso ecuatoriano del medio ambiente, Quito, 1987.
- [5] J. A. Rosero, «Evaluación rápida de impactos ambientales de desechos domésticos e industriales en Cuencas Hidrográficas,» de Primer congreso ecuatoriano del medio ambiente, Quito, 1987.
- [6] E. Szücs, Similitude and modelling, Budapest: Akademiai Kiadó, 1980.
- [7] J. A. Rosero, Interrelationship between Sewerwater Treatment Plants and Regional Receptor, Budapest: Universidad Técnica de Budapest, BME, 1985.
- [8] UNACH, Tratamiento de agua residual
- [9] Viceministerio de la sociedad de la información, ministerio de telecomunicaciones y de la sociedad de la información, Libro Blanco de Territorios Digitales en Ecuador, QUITO: Ministerio de telecomunicaciones y de la sociedad de la información, 2014.
- [10] M. M. O. F. Iñiguez Nube, Análisis del cumplimiento del plan anual de políticas públicas del Gobierno Autónomo Descentralizado Parroqui El Cabo, Cantón Paute, período 2012, Cuenca: Univesidad de Cuenca, 2014.
- [11] J. A. Rosero, «Desarrollo urbano rural en base al control del medio ambiente- caso Babahoyo. Documento 1.7 del tema Bases para una política y estrategia de manejo ambiental en el Ecuador,» Programa EDUNAT II, USAID, Quito, 1987.
- [12] INEC. (2015). Estadística De Información Ambiental Económica En Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales 2015 (Agua Y Alcantarillado), 2015, 1–34. Retrieved from <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/>
- [13] INEC (Insitto de estadísticas y Censos). (2012). Contenido, 1–45. Retrieved from http://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Encuestas_Ambientales/Municipios/Presentacion_GADMunicipios.pdf
- [14] Salazar, J. (2016). Escuela Superior Politécnica De Chimborazo Escuela Ingeniería Química.
- [15] Morales, M. (2017). Escuela Superior Politecnica De Chimborazo. Infoplc.Net, 2–145. Retrieved from http://www.infoplc.net/files/descargas/schneider/infoplc_net_18t00436.pdf
- [16] Mendoza, D. (2011). Evaluación y rediseño de la planta de tratamiento de aguas residuales del barrio cañaverl de la ciudad de nueva loja.
- [17] Alvarado, E., & Cárdenas, A. (2015). Sistematización de la Información de las Plantas de Depuración de Aguas Residuales del Sector Rural del Cantón Cuenca - Azuay, 1–129.
- [18] Villacresses, A. (2015). AUTOR Andrés Villacreses TUTORA : Ms . C Margarita Jara Pastaza-Ecuador Miembros del tribunal de graduación.
- [19] Caicedo, J., & Coello, J. (2010). Determinación De La Calidad Del Agua De Los Ríos De La Provincia De Chimborazo, Parámetros: Demanda Bioquímica De Oxígeno, Nitratos, Sólidos Totales Disueltos, Oxígeno Disuelto Y Amonio, 53. Retrieved from <http://dspace.unach.edu.ec/bitstream/51000/714/1/UNACH-EC-IMB-2010-0001.pdf>
- [20] Villacís, B., & Carrillo, D. (2011). Estadística Demográfica en el Ecuador: Diagnóstico y Propuestas, 74. Retrieved from <https://www.mendeley.com/viewer/?fileId=441ee5f7-1471-9701-6cd7-8fc3e14f881e&documentId=a2f0fa36-f032-3544-badb-7d07bf4ee20d>
- [21] Ortiz, D. (2011). La Universidad Católica de Loja Escuela de Ingeniería Civil Manual de Tratamientos Biológicos de Aguas Residuales para poblaciones medianas de la Región Sur del Ecuador Autor Diego Fabricio Ortiz Muñoz Director : Ing . Mónica Cisneros Abad, 1–388.

Anexo

Hipótesis	Modelación	Solución al problema	Propuesta de Normativa
Las mediciones reportadas en el receptor final muestran que la operación de las PTAR es incorrecta y por tanto los parámetros de las variables OD y DBO5 no cumplen con la normativa.	$/e, i/PTAR = i(OD, DBO5)f(e(IP, PGO))$		
	$/e, i/PTAR = i(OD, DBO5)f(e(TAE))$	Intensificar el tratamiento de agua residual mediante la introducción de Tecnología Apropriada a las condiciones de Ecuador, TAE.	
	$e(IP, PGO) \mapsto e(TAE)$	Reconversión tecnológica e impulso al desarrollo empresarial para la producción de máquinas de tratamiento de agua urbana.	En lugar de crear normativa para el control del incremento de la población, y de reglamentos para la regulación de los GADS, se propone crear estímulos para la introducción de Tecnología Apropriada a las condiciones de Ecuador.
El incremento del número de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales no reduce la tasa de degradación ambiental TIDAM en el receptor final	$/e, i/RR = i(OD, DBO5)f(e(NPTAR, TULAS))$		
	$e(NPTAR, TULAS) \mapsto e(Consortios)$	Incentivos y regulación a nivel de la Asociación de Municipalidades del Ecuador para impulsar mancomunidades que operan y administran sistemas regionales de tratamiento de aguas residuales.	
	$i(OD, DBO5) \mapsto i(\text{fósforo, nitrógeno})$	Reaprovechamiento de subproductos del tratamiento de aguas urbanas como el fósforo para consumo regional.	Crear normativa técnica que permita diferenciar los límites de contaminación en función de la condición de alta sensibilidad que tiene el ecosistema receptor debido a la condición de país megadiverso.
	$m(/ef(i)PTAR)(/ef(i)RR) = m(e(TAEf(Consortios)i(\text{fósforo, nitrógeno}))$		Regionalización en sistemas mancomunados del servicio de tratamiento de agua residual con especial atención a las condiciones saludables de la megadiversidad nacional.