**Documento del Banco Interamericano de Desarrollo**

**URUGUAY**

**PROGRAMA DE FORTALECIMIENTO DE LA GESTIÓN AMBIENTAL DEL MVOTMA**

**UR-L1157**

**ANÁLISIS ECONÓMICO EX-ANTE**

Este documento fue preparado por: Martin Cicowiez, Matías Piaggio (consultores externos) y Onil Banerjee (CSD/RND).

Contents

[1.0. Introducción 3](#_Toc12173601)

[2.0. Método y Datos: IEEM-MR Uruguay 3](#_Toc12173602)

[2.1. IEEM-MR-Uruguay 4](#_Toc12173603)

[2.2. Matriz de Contabilidad Social Multi-Regional 8](#_Toc12173604)

[2.3. Otros Datos 10](#_Toc12173605)

[3.0. Escenarios 12](#_Toc12173606)

[3.3. Resultados 34](#_Toc12173607)

[4.0. Análisis Costo-Beneficio 39](#_Toc12173608)

[5.0. Análisis de Sensibilidad 41](#_Toc12173609)

[Referencias 44](#_Toc12173610)

[Apéndice 1: Presentación Matemática de IEEM 48](#_Toc12173611)

# 1.0. Introducción

En este documento analizamos los efectos que tendría, a nivel departamental, la implementación de un programa para Fortalecimiento de Gestión Ambiental del MVOTMA (Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente) de Uruguay. Para ello, implementamos la versión multi-regional del modelo de Equilibrio General Computable (EGC) que forma parte del Integrated Economic-Environmental Modelling (IEEM) Platform.

# 2.0. Método y Datos: IEEM-MR Uruguay

En principio, implementar un Programa de Fortalecimiento de Gestión Ambiental abarca varios aspectos de un sistema socioeconómico-ambiental. Por ejemplo, mejoras en las capacidades de gestión del sector público impactarán – favorablemente – sobre los sectores productivos directamente involucrados (e.g., agricultura). A su vez, promover la adopción de prácticas productivas sostenibles para el sector agropecuario también puede impactar sobre la producción. Asimismo, la introducción de zonas de amortiguación también tendrá efectos directos sobre la producción agropecuaria; por ejemplo, reduciendo las hectáreas disponibles para producción. Naturalmente, estos efectos directos tendrán repercusiones sobre toda la economía, en mayor o menor medida y dependiendo del tamaño de los cambios. En consecuencia, es deseable que el análisis de un Programa de Fortalecimiento de Gestión Ambiental se realice mediante un método que permita cuantificar los efectos tanto directos como indirectos que pudieran generarse. En este sentido, un modelo de equilibrio general computable como el desarrollado en IEEM nos permitirá considerar las consecuencias tanto económicas como ambientales.

En particular, el modelo de equilibrio general computable que se utilizará en esta consultoría forma parte del marco de análisis con la Plataforma IEEM (Integrated Economic-Environmental Modelling) desarrollado por el BID. Así, mediante dicho modelo de EGC será posible evaluar los efectos macro y meso-económicos de corto y largo plazo de distintos shocks, dentro de un marco de consistencia analítica que nos permita enfoques alternativos de equilibrio parcial. La consistencia estará asegurada al considerarse, de manera simultánea, los equilibrios macroeconómicos, los equilibrios sectoriales de oferta y demanda, y la igualdad entre ingresos y gastos de cada uno de los sectores institucionales (hogares, empresas, gobierno, resto del mundo, entre los más importantes). En los últimos años, IEEM se aplicó a diversas cuestiones vinculadas con la interacción entre economía y medioambiente (ver, entre otros artículos, Banerjee et al. 2016, 2019a y 2019b). Además, debido a que implementaremos la variante multi-regional de IEEM, podremos estimar efectos a nivel departamental. Sin embargo, en este trabajo no reportamos resultados departamentales, Por otro lado, la versión multi-regional es necesaria para la vinculación con la modelación de servicios ecosistémicos que se planea hacer fuera del contexto del presente análisis económico ex-ante del programa.[[1]](#footnote-1)

En términos de los datos, la fuente principal de información para calibrar un modelo de EGC como el contenido en IEEM viene dada por una Matriz de Contabilidad Social (MCS). En pocas palabras, una MCS es una matriz cuadrada que muestra todas las transacciones que se realizaron en una economía (sub-nacional, nacional o mundial) durante un año determinado. En nuestro caso, será necesario construir una matriz de contabilidad social multi-regional (multi-departamental) para Uruguay (Figura 3).

En resumen, el método a utilizar en este estudio es una extensión del análisis de equilibrio general computable para aplicarlo al estudio de fenómenos que impactan sobre la economía y el medioambiente. Por otro lado, el análisis de equilibrio general computable será complementado con un modelo de microsimulación para estimar de manera más certera los efectos sobre pobreza y desigualdad.

## 2.1. IEEM-MR-Uruguay

El Apéndice A contiene una descripción completa y detallada del modelo de EGC multi-regional dinámico recursivo desarrollado para este trabajo. En este apartado realizamos una presentación no técnica a fin de ilustrar los principales mecanismos que captura nuestro modelo.

En términos generales, este modelo extiende el modelo utilizado en Banerjee et al. (2016, 2019a, 2019b) para convertirlo en multi-regional. Es decir, aquí modelamos más de una región (i.e., departamentos en nuestro caso) de un país de forma simultánea. Es decir, para cada una de las regiones se identifican productores y consumidores, gobierno, inversores, exportaciones e importaciones, etc. Además, se modela (a) el flujo de bienes y servicios entre regiones, (b) la migración de personas entre regiones, (c) el “commuting” de trabajadores entre regiones, (c) las transferencias de ingreso (factorial) entre regiones, y (d) la existencia de transacciones supra-nacionales tales como exportaciones e importaciones de cada región hacia/desde el resto del mundo y la actividad del gobierno central en cada una de las regiones individuales.

En términos de comercio, cada región puede vender/comprar en la propia región, en el resto del país, y/o en el resto del mundo (i.e., exportaciones e importaciones). El modelo identifica instituciones regionales (e.g., los hogares y gobiernos locales de cada región) e instituciones supra-regionales que operan en todas las regiones (e.g., el gobierno central y el resto del mundo). Además, se supone que existe un mercado de capitales unificado. Es decir ahorro e inversión se igualan a nivel nacional, no regional. En otras palabras, nuestro modelo permite computar la diferencia entre ahorro e inversión en cada región. Sin embargo, no permite determinar el origen de los fondos que financian la inversión en cada una de las regiones del país modelado. En los mercados mundiales, se supone que todas las regiones del país modelado son pequeñas, por lo que toman como dados los precios de sus exportaciones e importaciones. En cambio, hay mercados nacionales en los que se determinan los precios de las exportaciones e importaciones entre regiones del país modelado.

Para modelar el comercio en dos direcciones (i.e., el mismo bien o servicio se exporta e importa de manera simultánea), suponemos que los productos se diferencian según su región y país de origen. Así, para un consumidor de una región particular, los productos locales son un sustituto imperfecto de los productos del resto del país. A su vez, ambos son diferentes del mismo producto pero importado desde el resto del mundo. En la implementación del modelo, suponemos que la elasticidad de sustitución entre productos locales y resto del país puede ser diferente (i.e., más elevada) de la elasticidad de sustitución entre cualquiera de ellos y las importaciones desde el resto del mundo. La Figura 1 muestra cómo se modela el lado del consumo para cada producto identificado en el modelo.

Figura 1: Lado consumo; comercio inter-regional e internacional



Nota: Donde QQ = oferta total en región, QDMR = oferta local + importaciones desde el resto del país, QM = importaciones desde el resto del mundo, QD = oferta local, y QMR = importaciones desde el resto del país.

Fuente: Elaboración de los autores.

Por su parte, realizamos un supuesto simétrico para el lado de la producción. Es decir, suponemos que la elasticidad de transformación entre ventas al mercado local y al resto del país puede ser diferente (i.e., más elevada) de la elasticidad de transformación entre cualquiera de ellos y las exportaciones al resto del mundo. La Figura 2 muestra cómo se modela el lado de la producción para cada producto identificado en el modelo.

Figura 2: Lado producción; comercio inter-regional e internacional



Nota: Donde QX = producción total en región r, QDER = ventas locales + exportaciones hacia el resto del país, QE = exportaciones hacia el resto del mundo, QD = ventas locales, y QER = exportaciones hacia el resto del país.

Fuente: Elaboración de los autores.

El modelo permite que existan movimientos de la oferta laboral entre las regiones del país modelado. Para ello, se utiliza una función CET que permite asignar la oferta de trabajo regional entre distintas regiones. Así, aumentos en los salarios del área metropolitana respecto de los salarios del resto del país hacen aumentar la oferta laboral en el primer mercado y reducirla en el segundo. Naturalmente, la calibración del modelo requiere de una estimación del número de trabajadores de cada región que trabajan en una región diferente a la que habitan. La migración de trabajadores entre regiones se supone función del salario esperado en cada una de ellas (i.e., el producto entre salario y la tasa de empleo). Así, los distintos segmentos del mercado laboral nacional permiten la existencia de desempleo modelado mediante una curva de salarios.

En términos del factor capital, pueden considerarse varias alternativas: capital específico de cada región y sector, capital móvil entre sectores pero no entre regiones, y capital móvil entre regiones y sectores. Las alternativas mencionadas pueden aplicarse a todo el capital o a porciones pre-definidas del mismo.

El modelo presta especial atención al modelado de los diferentes niveles de gobierno. En particular, se identifican ingresos y gastos de los gobiernos locales y central. Los primeros actúan en cada una de las regiones (i.e., recaudando impuestos y gastando). Así, los gobiernos sub-nacionales y central gravan la misma base imponible. En cambio, otros impuestos sólo son recaudados por el gobierno central; por ejemplo, aranceles sobre las importaciones. Por su parte, el gobierno central actúa en todas las regiones recaudando impuestos y gastando. Los gastos que pueden realizar ambos niveles de gobierno se diferencian entre corrientes y de capital o inversión. Finalmente, tanto los gobiernos locales como el central pueden transferir dinero hacia/desde el otro nivel de gobierno y el resto del mundo. Además, ambos niveles de gobierno pueden realizar transferencias a los hogares.

## 2.2. Matriz de Contabilidad Social Multi-Regional

Como dijimos, en este trabajo, debido a la relevancia de considerar la dimensión regional en el análisis, empleamos la variante multi-regional de IEEM. Como consecuencia, y partiendo de la MCS extendida con aspectos ambientales que utilizamos en trabajos anteriores con IEEM Uruguay, construimos una MCS multi-regional para Uruguay. En particular, nuestra matriz multi-regional para Uruguay 2017 identifica a cada uno de los 19 departamentos uruguayos. Además, considera las interrelaciones entre ellos y entre cada uno de ellos con sectores supra-regionales como, por ejemplo, el gobierno central.

A modo de resumen, la Figura 3 muestra un esquema de la MCS que construimos para calibrar (i.e., hacer operacional) IEEM-MR Uruguay. Las cuentas de la MCS que construimos pueden separarse en dos grandes grupos: locales y supra-regionales o nacionales. Las primeras se utilizan para capturar las estructuras productivas y de consumo de cada una de las regiones – departamentos en el caso de Uruguay – consideradas en el análisis. Las segundas se refieren a cuentas que tienen relación con todas las regiones de forma simultánea. En este grupo se ubican, por ejemplo, el gobierno central, el resto del mundo, y la cuenta de ahorro-inversión. En el último caso, se trata de la cuenta que recoge los ahorros de las instituciones al tiempo que financia las inversiones, tanto públicas como privadas. En el caso del sector privado, suponemos que existe un inversor nacional que asigna el ahorro entre las distintas regiones consideradas. Es decir, cada región no puede invertir por sobre el ahorro que genera.

La Figura 3 presenta un esquema de la MCS que elaboramos para calibrar nuestro modelo de EGC multi-regional. Para simplificar, se muestra un ejemplo con dos regiones: región Montevideo (mvd) y resto de Uruguay (rdu). Como vemos, pueden identificarse los siguientes grupos de celdas:

* (a) transacciones locales en región Montevideo y el resto de Uruguay: cuadrantes [mvd,mdv] y [rdu, rdu].
* (b) transacciones entre región Montevideo y el resto de Uruguay (e.g., exportaciones e importaciones de productos y servicios factoriales): cuadrantes [mvd,rdu] y [rdu,mvd].
* (c) transacciones entre región Montevideo y el resto de Uruguay y las cuentas supra-regionales (e.g., transferencias hacia/desde el resto del mundo y/o el gobierno central): cuadrantes [supra,mvd] y [supra,rdu].
* (d) transacciones que se realizan a nivel nacional (e.g., cuenta corriente BdP e igualdad entre ahorro e inversión): cuadrante [supra,supra].

Figura 3: Esquema MCS para calibración modelo IEEM Multi-Regional



Fuente: Elaboración de los autores.

Las principales fuentes de información que utilizamos para elaborar la MCS multi-regional para Uruguay 2017 son: MCS Uruguay 2013 nacional; estimaciones sobre PIB departamental obtenidas de OPP (2016); ECH para estructura del empleo sectorial por departamento; ENGIH para consumo privado por departamento; e información sobre uso de la tierra por departamento obtenida de DIEA en combinación con Censo General Agropecuario 2011.

La Tabla 1 contiene un listado de las 14 actividades y productos identificados en la MCS multi-regional de Uruguay 2017. Por su parte, el modelo identifica 5 factores productivos, aunque la tierra se diferencia entre cultivos, ganadería, y forestal.

Tabla 1: Cuentas MCS multi-regional de Uruguay 2017



Fuente: Elaboración de los autores.

## 2.3. Otros Datos

IEEM-MR Uruguay requiere, además de la MCS, estimaciones sobre elasticidades de oferta y demanda. El documento con los supuestos del modelo contiene un listado detallado de todas las elasticidades utilizadas para hacer operacional IEEM-MR Uruguay.

IEEM-MR Uruguay, al igual que cualquier otro modelo de EGC requiere de elasticidades de oferta y demanda. En particular, la Tabla 2 muestra las elasticidades de sustitución entre factores de producción (columna sigma\_va), elasticidades de sustitución entre compras nacionales e importaciones (columna sigma\_q), elasticidad de sustitución entre ventas nacionales y exportaciones, (columna sigma\_x), y elasticidad-ingreso de los distintos productos (columna leselas). La información para sigma\_va se obtuvo de Hertel et al. 2012, y son ampliamente utilizadas en la literatura que emplea modelos de EGC. En cambio, las demás estimaciones se basan en trabajos que estiman elasticidades específicas para Uruguay (ver Flores y Cassoni 2010 y Muhammad 2011).

Tabla 2: Elasticidades IEEM-MR Uruguay



Fuente: Elaboración de los autores.

La Tabla 3 resume la estructura productiva nacional tal y como aparece capturada en el escenario primer año de simulación (i.e., 2013). La primera y la segunda columnas (VAshr y PRDshr) muestran la participación sectorial en el valor agregado y en el valor bruto de producción, respectivamente. En 2013, el sector agrícola primario fue responsable de 8.8 y 8.4 por ciento del valor agregado y del valor bruto de la producción, respectivamente. A su vez, las exportaciones de otros cereales y oleaginosas representaron, en conjunto, 19.1 por ciento del total exportado (ver columna EXPshr), con exportaciones que rondan el 73 por ciento de su producción (ver columna EXP-OUTshr). Las importaciones se concentran en productos manufacturados (ver columna IMPshr). Además, los sectores secundarios tales como las manufacturas de origen industrial son los más orientados a la importación (ver columna IMP-DEMshr).

Tabla 3: Estructura productiva Uruguay 2013

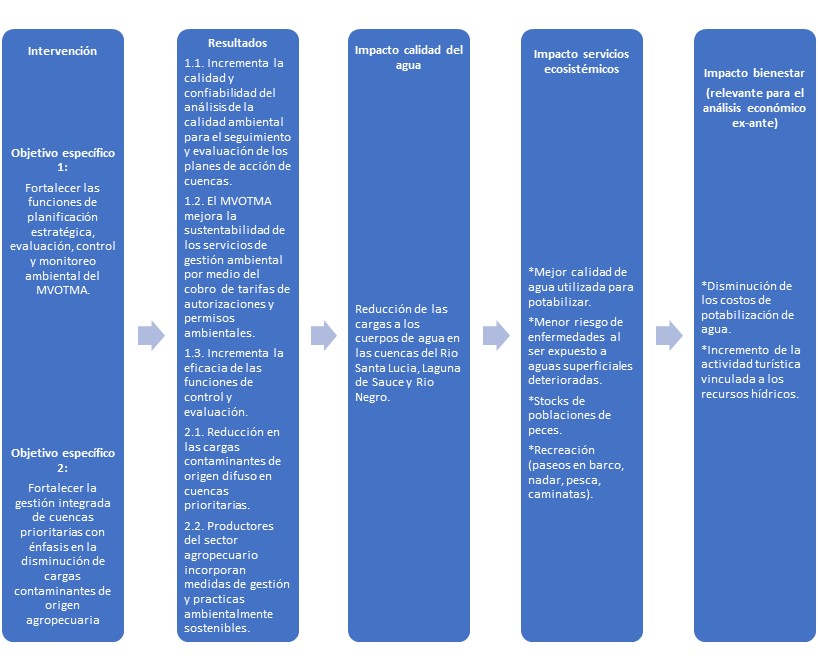


Fuente: Elaboración de los autores.

# 3.0. Escenarios

En este apartado se describen los escenarios que desarrollamos para evaluar el efecto del programa. En todos los casos, el período de ejecución del programa es 2020-2024. Sin embargo, los efectos de varios aspectos del programa son permanentes por lo que nuestro análisis abarca el período 2020-2035. En lo que sigue, detallamos cada uno de los escenarios que simulamos empleando IEEM-MR para Uruguay. En términos generales, el programa tiene como principal objetivo fortalecer al MVOTMA en la gestión ambiental con la finalidad de mejorar la calidad de agua. Los escenarios descritos a continuación simulan distintos elementos del programa mientras que su impacto económico se cuantifica a través de cambios en la provisión de servicios ecosistémicos. La teoría de cambio del programa, presentada en la Figura 4, muestra cómo se traducen las actividades del programa en cambios en servicios ecosistémicos, los cuales se valoran para estimar los beneficios del programa.

Figura 4: Teoría del cambio del programa en la calidad del agua y el bienestar

Fuente: Elaboración de los autores con base en Keeler et al., 2012.

En todas las simulaciones, a menos que se indique algo diferente, utilizamos la siguiente regla de cierre macroeconómico. Las reglas de cierre macroeconómico se requieren para cualquier modelo de equilibrio general computable. La cuenta corriente de la balanza de pagos (i.e., las entradas y salidas de divisas) se equilibra mediante cambios endógenos del tipo de cambio real que afectan exportaciones e importaciones; los demás componentes de la balanza de pagos son exógenos. Por ejemplo, suponemos que las remesas de los hogares hacia/desde el resto del mundo no se modifican como consecuencia de los escenarios que simulamos. El presupuesto del gobierno central se equilibra mediante movimientos endógenos de la tasa del impuesto directo que enfrentan hogares y empresas. Por su parte, los gobiernos locales que reciben las inversiones cierran su presupuesto con transferencias desde el gobierno central. El ahorro y la inversión se equilibran a nivel nacional mediante modificaciones de la inversión.

**BASE:** El escenario BASE o de referencia constituye el punto de referencia respecto del cual se comparan los resultados de los demás escenarios. El escenario BASE se genera suponiendo que la economía de todos los departamentos de Uruguay crece a las tasas que aparecen en la Figura 5. Como vemos, suponemos que, en promedio, la tasa de crecimiento para el período 2019-2035 es 2,9 por ciento anual, siguiendo las proyecciones del FMI (FMI, 2019). Por su parte, y según proyecciones del INE, suponemos que la oferta laboral crece a la tasa de crecimiento poblacional, la cual es 0.2%. La oferta de recursos naturales excepto la tierra crece con el PIB. Naturalmente, éstos y los demás supuestos podrían modificarse. En cualquier caso, en la medida que un determinado supuesto se mantenga en todos los escenarios (i.e., base y resto), su impacto sobre los resultados se reduce.

Figura 5: Tasa crecimiento PIB 2018-2035 (%)

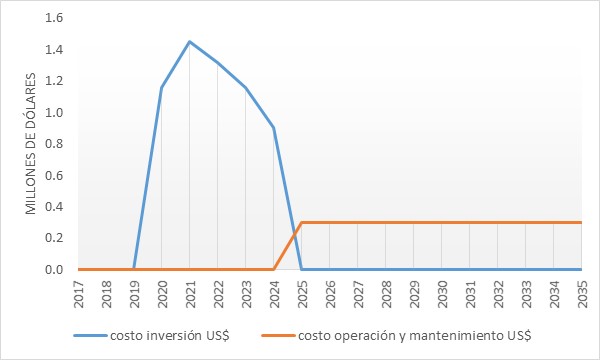


Fuente: Elaboración de los autores.

**INVEST.** En este escenario analizamos los efectos que tendría un incremento de la inversión pública de 6 millones de dólares financiada con recursos externos. Es decir, se excluyen costos y beneficios más allá de los directamente vinculados al proceso de inversión en sí mismo. Los costos del programa están expresados en dólares corrientes (mayo 2019). Por lo tanto, dado que el año base del modelo es 2017, utilizamos el tipo de cambio del 24/5/2019 (28.807) y la inflación diciembre 2017-abril 2019 (12.5%) para expresar los montos de la inversión a precios de 2017. La inversión anual financiada por el BID se muestra en la Figura 6. Es importante mencionar que los costos del programa no pueden asignarse a cada uno de los demás escenarios aquí considerados. Por lo tanto, solo consideramos el costo global del programa. El monto total del programa asciende a 8.286.082 dólares, con la diferencia respecto de los 6 millones mencionados más arriba financiada por la contraparte local. Implícitamente, nuestras simulaciones suponen que el gobierno de Uruguay financia esta porción de la inversión sin alterar la inversión total que realiza en el escenario BASE.

Los costos incrementales del programa relacionados a la operación y mantenimiento de los nuevos sistemas de información y monitoreo se estiman en un monto equivalente a 5% anual del monto total de la inversión.

Figura 6: Inversión (millones de dólares)



Fuente: Elaboración de los autores.

**LGOVPRD.** El escenario LGOVPRD capta los aspectos claves del primer objetivo del programa, y simula un aumento en la eficiencia del MVOTMA y el ahorro de recursos. Este efecto sobre la eficiencia del MVOTMA tiene tres canales a través de los cuales el programa generaría ahorros del presupuesto básico de la institución: (i) recaudación por prestación del servicio de evaluación de impacto ambiental; (ii) incremento en la eficiencia de las actividades de monitoreo y control, como consecuencia de los nuevos sistemas de información que integran el sensoramiento remoto y, por ende, el poder realizar las mismas actividades con menor presupuesto; y (iii) ahorros en el sector público asociados a la reducción del número de emergencias asociadas con el deterioro de la calidad del agua. El escenario LGOVPRD se enfoca en el segundo canal: incremento en la eficiencia de las actividades de monitoreo y control.

De acuerdo a la Rendición de Cuentas presentada por el MEF (2018), el total del presupuesto adjudicado al MVOTMA en 2017 fue de $U8,926,250,000 (pesos uruguayos corrientes; (MEF, 2018). De éstos, $U430,691,000 fueron destinados a la DINAMA, las cuales representan 4.8% del total del presupuesto asignado al MVOTMA. Casi la totalidad del mismo (98.2%) se destina al Programa de Gestión Ambiental y Ordenamiento del Territorio ($U422,939,000). Se ha de tener en cuenta que estos montos refieren al presupuesto nacional, y no a los programas financiados por organismos internacionales. Los objetivos sustantivos de la DINAMA respecto a ese programa son:

* Fortalecimiento de los procesos de participación y descentralización
* Mejora de los instrumentos de gestión ambiental
* Mejora de la gestión de residuos sólidos
* Promover y adoptar patrones sostenibles de producción y consumo
* Gestión Sustentable de Cuencas
* Observatorio Ambiental y Sistema de Información Ambiental
* Crear un modelo innovador de la gestión ambiental integrada del estado a través del desarrollo del Sistema Nacional Ambiental y mejora de la gestión de la Autoridad Ambiental Nacional.

En general, todos los objetivos sustantivos de la DINAMA, excepto aquel relacionado con la mejora en la gestión de residuos sólidos, están relacionados con el control de contaminación difusas de las actividades agropecuarias y la gestión de las cuencas.

Tabla 4: Presupuesto Nacional, MVOTMA y DINAMA

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | $U corrientes 2017 | % Presupuesto nacional | % MVOTMA |
| Presupuesto Nacional 2017 | 480,637,800,000 |  |  |
| Presupuesto MVOTMA 2017 | 8,926,250,000 | 1.8572% |  |
| Presupuesto DINAMA 2017 | 430,691,000 | 0.0896% | 4.8% |
| Presupuesto Programa Gestión Ambiental y ordenación del territorio gestionado por DINAMA | 422,938,562 | 0.0880% | 4.7% |

Fuente: elaboración de los autores con base en MEF, 2018.

Para este escenario, es razonable suponer que la ejecución del Programa representaría la mejora en la eficiencia de los recursos de los componentes del Programa de Gestión Ambiental y Ordenamiento Territorial que gestiona la DINAMA. En este momento, no es posible determinar por cuanto será el aumento en eficiencia y, por lo tanto, la Tabla 4 presenta los montos que podrían redirigirse con otros fines bajo diferentes escenarios. La distribución temporal de estos ahorros se hace de acuerdo al cronograma de desembolsos del préstamo (19.3% en el primer año, seguido por 24.2%, 21%, 19.4%, y 15.1% en el quinto año) con un retardo temporal de dos años.

Tabla 4: Escenario **LGOVPRD**

|  |  |
| --- | --- |
|  | $U corrientes 2017 |
| Presupuesto Programa Gestión Ambiental y ordenación del territorio gestionado por DINAMA | 422,938,562 |
|  |  |
| Escenarios | $U ahorrados |
|  |  |
| 1% | 4,229,386 |
|  |  |
| 5% | 21,146,928 |
| 10% | 42,293,856 |
|  |  |

Fuente: elaboración de los autores.

En este grupo de escenarios se consideran aumentos de la productividad laboral vinculados al fortalecimiento institucional que se promueve con el programa. Por ejemplo, se espera que los tiempos de respuesta del MVOTMA para atender cuestiones vinculadas con el medio ambiente se reduzcan. Así, este escenario supone que la productividad laboral de las actividades del sector público vinculadas a las cuestiones objetivo del programa se incrementan gradualmente – y de acuerdo a lo dicho más arriba -- en 1, 5 o 15 por ciento en los escenarios pesimista, central, y optimista, respectivamente. En la práctica, el shock que se introduce es relativamente pequeño. Por ejemplo, en el escenario optimista, se supone que la productividad de la actividad administración pública, educación, salud se incrementa en 0,03 por ciento respecto de la base para el período 2026-2035. El shock sobre productividad laboral se aplica al trabajo empleado en administración pública ponderado por la participación que tiene la DINAMA en el presupuesto público nacional (i.e., 0.09% de acuerdo con la información de la Tabla 4).

El contenido de este escenario se vincula con el siguiente componente de la matriz de resultados del programa:

Objetivo Especifico 1. Fortalecer las funciones de planificación estratégica, evaluación, control y monitoreo ambiental del MVOTMA.

**BUFFER:** En este escenario, simulamos la creación de zonas de amortiguación en las cuencas del Río Santa Lucia, Río Negro, y Laguna del Sauce. Este escenario capta dos impactos principales del establecimiento de zonas de amortiguación. Por un lado, la implantación de las zonas de amortiguación implica el retiro de áreas al margen de los cursos de agua de usos productivos. Por otro lado, su establecimiento reduce la erosión y contribuye a la productividad agrícola. Además de estos impactos, las zonas de amortiguación tienen un impacto sobre la calidad de agua por el retiro de las actividades agrícolas y ganado de estas áreas y la reducción de escurrimiento.

El retiro de las actividades productivas de las zonas de amortiguación se realiza de manera gradual a una tasa exponencial. Es de esperar que el proyecto comience a tener efectos unos años luego de implementadas las zonas de amortiguación. Esto es debido a que en el primer año se proceda principalmente con aspectos burocráticos y legales, al tiempo que entre el primer y segundo año se comience a calibrar los sistemas de información y de sensoramiento remoto que ayuden a incrementar la capacidad de evaluación y monitoreo de las zonas de amortiguación.

La tabla 5 muestra la distribución de hectáreas que se quitan de la producción agropecuaria por departamento y por año. El programa ha asumido que se recuperarán un total de 70,000 ha. Esto representa 24% del total de las áreas buffer de las cuencas del Río Santa Lucia, Río Negro y Laguna de Sauce. Las 70,000 ha han sido distribuidas de manera proporcional a la superficie total de las zonas de amortiguación por departamento. Se asume que la tasa de retiro de actividades agrícolas es de 20% anual y que no se regenerará bosque ripario en ninguno de los departamentos hasta que el proyecto comience a tener resultados en el fortalecimiento de las actividades de DINAMA, a partir del segundo año.

Tabla 5: % de área de zona de amortiguación quitada de la producción agrícola por año por departamento.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Año | CANELONES | CERRO LARGO | COLONIA | DURAZNO | FLORES | FLORIDA | LAVALLEJA | MALDONADO | MONTEVIDEO | PAYSANDU | RIO NEGRO | RIVERA | SAN JOSE | SORIANO | TACUAREMBO |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2 | 381 | 813 | 0.448 | 1,271 | 515 | 1,634 | 411 | 225 | 9 | 23 | 852 | 1,201 | 668 | 743 | 2,217 |
| 3 | 457 | 975 |  | 1,525 | 618 | 1,961 | 493 | 270 | 10 | 27 | 1,023 | 1,441 | 802 | 892 | 2,660 |
| 4 | 549 | 1,170 |  | 1,830 | 742 | 2,353 | 592 | 203 | 12 | 32 | 1,227 | 1,730 | 962 | 1,070 | 3,192 |
| 5 | 345 | 1,311 |  | 2,195 | 890 | 2,823 | 80 |  | 15 | 39 | 1,473 | 915 | 312 | 855 | 3,831 |
| 6 |  |  |  | 2,635 | 1,068 | 1,772 |  |  | 18 | 47 | 1,143 |  |  |  | 1,247 |
| 7 |  |  |  | 3,161 | 1,282 |  |  |  | 21 | 56 |  |  |  |  |  |
| 8 |  |  |  | 2,121 |  |  |  |  | 26 | 67 |  |  |  |  |  |
| 9 |  |  |  |  |  |  |  |  | 19 | 81 |  |  |  |  |  |
| 10 |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 97 |  |  |  |  |  |
| 11 |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 116 |  |  |  |  |  |
| 12 |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 28 |  |  |  |  |  |
| 13 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 14 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 15 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 16 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 17 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

Con base en la tabla anterior, y a modo de resumen, la Tabla 6 muestra la proporción en que se reduciría el número de hectáreas actualmente productivas en cada uno de los departamentos.

Tabla 6: Proporción del área productiva total destinada a zona de amortiguación en 2035 (porcentaje)



Fuente: Elaboración de los autores.

Por el lado de los beneficios, la evidencia recopilada por Panagos et al. (2018) demuestra que incrementos en la cobertura forestal en cuencas disminuye los niveles de erosión y, como consecuencia, tiene efectos positivos sobre los niveles de productividad de las actividades agrícolas. Esta base robusta de evidencia fue establecida desde los años 1970 e incluye evidencia empírica hasta 2009.

Así, consideramos tres variantes de este escenario. En primer lugar, la variante pesimista supone que no se incrementa la productividad agrícola. En segundo lugar, la variante central supone que el incremento de la productividad agrícola es suficiente como para mantener constante la cantidad efectiva de tierra agrícola. Finalmente, el escenario optimista supone, con base en Panagos et al. (2018), que la productividad agrícola supera en un punto porcentual el incremento computado en el escenario central. En el segundo caso, el escenario se define mediante el siguiente cálculo:

donde es la cantidad efectiva de tierra agrícola computada como el producto entre un índice de productividad () y la cantidad física de tierra agrícola. Luego, es la cantidad de tierra agrícola disponible luego de la introducción de las zonas de amortiguación. Finalmente, es el índice de productividad que debe alcanzarse para mantener constante la cantidad efectiva de tierra agrícola luego de introducidas las zonas de amortiguación.

La Tabla 7 muestra, para el escenario central, los incrementos de productividad en 2035 en cada uno de los departamentos uruguayos. Por construcción, estos valores son similares a los presentados en la tabla anterior. Es decir, en el escenario central, la reducción del área disponible para producción se compensa con incrementos de productividad.

Tabla 7: incrementos de productividad escenario buffer-central en 2035 (porcentaje)



El cronograma de establecimiento de las zonas de amortiguación sigue la tabla 5 que presenta el retiro de áreas de producción para el establecimiento de las zonas de amortiguación. En términos de la distribución de beneficios de este escenario, existen impactos que ocurren en el primer año de implementación de las zonas de amortiguación que se deben a la prohibición de actividades productivas dentro de estas zonas. Esta prohibición implica cesar la aplicación de fertilizantes y otros químicos y la restricción de acceso del ganado y otros animales a estas zonas. También existen impactos que ocurren con un retardo temporal entre: el momento en el cual se empieza a establecer las zonas de amortiguación en el segundo año del programa y la reducción en erosión que esto causará, y; el aumento en la productividad agropecuaria percibido por los productores.

El primer componente de este retardo temporal se debe al tiempo que se requiere para que la vegetación en las zonas de amortiguación crezca para cumplir con su rol en amortiguar el escurrimiento de nutrientes, contaminantes y sedimentos. Esto pueda ser un periodo corto cuando se trata de la regeneración de las pasturas naturales o un periodo más extenso donde se considera la plantación de árboles y otra vegetación. El segundo componente del retardo temporal se debe al tiempo que se requiere para que estas zonas de amortiguación generen un impacto sobre la erosión que luego se traduce en un efecto sobre la productividad agropecuaria.

Existe pocas indicaciones en la literatura para estimar el retardo temporal entre el establecimiento de zonas de amortiguación e impactos sobre la productividad. En varios estudios, el cambio en la cobertura y uso de los suelos se supone que tiene un impacto inmediato sobre los servicios ecosistémicos (ver por ejemplo, (Chaplin-Kramer et al., 2016)). En la ausencia de evidencia empírica para sostener este supuesto, y para mantener una postura conservadora en el diseño del escenario, suponemos que los efectos de productividad que generan las zonas de amortiguación inician 2 años después de haberse creado, y son proporcionales al número de hectáreas que se transforman en buffer según la evolución que se muestra en la tabla 5.

El contenido de este escenario se vincula con el siguiente componente de la matriz de resultados del programa:

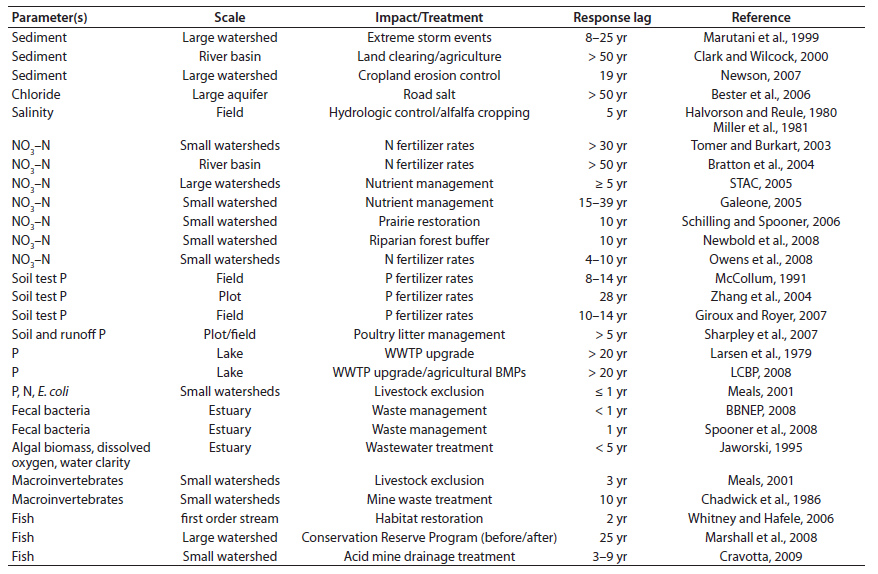
Objetivo Especifico 2. Fortalecer la gestión integrada de cuencas prioritarias con énfasis en la disminución de cargas contaminantes de origen agropecuaria.

Para calibrar los dos escenarios que se describen a continuación (TURISMO y AGUA), es necesario establecer una relación entre las actividades del programa, la calidad del agua y un impacto económico reflejado por un cambio en la oferta de servicios ecosistémicos y el bienestar como fue presentada en la teoría de cambio del programa (figura 4). Los siguientes escenarios dependen de una mejora en la calidad de agua (notar que el escenario anterior de BUFFER se enfocaba en la reducción de erosión y cambios en productividad que esto podría causar, y no la calidad de agua), lo cual es el impacto esperado del programa más al largo plazo.

Antes de entrar en los detalles de los dos escenarios, es importante discutir el retardo temporal entre la implementación del programa y la calidad de agua. El programa se representa por el conjunto de actividades que lo conforman (mejores sistemas de monitoreo y control, zonas de amortiguación y practicas agropecuarios ambientalmente sostenibles). Las principales razones que explican este retardo temporal son: (i) el tiempo necesario para la implementación de las prácticas en producir un efecto (e.g. niveles de fósforo en suelo); (ii) el tiempo que este cambio requiere para llegar al agua (e.g. una reducción en las cargas de fósforo que llegan al agua); (iii) el tiempo que el cuerpo de agua requiere para responder a este efecto, y; (iv) la efectividad y eficacia de los programas de monitoreo en medir la respuesta en términos de calidad de agua.

La magnitud del retardo temporal es muy específica del lugar y del contaminante (Meals, Dressing and Davenport, 2010). Puede variar entre pocos meses para contaminantes de vida corta, cómo ser una bacteria, hasta años respecto a niveles de fósforos excesivos en suelos agropecuarios, o sedimentos acumulados en sistemas de ríos. Además, la efectividad de las medidas puede ser muy heterogénea entre las tres cuencas. Por ejemplo, no es el mismo el tiempo de recuperación de la Laguna del Sauce, que de los cursos de agua en el Río Negro y Río Santa Lucia, debido a que el agua en la Laguna del Sauce se queda estancada, sin correr. La tabla 8 muestra ejemplos de diferentes tipos de intervenciones en diferentes indicadores, y su retardo temporal, extraída de Meals et al. (2010).

Tabla 8: Ejemplo de retardo temporal de la respuesta del ambiente a diferentes intervenciones



Fuente: (Meals, Dressing and Davenport, 2010)

La referencia de Meals et al. (2001) en la tabla 8 muestra que la exclusión del ganado mejora los indicadores de fósforo, nitrógeno, y e.coli en el agua en menos de un año a nivel de una microcuenca. En general, los primeros efectos se ven en el lugar dónde se dejan de producir las emisiones (Meals, Dressing and Davenport, 2010). En el caso de la restauración de pasturas, el retardo temporal puede ser hasta 10 años para los nitratos (referencia de Schilling y Spooner, 2006 en la tabla 8).

Philips and Lindsay (2001) proveen una guía para consideración de los retardos temporales en los programas de restauración en la Bahía de Chesapeake en los Estados Unidos[[2]](#footnote-2) y STAC (2013) analiza la incorporación de retardos temporales en el análisis del programa de restauración de la Bahía. En el caso de nutrientes disueltos de fuentes no puntuales, se espera que el tiempo de residencia de éstos en los cuerpos de agua se reduzcan en un período de entre horas hasta meses cuando las emisiones están asociadas a la escorrentía, al tiempo que pueden llevar entre años y décadas si están asociadas con aguas subterráneas (tiempo mediano igual a 10 años).

Además de los estudios antes mencionados, se han analizado diversos otros estudios, como ser (Broadmeadow and Nisbet, 2004; Bruijnzeel, 2004; Arcos Torres, 2005; Auquilla and Jiménez, 2005; Miserendino *et al.*, 2011; Varanka and Luoto, 2012; Vihervaara *et al.*, 2012; O’Dwyer *et al.*, 2013; Carlson *et al.*, 2014; Curtis and Morgenroth, 2014; Donoghue *et al.*, 2015; Dressing *et al.*, 2016). A partir de esta revisión de la literatura, no se ha encontrado una clara indicación de cómo ajustar el desfase temporal entre la intervención y la calidad del agua. Más aún, Meals et al., (2010) Indican que los modelos de simulación no incorporan estos factores de forma adecuada.

En resumen, a partir de la revisión de la literatura y la tabla 8, podemos distinguir diferentes retardos temporales para diferentes intervenciones y diferentes escalas. En general, se concluye que los efectos de las zonas de amortiguación no demoraran menos de 8 años en tener efectos que puedan ser identificados. Para calibrar los escenarios que siguen, la tabla 9 muestra el porcentaje de recuperación de la calidad del agua por cuenca, bajo un supuesto de que el total de la calidad del agua se recuperará en un período de 8 años. Los pasos para realizar dicho cálculo fueron:

1. Calcular el porcentaje de calidad provisto de forma anual durante los primeros 8 años, asumiendo que en el año 0, la mejora en la calidad del agua es 0%, que en el año 8 es 100%, y que la mejora de la calidad del agua se incrementa anualmente con una distribución uniforme.
2. Se asume que los beneficios en la calidad del agua que se obtienen cada año por las hectáreas de zonas de amortiguación quitadas de la producción agrícola es proporcional a la cantidad que esta represente respecto al total de área de zonas de amortiguación que se ha de regenerar en cada departamento.
3. Se calculó los efectos acumulativos hasta un período de 8 años posterior al retiro de la última hectárea de las 70,000 ha que se ha comprometido el programa

A continuación, se explica como estas estimaciones de retardo temporal se aplicaron en el escenario TURISMO y el escenario AGUA.

Tabla 9: Porciento de recuperación de la calidad del agua sobre el 100% de su efecto total bajo supuesto de 8 años



Fuente: Elaboración de los autores.

**TURISMO.** En este grupo de escenarios se supone que reducciones en el nivel de nutrientes y otros contaminantes del agua evitarán efectos negativos sobre la demanda turística y el número de días que los turistas pasan en cada uno de los siguientes departamentos costeros con playas turísticamente importantes: Maldonado, Colonia, Montevideo, Canelones, y Rocha. En 2019, durante la temporada estival de 2019 las playas de Montevideo, Canelones y Maldonado tuvieron periodos de no aptitud para turismo por episodios de cianobacterias y esto ha generado un impacto negativo sobre el gasto turístico in situ.[[3]](#footnote-3) El fenómeno de brotes de cianobacteria es altamente serio para la población local tanto como para los turistas y estar expuesto a estos pueden afectar al sistema nervioso y al hígado y la piel, provocando irritación en la epidermis, diarrea y vómitos (Aguilera et al., 2018). El cambio climático aumentará la intensidad y frecuencia de estos brotes los cuales representan un peligro importante para la salud humana (Paerl and Huisman, 2008, O’Neil et al., 2012) y la industria turística del país.

En la modelación con la Plataforma IEEM se supone que en la línea base, la proyección de la demanda turística incorpora los impactos negativos que los brotes de cianobacteria puedan causar. Con las actividades del programa de préstamo, se supone que se evitarán algunos impactos negativos sobre la demanda turística por reducir la frecuencia e intensidad de estos brotes. Técnicamente, las simulaciones con IEEM consideran un aumento conservador de la demanda turística con respecto a la línea base para los turistas que visitan los departamentos costeros que se verán afectados por el programa.

No existe para Uruguay evidencia empírica que cuantifique la relación entre la calidad del agua y el bienestar derivado por las actividades recreativas asociado al agua. Para incorporar esta dimensión de impactos del programa en IEEM, se procedió a revisar la literatura internacional respecto al cambio en días de visita a lugares como consecuencia de la calidad del agua (ver caja 1 abajo). Se trabajó solamente respecto al turismo receptivo, ya que, tras consulta con el Ministerio de Turismo, se confirmó que no existe información del turismo interno por departamento.

Caja 1. Revisión de literatura.

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Autor** | **Lugar** | **Dependiente** | **Independiente** | **Results** | | | **Modelo** |
| (Keeler *et al.*, 2015) | Minnesota and Iowa lakes, US | Average annual number of photo-user-days per lake (log(photo-user-days × yr–1)) | Lake size (acres)  **Lake clarity (m) (0.012)**  Centered population  Centered population  Boat launch  Iowa or Minnesota (1 = IA) | Lake users were willing to travel 56 minutes farther (equivalent to US$22 in travel costs) for every one-meter increase in water clarity  Average increase of 1389 annual trips for an average lake (1305 to 1481, lower and upper 95% mean confidence limits) per one-meter increase in water clarity, if all other variables remained constant. | | | Linear regression of visits and time traveled to lakes based on lakes attributes |
| (Egan *et al.*, 2009) | Iowa | Probability of visiting a lake | Lake biophysical conditions and other attributes (ramp, size, public access, etc.) | Estimates many parameters that can be used to derived the change in the probability of visiting a lake depending on its attributes (including water quality) | | | Mixelogit model that looks at the probability of choosing a lake based on the biophysical parameters |
| (FREEMAN, 1995) | Many places mostly in US (is a review) | See text below |  |  | | |  |
| (Vesterinen *et al.*, 2010) | Finland | Boating  Close to home swimming  Fishing |  | water policy scenario with a 1-m improvement in water clarity for both inland and coastal waters indicates that the consumer surplus would increase 6% for swimmers and 15% for fishers.  An improvement would increase the probability of fishing by 2.7% and add 2.1 days of fishing annually on average | | | Hurdle model |
| (Breen, Curtis and Hynes, 2018) | Ireland | Días de visita | Calidad del agua:  Status (categórica)  BOD mg O2/l  Amoníaco mg N/l  Fosfatos mg P/l  Coliforme fecales Count/100 ml  Otros controles |  | Domestic | Foreign | Lineal |
| Status (categórica) | -0.00618 | -0.0132 |
| BOD | -0.00201 | -0.00355 |
| Amoníaco | -0.00159 | -0.00304 |
| Fosfatos | -0.0151 | -0.00878 |
| Coliformes | -0.00114 | -0.00222 |

Fuente: recopilación por los autores.

Existen varios estudios que relacionan la calidad ambiental con la demanda turística. Uno de interés es el de Hanley, Bell y Alvarez-Farizo (2003) que analizó el impacto de la calidad de agua a las playas en Escocia. Los autores encontraron que mejoras en la calidad de agua aumentarán el número de vistas a la playa en 1.3% lo cual generaría un beneficio de 1.25 millones de libras por año (Hanley et al., 2003). Este aumento considera la posibilidad de substitución de las playas analizadas con otras playas en la región.

A partir de la revisión de la literatura, se decidió seguir el trabajo de Breen, Curtis y Hynes (2018), el cual es el que mejor se ajusta a nuestro objetivo para vincular el número de visitas a lugares de recreación y calidad del agua. Los pasos desarrollados para el cálculo del efecto del cambio en el gasto del turismo receptivo fueron:

1. Con base en Breen et al. (2018), se calculó el cambio en el número promedio de días de visita del turismo receptivo, por departamento costero con playas significativas para el turismo (Colonia, Montevideo, Maldonado, y Rocha), ya que se espera que los otros departamentos no se vean afectados (Breen, Curtis and Hynes, 2018). Se utilizaron datos de turismo receptivo de 2017. Este cálculo se realizó para diferentes escenarios de cambio en el nivel de fósforo en el agua (1%, 10%, 20%, y 30%).

2. Se calculó el gasto total de turismo receptivo para cada uno de los escenarios a partir de multiplicar el cambio en el número promedio de días de visita de turismo por el gasto promedio por día y número de visitantes de cada departamento costero.

Tabla 10. Turismo receptivo en Uruguay.

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Departamentos | Total de | Días de | Gasto en USD corriente | |  |
|  | Visitantes | Estadía | TOTAL US$ | P/persona | P/persona/día |
| Maldonado | 1,041,501 | 7.79 | 1,165,960,643 | 1,120 | 144 |
| Colonia | 303,257 | 3.40 | 90,555,631 | 299 | 88 |
| Montevideo | 1,077,526 | 5.75 | 617,841,828 | 573 | 100 |
| Canelones | 210,195 | 6.91 | 84,546,438 | 402 | 58 |
| Rocha | 220,684 | 8.92 | 153,283,779 | 695 | 78 |

Fuente: Elaboración propia a partir información del Ministerio de Turismo.

La tabla 11 muestra el cambio porcentual en el número de días que, en promedio, los turistas permanecerían en cada uno de los departamentos indicados ante reducciones en el nivel de fósforo del agua.

Este escenario de TURISMO integra el retardo temporal presentado en la tabla 9 que representa el periodo entre la implementación de las actividades del programa e el impacto sobre la calidad de agua. Además de este retardo temporal entre la implementación de las actividades del programa y la calidad de agua, podría existir un retardo temporal adicional que es la respuesta de la demanda turística a un cambio en la calidad de agua. Un retardo temporal en la respuesta del turista frente cambios en la calidad de agua se debe a la dificultad de percibir la presencia de contaminantes y que esto afecta las decisiones del turista (Burger et al., 1993). En el caso de las cianobacterias, dado las clausuras de las playas que estos causan, es más probable que el retardo temporal sea menor que en el caso de otros fenómenos asociados con la calidad de agua.

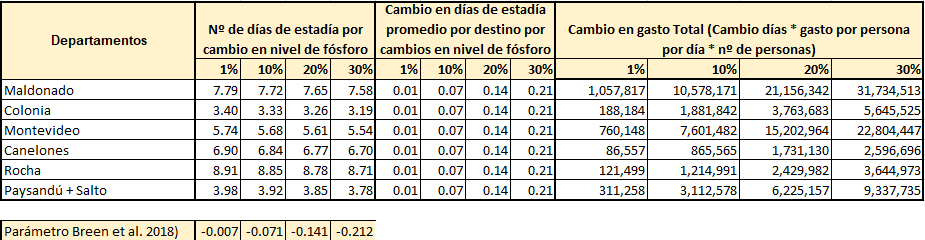
Aún no existe evidencia empírica que demuestra la largura del retardo temporal entre la calidad de agua y la decisión del turista a visitar un país o región. Donde sí existe evidencia empírica es sobre las pérdidas que puedan causar las clausuras de las playas. Por ejemplo, un estudio del lago de Michigan encontró que la clausura de la playa por un día debido a una mala calidad de agua podría costar hasta US$37,030 por día (Rabinovici et al., 2004). EPA (2015) y NRDC (2014) provee ejemplos adicionales de los impactos económicos de las clausuras de playas (NRDC, 2014, EPA, 2015). Esta literatura entonces indica que el impacto económico de una clausura de una playa pueda ser inmediato, aunque habrá que considerar la posibilidad de sustitución para otras actividades que puedan generar gasto turístico.

Dado la discusión anterior y para simplificar el escenario, se considera solamente el retardo temporal presentado en la tabla 9 y como esto afecta la distribución de beneficios. La Figura 7 muestra el efecto sobre gasto turístico a lo largo del periodo analítico.

El contenido de este escenario se vincula con el siguiente componente de la matriz de resultados del programa:

Objetivo Especifico 2. Fortalecer la gestión integrada de cuencas prioritarias con énfasis en la disminución de cargas contaminantes de origen agropecuaria.

Tabla 11: Estimación del cambio en el nº de días de estadía y gasto de los turistas no residentes (porcentaje y totales) para diferentes escenarios de cambio en el nivel de fósforo en el agua.



Nota: Los departamentos Paysandú y Salto no se consideran afectados por tratarse destinos dedicados, principalmente, al turismo termal. Fuente: Estimaciones basadas en Breen et al (2018) y cálculos por los autores.

Figura 7: Evolución del gasto de los turistas no residentes como desvío respecto del escenario base (porcentaje)



Fuente: Elaboración de los autores.

**AGUA.** En este caso se consideran reducciones en el costo de potabilización del agua que podrían darse como consecuencia del programa. Estas reducciones de costo de potabilización incorporan los retardos temporales presentados en la tabla 9 para tomar en cuenta el periodo entre la implementación de las actividades del programa y cambios efectivos en la calidad de agua.

No existe para Uruguay antecedentes en la literatura que brinden evidencia entre la relación de la calidad del agua y los costos de tratamiento del agua potable. Por ende, se procedió a realizar una revisión de la literatura internacional con el fin de poder extrapolar los parámetros de otros países a la realidad de Uruguay (ver caja 2 abajo). Como consecuencia de la revisión, se decidió aplicar una función de transferencia de valores siguiendo el estudio de Elsin et al., (2010).

Esto es:

1. Se toman los parámetros de los cuatro estudios resumidos con respecto a la relación entre turbiedad y costos variables para los Estados Unidos (Elsin, Kramer and Jenkins, 2010).

2. Se calcula el costo variable promedio de tratamiento para cada una de las plantas de tratamiento de las cuencas del Río negro, Santa lucía, y Laguna del Sauce asumiendo que estas plantas son, en promedio, iguales a las de los Estados Unidos (respecto a las otras variables de control, como ser clima, uso electricidad, etc), pero poniendo el volumen de agua tratada de las plantas de esas cuencas. La información del volumen de agua total producida por año por planta potabilizadora en Uruguay fue accedida a través de la página web de la empresa potabilizadora, Obras Sanitarias del Estado (OSE). Esta información brinda el costo variable promedio predicho.

3. Se calcula el costo variable promedio predicho, al igual que en el punto anterior, pero con un incremento en turbiedad de X%, para distintos valores de X (5%, 10%, 20%, 30%).

4. El cambio en el costo variable para cada uno de los cambios en la turbiedad se calculan como la diferencia del punto 2 y el punto 3.

Un aspecto para tener en cuenta es que el volumen de agua producida por planta de tratamiento es fijo (no es un año base, sino que probablemente, es la capacidad máxima). Por ende, el cambio es respecto a esta capacidad máxima. A su vez, se ha de remarcar que los valores reportados no están: (i) corregidos por IPC (uno de los estudios es un poco antiguo, y esto puede crear un sesgo), ni (ii) corregidos por PPP. Estas correcciones fueron realizadas al incorporar los valores al análisis exante.

En particular, en los departamentos afectados se consideran reducciones de 1.6, 4.4, y 8.4 por ciento computadas a partir de información recopilada por los autores. La reducción de costos se implementa como una reducción de los coeficientes insumo-producto de la actividad de captación, depuración y distribución de agua, que representa 1.1 por ciento del sector secundario identificado en la MCS.

Caja 2. Revisión de la literatura

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Autor** | **Lugar** | **Dependiente** | **Independiente** | **Results** | **Modelo** |
| (Forster, Bardos and Southgate, 1987) | Ohio Corn Belt | Total variable costs of water treatment | Soil erosion rate in the watershed upstream from the community  Water produced  Treatment plant size  Storage time of untreated water  Turbidity improvement due to treatment water | 10% reduction in annual soil erosion reduces 4% annual water treatment plant cost | Lineal econométrico |
| (Holmes, 1988) | USA | Costs of treatment (operating and maintenance costs) | Turbidity  Dummy variables by technology  Electricity cost  Labor costs  Rainfall  Sediment loads  Storage capacity | Elasticity = 0.07% (aumento en turbiedad de 1% aumenta los costos variables de tratamiento en 0.07%) | Spline function and cobb douglas linear function |
| (Piper, 2003) | USA, 9 regions | average price of water per gallon provided by water  utility j | size of the water supply system  the population density of the service  area  the source of water supplies  water quality: total hardness (milligrams of calcium carbonate per liter of water); | 0.00332. Es la semi-elasticidad de cambios en los miligramos de calcio carbonatado en el precio del agua que venden la utilities. | Linear model |
| (Elsin, Kramer and Jenkins, 2010) | Neuse river basin North Carolina |  |  |  | Benefit transfer |
| Murray and Foster 2001 |  | Variable treatment costs | Average annual turbidity  Volume treated per year  Pesticide use | 0.3 | Cobb Douglas |
| Dearmont et al 1998 |  | Variable treatment costs | Total volume treated per month  Turbidity raw water  Raw water pH, contamination dummy, average annual rainfall | 0.0010 | Polynomial |

Fuente: Recopilación de los autores.

El contenido de este escenario se vincula con el siguiente componente de la matriz de resultados del programa:

Objetivo Especifico 2. Fortalecer la gestión integrada de cuencas prioritarias con énfasis en la disminución de cargas contaminantes de origen agropecuaria.

**COMBI.** Como su nombre lo indica, este escenario combina los tres anteriores. Es decir, COMBI = LGOVPRD + BUFFER + TURISMO + AGUA. Nuevamente, y en base a lo dicho más arriba, se consideran tres variantes del escenario COMBI: pesimista, central, y optimista.

## 3.3. Resultados

La Figura 8 expone los resultados sobre el consumo de los escenarios descritos más arriba para los años 2020, 2024, y 2035. El año 2020 es el primer año del programa. El año 2024 corresponde al último año de implementación del programa. Por último, el año 2035 se refiere a un período posterior a la finalización del programa. Es decir, para 2035 los efectos directos y de corto plazo del programa ya se disiparon. Naturalmente, sí persisten los efectos de mediano/largo plazo en términos de calidad del agua como así también de zonas de amortiguación. Como vemos, el escenario BUFFER pesimista tiene efectos negativos que se explican por la reducción del área agrícola productiva. Los escenarios BUFFER central y BUFFER optimista muestran que dichos efectos se ven en parte compensados y más que compensados cuando se incorporan efectos sobre productividad agrícola, respectivamente.

Por su parte, los demás elementos del escenario COMBI tienen efectos positivos sobre el consumo privado. Sin embargo, los efectos son mínimos para el aumento de eficiencias en el sector público. La Figura 9 muestra el efecto del escenario COMBI central sobre varios agregados macroeconómicos a nivel nacional. En general, los agregados macroeconómicos responden positivamente al escenario COMBI. En el caso de las exportaciones, el cambio en las exportaciones de bienes y servicios pero excluyendo el turismo. En consecuencia, vemos que la apreciación cambiaria que genera el incremento en el turismo internacional impacta negativamente sobre las exportaciones de bienes y servicios no turísticos.

Figura 8: Cambio en el consumo privado real respecto al escenario BASE, total nacional, todos los escenarios (porcentaje)



Fuente: Resultados IEEM-MR Uruguay.

Figura 9: Cambio en indicadores macro respecto al escenario BASE, total nacional, escenario COMBI central (porcentaje)



Fuente: Resultados IEEM-MR Uruguay. PrvCon: consumo privado; PrvFixInv: inversión privada; Exports: exportaciones; Imports: importaciones; GDPFC: producto interno bruto (PIB).

La figura 10 muestra los efectos sobre empleo agregado. Como vemos, el escenario combinado central genera, en 2035, aumentos pequeños – pero numéricamente significativos -- del empleo nacional. Por ejemplo, en el escenario COMBI central, el número de ocupados en 2035 es apenas 0.01 por ciento más elevado que en el escenario base.

Figura 10: Cambio en el empleo respecto al escenario BASE en 2035, total nacional, todos los escenarios (porcentaje)



Fuente: Resultados IEEM-MR Uruguay.

El análisis de los resultados macroeconómicos finaliza con una descomposición del escenario COMBI central a nivel nacional. En la figura 11 identificamos el aporte que hace cada componente de los escenarios centrales INVEST, LGOVPRD, TOURIST, AGUA y BUFFER para explicar el resultado que genera el escenario combinado. Además, incluimos un efecto interacción que captura la diferencia entre la suma de los shocks introducidos de forma individual y el resultado que arroja el escenario COMBI central. Como vemos, una parte importante del resultado positivo que arrojan las simulaciones a nivel agregado se explica por: (a) el incremento del gasto de los turistas internacionales que visitan los departamentos que ven mejorada la calidad del agua, y (b) una reducción en el costo de potabilización del agua. En caso de omitirse el incremento de la productividad factorial en el escenario BUFFER, los resultados agregados se tornan negativos.

Figura 11: Descomposición escenario COMBI central; cambio en consumo privado real respecto al escenario BASE, total nacional



Fuente: Resultados IEEM-MR Uruguay.

A nivel sectorial, vemos que los sectores que resultan claramente ganadores (i.e., incrementan su producción) son aquellos directamente vinculados con las actividades agrícolas y/o las actividades turísticas (Figura 12). En cambio, resultan perdedores otros sectores como los demás primarios.

Figura 12: Producción sectorial, total nacional, escenario COMBI central (porcentaje)



Fuente: Resultados IEEM-MR Uruguay.

# 4.0. Análisis Costo-Beneficio

Por construcción, los tres escenarios combinados COMBI contienen una estimación prospectiva (i.e., ex–ante) de los efectos directos e indirectos del programa de gobierno. En consecuencia, teniendo en cuenta que el costo del programa forma parte de dichas simulaciones, el análisis costo-beneficio puede realizarse analizando los resultados de IEEM para algún indicador de interés. En nuestro caso, utilizamos la variación equivalente, ya que captura efectos sobre el bienestar de los hogares, a diferencia de otras medidas como el PIB.[[4]](#footnote-4) Así, los efectos directos e indirectos estimados en este apartado contienen las estimaciones de costos y beneficios necesarias para computar, por ejemplo, el valor presente neto de los efectos del programa de gobierno. Ciertamente, es interesante mencionar que el análisis costo-beneficio tradicional no captura todos los efectos indirectos que se destacan en un análisis de simulación de EGC como el aquí presentado. Es relevante mencionar que la variación equivalente se computa como la suma de las variaciones equivalentes departamentales; es decir, el bienestar de todos los hogares uruguayos recibe la misma ponderación. Matemáticamente,

Donde:

: valor presente neto

: 2020

: 2035

: variación equivalente en período t

: tasa de descuento (12% in nuestro caso)

Además, y teniendo en cuenta la discusión en torno al cómputo del análisis costo-beneficio con base en modelos de equilibrio general computable (ver Burgan y Mules 2001, Banerjee et al. 2017, Banerjee et al., in press), también computamos el valor presente neto sólo utilizando resultados de escenarios adicionales en los que no se incorpora la inversión pero se los combina con la información sobre los montos a invertir en el marco del programa de gobierno. Matemáticamente,

donde es la inversión pública del programa realizada en el período t. En este caso, la fórmula se aplica a escenarios adicionales que, a diferencia de los escenarios COMBI, no incluye la inversión entre sus shocks.

Finalmente, reportamos las estimaciones para el Valor Presente Neto (VPN) y Tasa Interna de Retorno (TIR) del programa del gobierno. Para ello, y siguiendo los lineamientos del BID, utilizamos una tasa de interés de 12 por ciento. Como vemos, el VPN es positivo en los escenarios combinados central y optimista (Figura 13). De hecho, la tasa interna de retorno es 15.4 por ciento en el primer caso y extremadamente alta en el segundo, superior al 100 por ciento. Naturalmente, esto se explica por la gran diferencia que existe entre el costo y los beneficios del programa. En particular, los escenarios suponen que una inversión de 6 millones de dólares incrementa el bienestar durante el período de la inversión pero también una vez finalizada la misma.

Es importante notar la importancia de la distribución de los beneficios de cada uno de los escenarios que se ven presentados en la figura11. Aunque los beneficios en términos de turismo y los costos de potabilización son importantes, dado que se materialicen más tarde, tienen mucho menos peso en su contribución al VPN y TIR.

Figura 13: Valor Presente Neto (millones US$ 2019)



Fuente: Resultados IEEM-MR Uruguay.

Tabla 12: Valor Presente Neto (millones US$ 2019)



Nota: \*La inversión se incluye en el escenario simulado. \*\*La inversión se excluye del escenario simulado. Fuente: Resultados IEEM-MR Uruguay.

# 5.0. Análisis de Sensibilidad

Los resultados de un modelo de EGC como el aquí utilizado son función de (1) la estructura del modelo (e.g., las formas funcionales utilizadas, la regla de cierre macroeconómico seleccionada, etc.), (2) la información del año base utilizada en la calibración, y (3) el valor que se asigna a las elasticidades o, de manera más general, “parámetros libres” del modelo.

Ciertamente, las elasticidades utilizadas en este estudio llevan implícito un margen de error, al igual que en cualquier otro modelo similar. En consecuencia, se realiza un cuidadoso análisis de sensibilidad de los resultados obtenidos con respecto al valor que se asigna a las elasticidades del modelo. Así, en la medida que las conclusiones del análisis sean robustas a cambios en el conjunto de elasticidades empleadas para la calibración, tendremos un grado más elevado de confianza en los resultados que arrojaron las estimaciones de EGC presentadas en la Sección 3.

En nuestro caso, suponemos que cada una de las elasticidades del modelo se distribuye uniformemente alrededor del valor utilizado para obtener los resultados presentados en el cuerpo del trabajo. El rango de variación que se permite para cada elasticidad es +/- 50%; es decir, se considera un rango de variación importante. Con esta información, se implementó una variante del método propuesto originalmente por Harrison y Vinod (1992), que permite realizar un análisis de sensibilidad sistemático. En pocas palabras, se trata de evaluar los resultados del modelo para distintos conjuntos de elasticidades. Así, se obtiene una distribución de resultados que permite construir intervalos de confianza para cada uno de los resultados que se generan. El método para realizar el análisis de sensibilidad implementado se describe a continuación.

ETAPA 1. En la primera etapa, se determina la distribución que sigue cada uno de los parámetros del modelo que se modifican como parte del análisis de sensibilidad: elasticidades de sustitución entre factores de producción, elasticidades relacionadas con el comercio, elasticidades-gasto, y elasticidades-desempleo de las curvas de salarios.

ETAPA 2. En la segunda etapa, el modelo se resuelve repetidas veces, empleando cada vez un conjunto distinto de elasticidades; se trata, en consecuencia, de una simulación tipo “Monte Carlo”. En primer lugar, se elige aleatoriamente el valor que toma cada elasticidad. En segundo lugar, se calibra el modelo empleando las elasticidades seleccionadas. En tercer lugar, se simulan los mismos escenarios contrafácticos que los presentados con anterioridad. Luego, los pasos anteriores se repiten varias veces ‑ 200 en nuestro caso –, realizando un muestreo con reposición del valor que se asigna a las elasticidades.

En la Tabla B.1 se muestran, para tres indicadores, los valores estimados con las elasticidades “centrales”, el promedio de las 200 observaciones que genera el análisis de sensibilidad (columna Media), y los límites superior e inferior calculados bajo el supuesto de normalidad (columnas Límite Inferior y Límite Inferior). Las corridas del experimento de Monte Carlo reciben, todas, la misma ponderación.

Como se observa, el cambio en la tasa de crecimiento del consumo privado para el escenario **combi-cent** reportado en el cuerpo principal de este documento resulta significativo. Es decir, las estimaciones realizadas caen dentro del intervalo de confianza que muestra la Tabla B.1. Por ejemplo, existe virtual certeza de que el escenario **combi-cent** tendría un valor presente neto positivo. La misma apreciación puede realizarse para los demás resultados reportados.

Tabla B.1: resultados análisis de sensibilidad escenario COMBI  
intervalo confianza bajo supuesto normalidad 95%



Fuente: estimación de los autores.

# Referencias

AGUILERA, A., HAAKONSSON, S., MARTIN, M. V., SALERNO, G. L. & ECHENIQUE, R. O. 2018. Bloom-forming cyanobacteria and cyanotoxins in Argentina: A growing health and environmental concern. Limnologica, 69, 103-114.

Auquilla, R. C. and Jiménez, F. (2005) ‘Influencia del uso del suelo en la calidad del agua en la subcuenca del río Jabonal’, Recursos Naturales y Ambiente, (48), pp. 81–92. Available at: http://repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr:8080/bitstream/handle/11554/6408/Influencia\_de\_uso\_del\_suelo.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

Banerjee, O., M. Cicowiez, J. M. Horridge y R. Vargas. 2016. A conceptual framework for integrated economic-environmental modelling. Journal of Environment & Development 25 (3): 276–305.

Banerjee, O., M. Cicowiez, J. M. Horridge y R. Vargas. 2019a. Evaluating synergies and trade-offs in achieving the SDGs of zero hunger and clean water and sanitation: An application of the IEEM Platform to Guatemala. Ecological Economics. Ecological Economics 161: 280–291.

Banerjee, O., M. Cicowiez, J. M. Horridge y R. Vargas. 2019b. The SEEA-based Integrated Economic-Environmental Modelling framework: an illustration with Guatemala's forest and fuelwood sector. Environmental and Resource Economics 72 (2): 539–558.

BANERJEE, O., CICOWIEZ, M. & MOREDA, A. in press. Evaluating the Economic Viability of Public Investments in Tourism. Journal of Benefit-Cost Analysis.

BREEN, B., CURTIS, J. & HYNES, S. 2018. Water quality and recreational use of public waterways. Journal of Environmental Economics and Policy, 7, 1-15.

Broadmeadow, S. and Nisbet, T. R. (2004) The effects of riparian forest management on the freshwater environment: a literature review of best management practice, Hydrology and Earth System Sciences. Available at: https://www.hydrol-earth-syst-sci.net/8/286/2004/hess-8-286-2004.pdf (Accessed: 15 June 2019).

Bruijnzeel, L. A. (2004) Hydrological functions of tropical forests: Not seeing the soil for the trees?, Agriculture, Ecosystems and Environment. doi: 10.1016/j.agee.2004.01.015.

BURGER, J., STAINE, K. & GOCHFELD, M. 1993. Fishing in Contaminated Waters: Knowledge and Risk Perception of Hazards by Fishermen in New York City.

Carlson, K. M. et al. (2014) ‘Influence of watershed-climate interactions on stream temperature, sediment yield, and metabolism along a land use intensity gradient in Indonesian Borneo’, Journal of Geophysical Research: Biogeosciences, 119(6), pp. 1110–1128. doi: 10.1002/2013JG002516.

CHAPLIN-KRAMER, R., HAMEL, P., SHARP, R., KOWAL, V., WOLNY, S., SIM, S. & MUELLER, C. 2016. Landscape configuration is the primary driver of impacts on water quality associated with agricultural expansion. Environmental Research Letters, 11, 074012.

Curtis, J. and Morgenroth, E. (2014) ‘Estimating the effects of land-use and catchment characteristics on lake water quality: Irish lakes 2004-2009’, Journal of the Statistical and Social Inquiry Society of Ireland, 42(2009), pp. 64–80.

Donoghue, C. O. et al. (2015) ‘The Spatial Impact of Economic Change on RiverWater Quality 1991- 2010’.

Dressing, S. A. et al. (2016) Monitoring and Evaluating Nonpoint Source Watershed Projects, May 2016. Available at: https://www.epa.gov/polluted-runoff-nonpoint-source- (Accessed: 15 June 2019).

EPA 2015. A Compiliation of Cost Data Associated with the Impacts and Control of Nutrient Pollution. Washington, D.C.: US Environmental Protection Agency Office of Water.

ELSIN, Y. K., KRAMER, R. A. & JENKINS, W. A. 2010. Valuing Drinking Water Provision as an Ecosystem Service in the Neuse River Basin. Journal of Water Resources Planning and Management, 136, 474-482.

Flores, M. y A. Cassoni. 2010. Armington Elasticities: Estimates for Uruguayan Manufacturing Sectors. SSRN Electronic Journal.

HANLEY, N., BELL, D. & ALVAREZ-FARIZO, B. 2003. Valuing the Benefits of Coastal Water Quality Improvements Using Contingent and Real Behaviour. Environmental and Resource Economics, 24, 273-285.

Ministerio de Turismo y Departamento de Estadística, 2017. Informe de Turismo Interno 2017. Montevideo: Ministerio de Turismo y Departamento de Estadística.

Muhammad, A., J. L. Seale, Jr., B. Meade y A. Regmi.2011. International Evidence on Food Consumption Patterns: An Update Using 2005 International Comparison Program Data. United States Department of Agriculture. Economic Research Service. Technical Bulletin Number 1929.

Meals, D. W. (2001) ‘Water quality response to riparian restoration in an agricultural watershed in Vermont, USA.’, Water science and technology : a journal of the International Association on Water Pollution Research, 43(5), pp. 175–82. Available at: http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11379130 (Accessed: 15 June 2019).

Meals, D. W., Dressing, S. A. and Davenport, T. E. (2010) ‘Lag Time in Water Quality Response to Best Management Practices: A Review’, Journal of Environment Quality. American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Soil Science Society, 39(1), p. 85. doi: 10.2134/jeq2009.0108.

MEF (2018) RENDICIÓN DE CUENTAS Y BALANCE DE EJECUCIÓN PRESUPUESTAL TOMO II Parte II-Información institucional. Available at: https://www.opp.gub.uy/sites/default/files//rendicion\_de\_cuentas/TOMO\_II\_Información\_Institucional\_RC2017\_INC\_14.pdf (Accessed: 15 June 2019).

Miserendino, M. L. et al. (2011) ‘Assessing land-use effects on water quality, in-stream habitat, riparian ecosystems and biodiversity in Patagonian northwest streams’, Science of The Total Environment. Elsevier, 409(3), pp. 612–624. doi: 10.1016/J.SCITOTENV.2010.10.034.

NRDC 2014. The Impacts of Beach Pollution. Testing the Waters. New York City: Natural Resource Defence Council.

O’Dwyer, B. et al. (2013) ‘A palaeolimnological investigation into nutrient impact and recovery in an agricultural catchment’, Journal of Environmental Management, 124, pp. 147–155. doi: 10.1016/j.jenvman.2013.01.034.

O’NEIL, J. M., DAVIS, T. W., BURFORD, M. A. & GOBLER, C. J. 2012. The rise of harmful cyanobacteria blooms: The potential roles of eutrophication and climate change. Harmful Algae, 14, 313-334.

PAERL, H. W. & HUISMAN, J. 2008. Blooms Like It Hot. Science, 320, 57.

RABINOVICI, S. J. M., BERNKNOPF, R. L., WEIN, A. M., COURSEY, D. L. & WHITMAN, R. L. 2004. Economic and Health Risk Trade-Offs of Swim Closures at a Lake Michigan Beach. Environmental Science & Technology, 38, 2737-2745.Arcos Torres, I. (2005) Efecto del ancho de los ecosistemas riparios en la conservación de la calidad del agua y la biodiversidad en la microcuenca del río Sesesmiles, Copán, Honduras. CATIE, Turrialba (Costa Rica). Available at: http://repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr/handle/11554/4888 (Accessed: 21 May 2019).

SARAS (2010) Bases técnicas para el manejo integrado de Laguna del Sauce y cuenca asociada. Maldonado: Universidad de la República y South American Institute for Resilience and Sustainability Studies.

Varanka, S. and Luoto, M. (2012) ‘Environmental determinants of water quality in boreal rivers based on partitioning methods’, River Research and Applications. John Wiley & Sons, Ltd, 28(7), pp. 1034–1046. doi: 10.1002/rra.1502.

Vihervaara, P. et al. (2012) ‘Ecosystem services of fast-growing tree plantations: A case study on integrating social valuations with land-use changes in Uruguay’, Forest Policy and Economics. Elsevier, 14(1), pp. 58–68. doi: 10.1016/J.FORPOL.2011.08.008.

# Apéndice 1: Presentación Matemática de IEEM

En esta presentación no se incluyen la variación de existencias y un tratamiento explícito de los márgenes de comercialización y transporte. Además, se dejan de lado las ecuaciones que representan la dinámica recursiva del modelo.

Subíndices

En la presentación matemática del modelo se utilizan los siguientes subíndices:

r1 = todas las regiones, incluyendo todas las regiones de Uruguay, gobierno central y resto del mundo

r = r’ = regiones, las ocho regiones guatemaltecas en nuestro caso

f = factores productivos; por ejemplo, trabajo y capital

a(ac) = actividades/industrias

c(ac) = productos/bienes y servicios

f(ac) = factores

i(ac) = instituciones

inv(ac) = inversión

En las variables con dos subíndices r, el primero siempre denota origen y el segundo siempre denota destino. Por ejemplo, la variable QER(c,r,r’) se refiere a las exportaciones de producto c de la región r hacia la región r’. Es pertinente mencionar que el modelo que se desarrolla es un modelo multi-regional, que puede ser calibrado con una MCS bi-regional o con un número mayor de regiones. Además, se emplea la siguiente notación: mayúsculas para variables endógenas, minúsculas para variables exógenas, letras griegas para parámetros de comportamiento, y las cantidades y precios empiezan con Q y P, respectivamente.

Variables y Ecuaciones

En esta sección se muestran las variables y ecuaciones del modelo. Al finalizar, se mencionan características y extensiones presentes en el modelo más desagregado que estamos desarrollando.

Producción

Función de Producción. La ecuación (P1) es la función de producción (CES = Elasticidad de Sustitución Constante) de la actividad a operando en la región r. Las ecuaciones (P2) y (P3) representan las demandas de factores locales y del resto del país, respectivamente; se obtienen de las condiciones de primer orden del problema de minimización de costos que resuelve el productor. Así, vemos que factores locales y del resto del país son sustitutos imperfectos. La ecuación (P4) computa el consumo intermedio; los coeficientes ica corresponden a los coeficientes técnicos de Leontief. Es decir, se supone que los insumos intermedios se demandan en proporción constante al nivel de producción. Finalmente, la ecuación (P5) transforma la producción de las actividades en producción de bienes y servicios. Así, el coeficiente theta se refiere a la producción de producto c por unidad producida de la actividad a. Como consecuencia, nuestro modelo permite que la misma actividad produzca más de un producto al mismo tiempo que cada producto puede ser producido por más de una actividad.

Precios Producción. La ecuación (P6) es similar a la anterior pero se aplica a precios en lugar de cantidades. Es decir, el precio de las actividades es función de los precios de los bienes y servicios que venden. La ecuación (P7) permite computar el precio del valor agregado generado en cada actividad productiva.

(P1) 

(P2) 

(P3) 

(P4) 

(P5) 

(P6) 

(P7) 

donde

PA = precio actividad

PX = precio oferta bienes y servicios regionales

PQD = precio demanda bienes y servicios (locales + otras regiones + importados)

PVA = precio valor agregado

QA = producción actividad

QFD = demanda factores locales

QFM = demanda factores otras regiones

QINT = consumo intermedio

QX = producción bienes y servicios

WFD = remuneración factores locales

WFM = remuneración factores otras regiones

ta = impuesto actividades gobierno local

tca = impuesto actividades gobierno central

delta = parámetro de distribución

phi = parámetro de escala

ica = coeficiente técnico

Ingreso Factorial. La ecuación (P8) computa el ingreso factorial; para ello, se suman tres componentes: ingreso proveniente del sector productivo local, ingreso proveniente del sector productivo del resto del país (i.e., las demás regiones de Uruguay), y transferencias provenientes desde el resto del mundo. Es decir, se modela explícitamente la utilización de factor de la región r en la región r’ – ver variable QFM.

(P8) 

donde

YF = ingreso factorial

trnsfr = transferencias exógenas

Precios Comercio Internacional

Los pecios internos de importaciones y exportaciones desde/hacia el resto del mundo se definen en las ecuaciones (PW1) y (PW2), respectivamente. Como puede verse, todas las regiones de Uruguay enfrentan los mismos precios internacionales. Asimismo, el tipo de cambio es único para todo el país. En este sentido, el resto del mundo es considerado una institución “supra-regional”. Sin embargo, el modelo identifica las importaciones y exportaciones de cada región del país. Los aranceles a la importación son recaudados por el gobierno central. Así, si bien tm tiene subíndice r, es esperable que su valor sea el mismo para todas las regiones de Uruguay identificadas en la matriz de contabilidad social que se emplea para calibrar el modelo.

(PW1) 

(PW2) 

donde

PM = precio de las importaciones desde el RdM

PE = precio de las exportaciones hacia el RdM

EXR = tipo de cambio nominal

pwm = precio mundial importaciones

pwe = precio mundial exportaciones

tm = arancel importaciones

te = impuesto a las exportaciones; cero en Uruguay

Comercio Inter-Regional e Internacional

Demanda

Las ecuaciones (IM1) y (IM2) computan las demandas de la región r de productos nacionales e importados, respectivamente. A su vez, los primeros están compuestos por productos locales y por importaciones desde el resto de Uruguay (ver más abajo). Como se mencionó, y siguiendo el supuesto de Armington (1969), suponemos que los bienes y servicios se diferencian según su región y país de origen. La ecuación (IM3) computa el precio de oferta de la canasta de consumo que combina, mediante una función CES (Elasticidad de Sustitución Constante), los productos provenientes de los dos orígenes mencionados. La ecuación (IM4) computa el precio de demanda de la misma canasta de consumo incorporando impuestos a las ventas tanto de los gobiernos local (tasa tq) y central (tasa tcq).

En una segunda etapa, se determina la composición del consumo nacional. En particular, se computan las demandas de productos locales (ecuación (IM5)) y del resto del país (ecuación (IM6)). Finalmente, la ecuación (IM7) – similar a la ecuación (IM3) -- computa el precio de la canasta de consumo que combina, mediante una función CES, los productos locales con los productos provenientes de las demás regiones del país.

(IM1) 

(IM2) 

(IM3) 

(IM4) 

(IM5) 

(IM6) 

(IM7) 

donde

PQS = precio oferta productos “combinados”; nacional + importado

PQD = precio demanda productos “combinados”; nacional + importado

PD = precio productos locales

PDMR = precio productos combinados; local + demás regiones

QQ = productos “combinados”; nacional + importado

QD = productos locales

QDMR = productos “combinados”; local + demás regiones

QMR = importaciones inter-regionales

QM = importaciones desde el RdM

delta = parámetro de distribución

phi = parámetro de escala

sigma = elasticidad de sustitución

rho = 1/sigma - 1

Oferta

Las ecuaciones (EX1) y (EX2) computan las ofertas de la región r de productos nacionales y exportados, respectivamente. A su vez, los primeros están compuestos por productos locales y por exportaciones hacia el resto de Uruguay (ver más abajo). Como se mencionó, suponemos que las ventas de bienes y servicios se diferencian según su región/país de destino. La ecuación (EX3) computa el precio de la canasta de producción que combina, mediante una función CET (Elasticidad de Transformación Constante), las ventas destinadas a los dos destinos mencionados.

En una segunda etapa, se determina la composición de las ventas al mercado nacional. En particular, se computan las ventas en el mercado local (ecuación (EX4)) y las exportaciones hacia el resto del país (ecuación (EX5)). Finalmente, la ecuación (EX6) – similar a la ecuación (EX3) -- computa el precio de la canasta de producción que combina, mediante una función CET, las ventas en el mercado local y las exportaciones hacia el resto del país.

(EX1) 

(EX2) 

(EX3) 

(EX4) 

(EX5) 

(EX6) 

donde

QDER = oferta combinada; local + demás regiones

QER = exportaciones inter-regionales

QE = exportaciones hacia el RdM

PDER = precio oferta combinada; local + demás regiones

delta = parámetro de distribución

phi = parámetro de escala

sigma = elasticidad de transformación

rho = 1/sigma + 1

Instituciones

La ecuación (F1) computa el ingreso factorial que recibe cada una de las instituciones consideradas en nuestro modelo. En particular, pueden recibir ingreso factorial los hogares de cualquiera de las regiones modeladas, los gobiernos locales, el gobierno central, y el resto del mundo. Es decir, el modelo permite el movimiento de trabajadores entre distritos. Es decir, hogares de la región r pueden recibir ingreso laboral que se genera en la región r’. En este sentido, recordemos que el subíndice r1 contiene tanto a las instituciones regionales (i.e., hogares y gobiernos de las ocho regiones de Uruguay) como a las supra-regionales (i.e., gobierno central y resto del mundo).

(F1) 

donde

YIF = ingreso factorial de las instituciones

shif = participación de las instituciones en ingreso factorial

Hogares

La ecuación (H1) computa el ingreso de los hogares sumando los siguientes cuatro componentes: (1) el ingreso factorial, (2) el ingreso por transferencias desde el gobierno local, (3) el ingreso por transferencias desde el gobierno central, y (4) el ingreso por transferencias desde el resto del mundo (i.e., remesas). Además, los hogares de una región pueden recibir transferencias desde su contraparte en otra región. La ecuación (H2) computa la propensión marginal a ahorrar de los hogares. La ecuación (H3) define el ahorro de los hogares como una proporción – constante o no dependiendo de la regla de cierre macro – del ingreso disponible. La ecuación (H4) computa el gasto en consumo de los hogares. Finalmente, la ecuación (H5) representa la demanda de bienes y servicios de los hogares; la misma se deriva de maximizar una función de utilidad tipo Stone-Geary, de la que se desprende un sistema de gasto lineal. La calibración esta dicha forma funcional permite considerar elasticidades-ingreso diferentes para cada uno de los productos identificados en la MCS.

(H1) 

(H2) 

(H3) 

(H4) 

(H5) 

donde

CON = gasto en consumo hogares

YH = ingreso hogares

HSAV = ahorro hogares

MPS = propensión marginal ahorrar hogares

MPSADJ = factor ajuste MPS (ver regla de cierre macro)

CPI = índice precios al consumidor

mpsbar = propensión margina ahorrar hogares en año base

ty = tasa impuesto directo gobierno local

tcy = tasa impuesto directo gobierno central

Gobierno Local

La ecuación (G1) computa el ingreso del gobierno local sumando ingresos tributarios y transferencias desde el gobierno central y desde el resto del mundo. Como vemos, las transferencias de ingreso entre niveles de gobierno se consideran de manera explícita. La ecuación (G2) computa el consumo del gobierno local. La ecuación (G3) computa el gasto del gobierno local, como la suma del consumo público y las transferencias hacia hogares, el gobierno central, y el resto del mundo. La ecuación (G4) computa el ahorro del gobierno local como la diferencia entre sus ingresos y gastos.

(G1) 

(G2) 

(G3) 

(G4) 

donde

YG = ingreso gobierno local

EG = gasto gobierno local

GADJ = factor ajuste QG (ver regla de cierre macro)

QG = consumo gobierno local

GSAV = ahorro (corriente) gobierno local

qgbar = consumo gobierno local en año base

Gobierno Central

Las ecuaciones (GC1)-(GC4) son simétricas a las ecuaciones (G1)-(G4) pero referidas al gobierno central. Como vemos, el gobierno central puede demandar bienes y servicios producidos en todas las regiones consideradas en el modelo. Además, vemos que los impuestos al comercio internacional sólo son recaudados por el gobierno central.

(GC1) 

(GC2) 

(GC3) 

(GC4) 

donde

YGC = ingreso gobierno central

EGC = gasto gobierno central

GCADJ = factor ajuste QGC (ver regla de cierre macro)

QGC = consumo gobierno central

GCSAV = ahorro (corriente) gobierno central

qgcbar = consumo gobierno central en año base

Resto del Mundo

La ecuación (RW1) es la cuenta corriente de la balanza de pagos de Uruguay; es decir, definida a nivel nacional. En otras palabras, suponemos que cada región de Uruguay no puede tener un comportamiento independiente respecto del resto del mundo. El lado izquierdo (derecho) de la ecuación registra las entradas (salidas) de divisas.

(RW1) 

donde

FSAV = ahorro del resto del mundo, respecto región r

Demanda Inversión

La ecuación (I1) representa la formación bruta de capital fijo privada, cuyo valor se determina exógena o endógenamente dependiendo de la regla de cierre macro seleccionada. Por su parte, la formación bruta de capital fijo de los gobiernos locales y central se supone exógena. Es decir, es una variable de política. Así, el modelo permite simular cambios en la inversión pública, tanto de los gobiernos locales como del gobierno central. La ecuación (I2) computa la demanda con destino inversión de cada producto en cada una de las regiones consideradas en el modelo. El modelo identifica los siguientes tipos de inversión: pública local, pública central, y privada nacional. En esta presentación del modelo suponemos que la inversión se determina endógenamente para igualarse con el ahorro disponible.

(I1) 

(I2) 

donde

RGFCF = formación bruta de capital fijo

IADJ = factor de ajuste RGFCF (ver regla de cierre macro)

capcomp = composición por producto del bien capital

Condiciones de Equilibrio

La ecuación (EQ1) es la condición de equilibrio para el mercado del producto c en la región r; las fuentes de demanda se describieron más arriba. La oferta de producto, como también se mencionó anteriormente, puede provenir de los productores locales, de los productores del resto del país, o del resto del mundo. La ecuación (EQ2) establece la igualdad entre ahorro e inversión a nivel nacional. Como mencionamos anteriormente, ahorro e inversión se modelan a nivel supra-regional. En consecuencia, el modelo no permite identificar el origen de los fondos que financian las distintas inversiones, tanto públicas como privadas.

Las ecuaciones (EQ3) y (EQ4) corresponden a las condiciones de equilibrio en cantidades y precios para los mercados locales de factores. Es decir, se aplican a los factores locales que se ofrecen y demandan en el mercado local. Las ecuaciones (EQ5) y (EQ6) son similares a las dos anteriores pero se refieren a los factores de la región r que son ofertados/demandados en la región r’. Nuevamente, tenemos una condición para cantidades y otra para precios. La ecuación (EQ7) establece la igualdad entre exportaciones e importaciones de la región r hacia/desde la región r’. La ecuación (EQ8), simétrica a la ecuación (EQ7), establece la igualdad entre precios de exportaciones e importaciones inter-regionales correspondientes.

(EQ1) 

(EQ2) 

(EQ3) 

(EQ4) 

(EQ5) 

(EQ6) 

(EQ7) 

(EQ8) 

Movimiento Inter-Regional de Factores

Las ecuaciones (FS1) y (FS2) representan las ofertas de factor f de la región r en la propia región r y en las demás regiones r’, respectivamente. Las ecuaciones de oferta (FS1) y (FS2) se obtienen de maximizar una función CET que preserva la aditividad (ver ecuación (FS3)). Es decir, a diferencia de lo que ocurriría con una función CET estándar, la suma de las ofertas hacia cada región r’ da como resultado la oferta total del factor – en una función CET estándar esta condición se cumple para las ofertas expresadas en unidades de eficiencia (i.e., en valor).

(FS1) 

(FS2) 

(FS3) 

Misceláneos

Las ecuaciones (MIS1) y (MIS2) definen los índices de precios al consumidor local y nacional, respectivamente. La ecuación (MIS3) define el índice de precios al productor de los productos nacionales. Finalmente, la ecuación (MIS4) define el tipo de cambio real, como el cociente entre los precios de productos transables y no transables.

(MIS1) 

(MIS2) 

(MIS3) 

(MIS4) 

El Sector Forestal

La evolución de las áreas destinadas al sector forestal se modela de la siguiente forma. El área forestal total se computa como el total de hectáreas con agrupaciones de árboles, naturales o plantados (ecuación FOR1). El área total de bosques naturales se define como la suma de las áreas con bosques naturales, se encuentren o no bajo manejo sostenible (ecuación FOR2). El área que contribuye a la producción de madera incluye plantaciones forestales, bosques naturales bajo manejo sostenible y el área deforestada cada año (ecuación FOR3). El área deforestada se computa como la diferencia entre las áreas forestales totales de un período a otro.

(FOR1)

(FOR2)

(FOR3)

(FOR4)

1. La vinculación de IEEM con la modelación de servicios ecosistémicos (IEEM+ESM) forma parte de un Economic Sector Work Proposal del BID (RG-E1603). Un componente de esta línea de trabajo es el desarrollo de herramientas para la el análisis económico de políticas e instrumentos económicos para mejorar la calidad ambiental del país. [↑](#footnote-ref-1)
2. STAC. 2013. Incorporating Lag-Times into the Chesapeake Bay Program. STAC Workshop Report. Annapolis: Scientific and Technical Advisory Committee.

   Phillips, S.W., and B.D. Lindsey. 2003. The Influence of Ground Water on Nitrogen Delivery to the Chesapeake Bay. USGS Fact Sheet FS-091–03. U.S. Geological Surv., MD-DE-DC Water Sci. Ctr., Baltimore, MD. Citado en (Meals, Dressing and Davenport, 2010). [↑](#footnote-ref-2)
3. Cianobacterias invadieron las playas de Montevideo (28 de enero de 2019). El País. Recuperado de: <https://www.elpais.com.uy/informacion/sociedad/cianobacterias-invadieron-playas-montevideo.html>

   Ver también: Las cianobacterias no aflojan y sitian la capital (5 de febrero de 2019). El País. Recuperado de: <https://www.elpais.com.uy/vida-actual/cianobacterias-aflojan-sitian-capital.html> [↑](#footnote-ref-3)
4. Específicamente, el PIB sólo contempla los efectos sobre la producción, dejando de lado – o capturando sólo indirectamente -- los efectos sobre el consumo. [↑](#footnote-ref-4)