

# Avances del proyecto de investigación: propuestas para revisión del Fondo Potrerillos y posibles extensiones

Dr. Sebastián Riera

---

Dr. Sebastián Riera

---

## Resumen

Las dificultades de manejo del recurso hídrico se acentúan en situaciones de escasez y requieren un análisis profundo de las circunstancias que permita avanzar hacia un sistema resiliente a estos fenómenos cada vez más frecuentes. Considerando las características del sistema de riego de la provincia de Mendoza y la relevancia del Departamento General de Irrigación (DGI), el presente trabajo se orienta en los ámbitos económicos y jurídicos para revisar la metodología del *Fondo Potrerillos* y sus posibles extensiones. El análisis económico permite el diseño de herramientas eficientes para mejorar la gobernanza del agua en contexto de conflicto de intereses y altos costos de transacción (Gómez et al. 2018; MAGyP 2011). Los instrumentos económicos no siempre se adaptan al manejo de activos tan complejos como el agua para riego; al ser originalmente diseñados para otro tipo de activos y enfocados en conceptos de bienestar con preferencias claramente definidas (Gruère and Le Boëdec 2019).

Históricamente los elementos de política económica no han sido aplicados extensivamente en el manejo del recurso hídrico (Gruère, Ashley, and Cadilhon 2018). Lago and Mysiak (2015) afirma que las principales razones son incertidumbre, altos costos de transacción, reformas legislativas y una correcta estimación del impacto de las medidas. Sin embargo, es deseable considerar *herramientas integrales* desde el punto de vista económico y jurídico que apunten a solucionar el desafío de dotación de agua con demandas crecientes en períodos de escasez en climas áridos y semi-áridos (Pittock 2016). Entre los objetivos del presente proyecto, se destaca la estimación del costo de ahorro de agua por la inversión en infraestructura de riego, validado considerando las demandas específicas del recurso hídrico por zona de análisis. De esta forma, se logra una estimación del rango de valores aceptables de acuerdo a las características productivas, usos del suelo y sistemas de riego asociados.

## *Aspectos económicos*

Desde la perspectiva económica se propone identificar los efectos y mejorar la estimación de los resultados productivos y de gobernanza del agua. Idealmente, desde la perspectiva económica, la valorización del recurso debería reflejar los costos financieros de la infraestructura de riego, los costos ambientales por afectar los ecosistemas y los sociales ante una eventual pérdida de bienestar (Mysiak and Gómez 2015). En particular y con el apoyo del DGI, se pretende desmembrar las inversiones en revestimiento de canales e hijuelas estimando el cambio en el volumen de agua transportado de forma tal que sea posible aproximarse al costo real de aumentar la oferta de agua.

En esta etapa del estudio se procesó la información recibida por el departamento de construcción perteneciente a la Dirección de Ingeniería del DGI sobre las inversiones realizadas en las distintas subdelegaciones de la Provincia. Si bien el financiamiento de las obras de infraestructura proviene de distintas fuentes, las unidades ejecutoras optimizan sus recursos y/o existe una licitación lo que representa una competencia de precios por ejecutar las

obras. Este tipo de enfoque genera información adicional para la toma de decisiones debido a la proximidad de las inversiones al costo marginal real.

1. Los efectos de las inversiones sobre la productividad de los cultivos actuales y futuros.
2. Estimación de productividad marginal del agua
3. Aproximación al costo de oportunidad (económico)
4. Efectos de la tecnificación en riego en valores económicos

### Modelo económico integral

Este marco teórico aplicado toma en cuenta los cambios en la disponibilidad de agua para riego e interactúa con las necesidades reales para riego. La correcta estimación, aplicación e interpretación del mismo da lugar al sustento económico-productivo del costo real de aumentar el agua disponible para riego. Los incrementos reales de disponibilidad de agua para riego requiere una inversión en infraestructura cuya valoración se detalla a continuación.

#### *Estimación de la oferta hídrica adicional*

Considerando el promedio de años de escasez, se inicia la traza de la curva de oferta de agua  $\mathbb{A}_i^O$  específica para una región de análisis ( $i$ ). El análisis de las inversiones recientes y la estimación de las inversiones necesarias se ordenan en la curva de oferta de acuerdo a la priorización de obras de infraestructura y el volumen adicional de agua para riego ahorrado.

$$\mathbb{A}_i^O = g(\bar{\mathbb{A}}^O, N_i, I_i, m_i^3, OF_i) \quad (1)$$

donde  $\bar{\mathbb{A}}^O$  es el promedio de agua entregada por el sistema durante los años de escasez,  $N_i$  es el volumen de nieve,  $I_i$  representa las inversiones realizadas en infraestructura con el fin de aumentar la oferta hídrica,  $m_i^3$  son los metros cúbicos *adicionales* o *ahorrados* por la ejecución de las obras,  $OF_i$  representan otros factores relevantes pero no contemplados hasta el momento. La inversión en infraestructura y beneficio de la ejecución se interpreta como extensión de la oferta de agua para riego con pendiente positiva en relación al costo asociado.

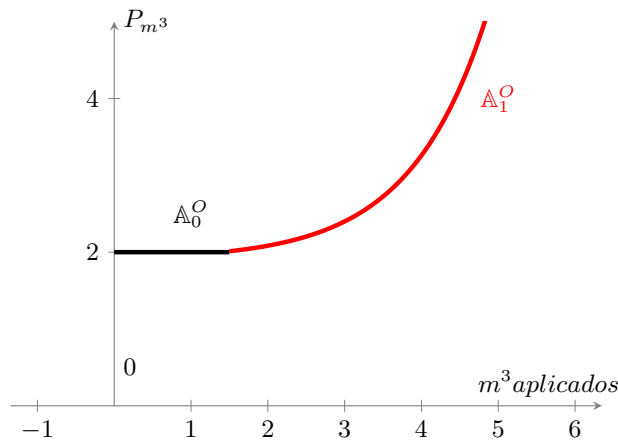


Figure 1: Representación de la oferta de agua  $\mathbb{A}_i^O$

El cálculo de inversión por metro cúbico adicional ( $m^3$ ) se realiza contemplando las estimaciones de necesidades

de infraestructura y diseño de obras futuras, cómo así también realizadas en un período de 5 años. Obteniendo un cálculo referencial de costo en dólares por metro cúbico ( $USD/m^3$ ).

### Metodología

Considerando las inversiones en infraestructura de riego estrictamente en revestimiento e impermeabilización de canales de los años 2017-2019, se preparó una base de datos que incluye los montos de inversión mencionados y datos actualizados del *Balance Hídrico* sobre manejo del recurso y eficiencia en el manejo del recurso (DGI 2016). Respecto a las eficiencias de riego, Bos and Nugteren (1990) aclara que la eficiencia de conducción ( $EfC$ ), es la eficiencia de las redes de canales y conductos desde la desviación del río, el embalse o estación de bombeo hasta las tomas del sistema de distribución.

Table 1: Metros revestidos por cuenca

	2017	2018	2019	2020	Total
Atuel	3.230	3.807	2.818	7.325	17.180
Diamante	3.777	6.328	1.860	1.820	13.785
Malargüe	1.530	695	728	1.600	4.553
Mendoza	2.594	1.910	3.468	10.850	18.822
Tun. Inferior	5.468	5.142	6.839	4.239	21.688
Tun. Superior	2.440	4.000	1.878	3.964	12.282

*Fuente:* Elab. propia en base a DGI (2020)

La eficiencia de distribución ( $EfD$ ) es la eficiencia de los canales y conductos de distribución de agua que suministran agua desde la red de transporte a campos individuales. Por último, la eficiencia de aplicación ( $EfA$ ) es la relación entre la dotación de agua en la entrada a la finca campo y la cantidad de agua necesaria y disponible para la evapotranspiración del cultivo, con el fin de evitar el estrés hídrico del cultivo en todo el ciclo de crecimiento (Bos and Nugteren 1990; Morábito 2005). El caudal medio ( $m^3/año$ ) según el balance hídrico se ve mejorado por menores pérdidas en la distribución del agua como consecuencia de la ejecución de obras. Es posible interpretar esta disminución de las pérdidas por infiltración como una mejora en la conducción que posibilita el *ahorro de agua* a estimar considerando los metros de canal revestido, los porcentajes de pérdida por unidad de manejo y la valoración de la eficiencia en la conducción. La información de pérdida por infiltración puede ser calculada en base a mediciones *in situ* como aforos o también a través del *Criterio de Moritz*<sup>1</sup>, el cual considera las características del terreno, altura del canal y área irrigada para estimar la pérdida en  $m^3/seg$  en la longitud del cauce. El ahorro de agua se calcula siguiendo la siguiente fórmula<sup>2</sup>,

$$\mathbb{A}_i^O = \sum_{j=1}^n \Delta metros \times Q_{m^3/año} \times \Delta pérdida \quad (2)$$

El punto de partida tiene dos fuentes principales: una estrictamente referida al estado de la infraestructura existente y otra relacionada con las inversiones realizadas. La primera incluye los relevamientos y estimaciones

<sup>1</sup>Pérdida por infiltración se calcula con la siguiente fórmula:  $F_{m^3/s/km} = \frac{0.018 \times C \times B \times \sqrt{h}}{\sqrt[4]{\omega}}$ , donde  $C$  indica el tipo de terreno y adquiere valores entre 0.30 y 0.49.  $B$  representa el ancho superficial del canal y  $h$  la altura. El área irrigada en  $m^2$  es el valor de  $\omega$ .

<sup>2</sup>La estimación de la disminución del agua perdida se realiza considerando las diferencias en la eficiencia de conducción anterior y posterior al relevamiento. Se toma como base los valores de los estudios de aforo y eficiencia en conducción ordenados en la siguiente fórmula:  $\Delta Pérdida = \frac{EfC_1 - EfC_0}{distancia\ media}$

Table 2: Resumen de obras 2017-2020

	Atuel	Diamante	Malargüe	Mendoza	Tun. Inferior	Tun. Superior
<b>Inversión (USD)</b>						
promedio (desv.std.)	24139.27	36454.33	73604.88	47987.78	74887.15	47212.90
min	1598.2	1723.2	14838.5	8487.0	14843.8	6250.0
max	1087924.0	603477.3	385280.5	231250.0	230849.2	156250.0
<b>Metros revestidos</b>						
promedio	433.1698	419.6698	471.4290	476.1474	650.1813	515.5692
min	10	30	30	30	105	11
max	3000	3626	1600	2100	2160	2060
<b>Inv.(USD)/mt</b>						
promedio	80.41213	111.50273	295.10637	101.09974	115.30307	94.07253
min	2.1	33.4	92.7	31.2	68.9	24.5
max	729.2	262.6	919.6	489.0	520.9	568.2

más actualizadas de condiciones de la red de riego en términos de superficie impermeabilizada y distribución. En particular, se obtuvieron datos de medición de caudales en redes e hijuelas discriminando si se encuentran revestidos; las pérdidas del sistema son estimadas en base a la eficiencia en la conducción de los cauces. La misma permite la estimación de la disminución de la pérdida por infiltración debido a la ejecución de obras de infraestructura acompañando de información monetaria para la valorización económica del recurso. La segunda fuente de información son las inversiones en revestimiento de cauces otorgada por el DGI, donde se discriminaron las obras de revestimiento en las subdelegaciones correspondientes y se asignaron los valores de eficiencia de conducción según la información recibida y, de acuerdo a los códigos de cauce (DGI 2004). Cuando no hay registro de aforo en el cauce revestido, se aplica el valor de  $EfC$  de la Unidad de Manejo (UM) estimado.

### Subdelegación Mendoza

El ahorro de agua del año  $i$  ( $A_i^O$ ) equivale a la disminución de las pérdidas por infiltración por las obras de infraestructura. El mismo es calculado considerando los metros lineales de revestimiento, el caudal promedio anual por cauce ( $j$ ) ponderado por el cambio en el volumen perdido. Los valores de eficiencia de conducción ( $EfC_j$ ) corresponde a información secundaria de relevamientos y aforos realizados por el DGI donde se consideraron los volúmenes de caudal, pérdidas por infiltración y características del cauce (Cuneo et al. 2016). En el caso del Río Mendoza, desde 2017 se revistieron 10.850 metros.

Si bien las curvas de ahorro de agua por menor filtración parecen similares, existe una diferencia en el valor medio entre ambas metodologías. El enfoque de ahorro de agua por diferencias en la eficiencia de conducción, el precio medio por  $USD/m^3$  es NA; mientras que el precio medio en el enfoque de pérdidas asciende a NA. Esta diferencia se explica porque el enfoque de eficiencias de conducción discrimina (dentro de los cauces de tierra) entre canales e hijuelas.

En términos generales el enfoque de eficiencias de conducción es superador ya que discrimina entre los distintos tipos de cauces revestidos ( $j$ ), asignando el valor de  $EfC_j$  según el estudio de Cuneo et al. (2016) para la subdelegación del río Mendoza. Esto permitiría acercarse aún más al valor real del costo marginal de ampliar la oferta de riego. Por otro lado, el denominado enfoque de pérdidas considera el valor de eficiencia de conducción en canales de tierra calculado para cada unidad de manejo; este cálculo generaliza los valores de  $EfC_j$  posiblemente subestimando el desempeño de la unidad de manejo (UM).

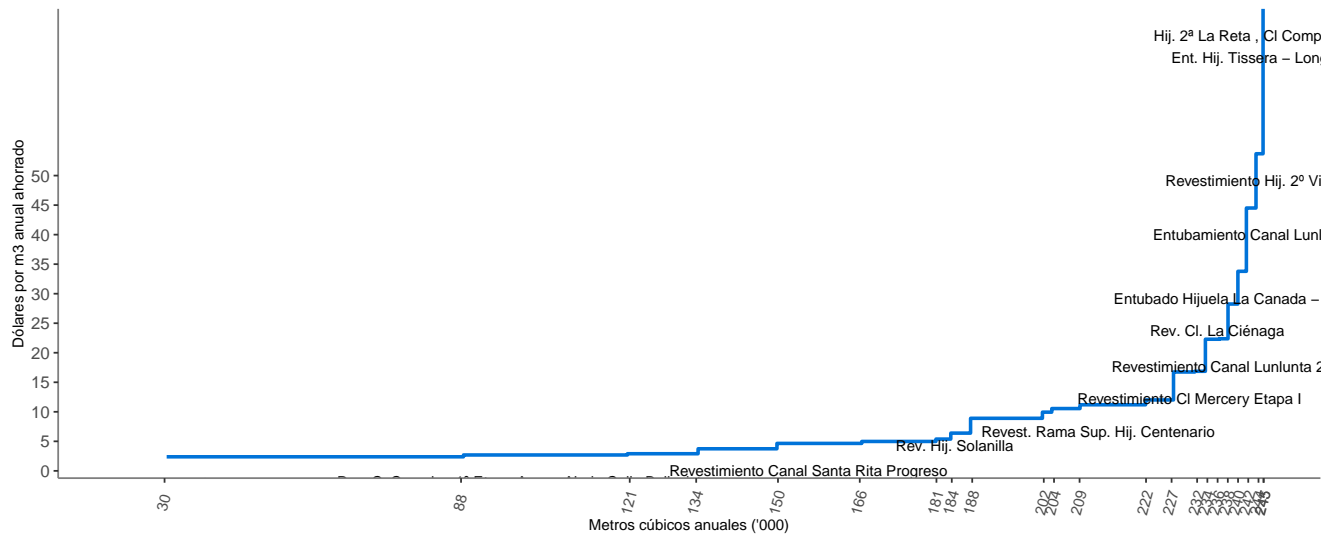


Figure 2: Curva de ahorro de agua enfoque eficiencia de conducción

$$\text{Eficiencias de Conducción} = \frac{EfC_j}{\text{longitud tipo de cauce}_j} \quad \text{pérdida} = \frac{EfC_{tierra}}{\text{longitud cauces de tierra}}$$

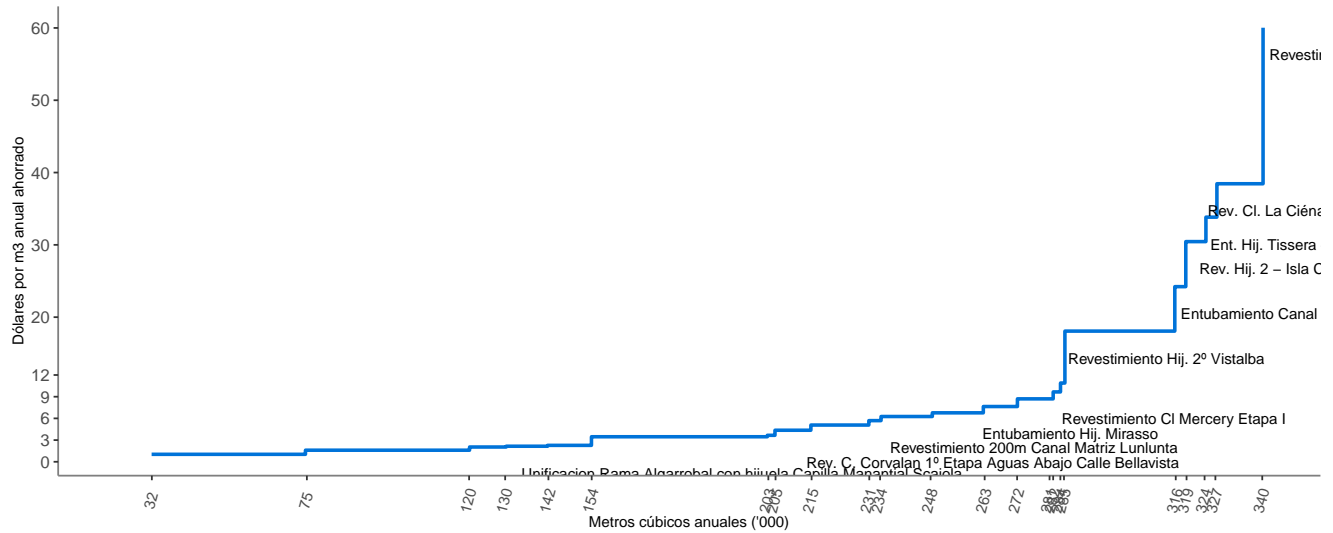


Figure 3: Curva de ahorro de agua enfoque pérdidas

En base a los resultados de la estimación realizada Hij. Chacras representa la mayor *disminución de pérdidas* por filtración por dólar invertido desde el 2017. Según los cálculos realizados, la realización de esta obra de revestimiento disminuye las pérdidas anuales por filtración en 30 miles de metros cúbicos (m<sup>3</sup>).

Table 3: Río Mendoza - Comparación metodologías

Obra	Zona	Modalidad	Metros	USD/mt	Ef.Conducción		Ahorro m3/km		USD/m3		USD/m3 (ajuste)	
					ex-ante	ex-post	Delta pérdida	Delta EfC	Pérdida	EfC	Pérdida	EfC
2017												
Entubamiento Hij. Chacras de Coria	Primera	Inspección	565	105882.4	0.639	0.98	16074	14059	6.59	7.53	8.70	9.94
Entubamiento Hij. Mirasso	Tercera	Inspección	1500	52941.2	0.800	0.98	9145	4147	5.79	12.77	7.64	16.86
Revestimiento Canal Lumlunta 2	Tercera	Inspección	189	35294.1	0.554	0.99	776	2090	45.48	16.89	60.03	22.29
Revestimiento Hij. 2º Vistalba	Segunda	Inspección	340	76470.6	0.823	0.99	5584	1880	13.69	40.68	18.07	53.70
2018												
Sobresolera 3º tramo Canal San Martín	Sexta	Administración	1000	39097.6	0.758	0.98	10161	13824	3.85	2.83	5.08	3.74
Revestimiento 200m Canal Matriz Lumlunta	Tercera	Administración	330	14585.2	0.888	0.99	3387	1825	4.31	7.99	5.69	10.55
Canalización Canal Flores: Tramo Ruta 7 - Toma Caroglio	Segunda	Administración	580	116681.9	0.728	0.98	14144	12829	8.25	9.10	10.89	12.01
2019												
Entubado Hijueta Chacras	Primera	Admininstracion	1100	54794.5	0.639	1.00	31933	30413	1.72	1.80	2.27	2.38
Unificacion Rama Algarrobal con hijuela Capilla Manantial Scaiola	Segunda	LICITADA	400	93055.4	0.520	0.98	45520	32072	2.04	2.90	2.04	2.90
Revestimiento Canal Santa Rita Progreso	Cuarta	LICITADA	310	71690.9	0.732	0.99	11455	15428	6.26	4.65	6.26	4.65
Revestimiento Cl Mercery Etapa I	Tercera	LICITADA	658	91351.1	0.647	0.99	9455	5458	9.66	16.74	9.66	16.74
Entubado Hijueta La Canada - Canal Primero Vistalba	Primera	Admininstracion	700	49543.4	0.955	1.00	30482	1935	1.63	25.60	2.15	33.79
Entubamiento Canal Lumlunta 2	Tercera	Admininstracion	300	55936.1	0.888	0.98	3048	1659	18.35	33.72	24.22	44.51
2020												
Rev. C. Corvalan 1º Etapa Aguas Abajo Calle Bellavista	Segunda	Licitación	700	156227.6	0.576	0.98	42675	58061	3.66	2.69	3.66	2.69
Ent. Fray Luis Beltran (Reemplaza Al Rev. Aductor)	Tercera	Administración	2000	62500.0	0.857	0.98	12193	16589	5.13	3.77	6.77	4.98
Rev. Hij. Mina De Oro - Long 1500M	Tercera	Licitación	750	78125.0	0.778	0.98	48771	14515	1.60	5.38	1.60	5.38
C. Rama Gdor. Galigniana Segura	Sexta	Administración	150	14062.5	0.758	0.98	2134	2903	6.59	4.84	8.70	6.39
Rev. Hij. Solanilla	Segunda	Licitación	350	34453.1	0.823	0.98	9957	3871	3.46	8.90	3.46	8.90
Revest. Rama Sup. Hij. Centenario	Cuarta	Administración o Licitación	1000	46875.0	0.727	0.98	14225	5530	3.30	8.48	4.36	11.19
Rev. Hij. 2 - Isla Chica - Long. 1000	Tercera	Administración o Licitación	1000	46875.0	0.903	0.98	2032	2765	23.07	16.95	30.45	22.37
Rev. Cl. La Ciénaga	Cuarta	Licitación	600	46875.0	0.551	0.98	1219	1659	38.45	28.25	38.45	28.25
Ent. Hij. Tissera - Long. 500M	Tercera	Administración	500	78125.0	0.800	0.98	3048	1382	25.63	56.53	33.83	74.62
Hij. 2ª La Reta , Cl Compuertas (Ent. F400)	Primera	Licitación	300	13203.1	0.955	0.98	12802	0	1.03	Inf	1.03	Inf

Fuente: Elab. propia en base DGI (2020).

## Comentarios finales

En un contexto de completa disponibilidad de la información y competencia perfecta entre las empresas e instituciones que ejecutan las obras de infraestructura, la estimación de la curva de oferta adicional equivale a la curva de *Costo Marginal* ( $CMg$ ) de ahorro de agua por disminución de las pérdidas por infiltración. Este enfoque considera únicamente el concepto de eficiencia de conducción ( $EfC$ ) para la estimación de la curva. Tal como fue mencionado anteriormente, el concepto global de eficiencia en el manejo del recurso hídrico debe incluir las estimaciones de eficiencia en la distribución ( $EfD$ ) y eficiencia en la aplicación ( $EfA$ ). La información aquí presentada puede ser considerada como soporte para las decisiones de inversiones en revestimiento de cauces pero no correspondería comparar inversiones que apunten a la mejora de conceptos distintos de eficiencia. Es decir que, en esta etapa de análisis no es conveniente relegar inversiones que apunten a mejorar la eficiencia en distribución por obras de revestimiento debido a que no hemos alcanzado el desarrollo de una metodología de valoración de las inversiones inclusiva para los tres conceptos de eficiencia. Es deseable continuar la investigación y evaluación de obras de revestimiento en otras subdelegaciones para profundizar el conocimiento del costo marginal del ahorro de agua por eficiencia de conducción. El trabajo realizado durante el 2019 permitió el esclarecimiento de una metodología de trabajo que brindará resultados con mayor celeridad.

## Modelo integral

El presente es una adaptación de la teoría económica clásica incorporando aspectos técnicos de política económica en el manejo del agua. Se presenta en un gráfico de cuatro (4) cuadrantes. El Primero y el tercero reflejan la tecnología de riego representativa de la explotación agrícola. En el segundo cuadrante se ubica la demanda de agua para riego  $A_i^D$  y en el cuarto cuadrante la demanda efectiva de riego o productividad marginal  $AE_i^D$ . Cambios o adaptaciones tecnológicas generan efectos en las demandas de riego que, identificándose correctamente, muestra el valor real de la productividad marginal del agua.

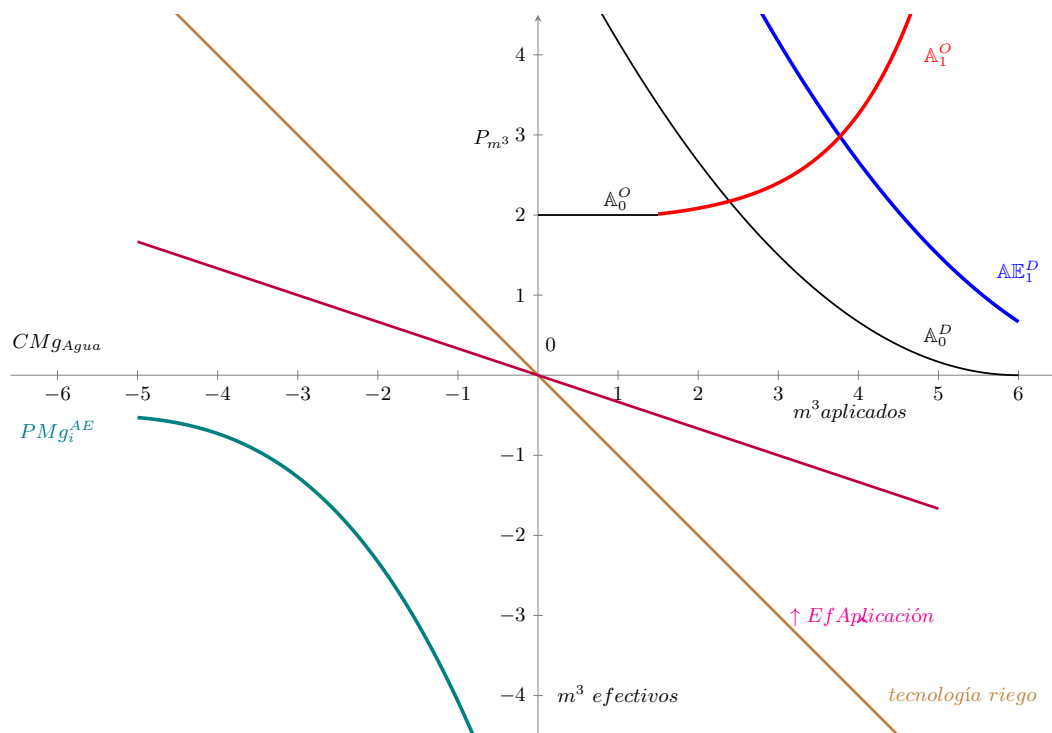


Figure 4: Representación de cambios en la demanda de agua  $A_i^D$  acorde a la expansión de la oferta de riego  $A_1^S$

La eficiencia del riego intra-finca está caracterizada por el *paquete tecnológico* del productor y las herramientas que utiliza para la producción agrícola. En otras palabras, la tecnología disponible en la finca como sistema de riego, sistema de conducción de cultivo y prácticas agrícolas (entre otros) determina la efectividad del agua para riego. Es posible estimar el volumen mínimo de riego de acuerdo a las características de la finca y el uso del mejor paquete tecnológico disponible. A su vez, esta estimación permite calcular el precio correcto (teórico) del agua para riego. El mismo puede ajustarse a valores referenciales de la finca y ajustarse cambios en la disponibilidad del recurso hídrico.

### Referencias bibliográficas

Bos, M.G., and J. Nugteren. 1990. *On irrigation efficiencies*. 4th ed. Wageningen: International Institute for Land Reclamation; Improvement (ILRI).

Cuneo, Guillermo, J Ferrer, A Laudadio, N Ortiz, M Roselló, and Juan Gustavo Satlari. 2016. “Eficiencia de conducción en la cuenca del río Mendoza.” 2008. Vol. 8. Mendoza: Departamento General de Irrigación.

DGI. 2004. “Compilación de Códigos de aplicación en el Departamento General de Irrigación.” Mendoza, Argentina: Departamento General de Irrigación.

———. 2016. “Balance Hídrico. Río Mendoza.” Mendoza, Argentina: Departamento General de Irrigación.

Gómez, Carlos Mario, Carlos Dionisio Pérez-Blanco, David Adamson, and Adam Loch. 2018. “Managing Water Scarcity at a River Basin Scale with Economic Instruments.” *Water Economics and Policy* 04 (01): 1750004. <https://doi.org/10.1142/s2382624x17500047>.

Gruère, Guillaume, Colette Ashley, and Jean-Joseph Cadilhon. 2018. “Reforming water policies in agriculture. Lessons from past reforms.” OECD Food, Agriculture and Fisheries. Paris: OECD. <https://doi.org/10.1787/1826beee-en>.

Gruère, Guillaume, and Hélène Le Boëdec. 2019. “Navigating pathways to reform water policies in agriculture.” OECD Food, Agriculture and Fisheries Papers. Paris: OECD. <https://doi.org/10.1787/906cea2b-en>.

Lago, Manuel, and Jaroslav Mysiak. 2015. *Use of Economic Instruments in Water Policy*. Edited by Manuel Lago, Jaroslav Mysiak, Carlos M. Gómez, Gonzalo Delacámara, and Alexandros Maziotis. Vol. 14. Global Issues in Water Policy, March. Cham: Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-18287-2>.

MAGyP. 2011. “Balance hídrico como herramienta de decisión.” In *Herramientas Para La Evaluación Y Gestión Del Riesgo Climático En El Sector Agropecuario*, 1st ed., 55–63. Buenos Aires, Argentina: MAGyP.

Morábito, José Antonio. 2005. “Desempeño del riego por superficie en el área de riego del río Mendoza Eficiencia actual y potencial. Parámetros de riego y recomendaciones para un mejor aprovechamiento agrícola en un marco sustentable.” Master Thesis, Universidad Nacional de Cuyo. [http://bdigital.uncu.edu.ar/objetos{\\\_}digitales/4137/morabito.pdf](http://bdigital.uncu.edu.ar/objetos{\_}digitales/4137/morabito.pdf).

Mysiak, Jaroslav, and Carlos M. Gómez. 2015. “Water Pricing and Taxes: An Introduction.” In *Use of Economic Instruments in Water Policy: Insights from International Experience*, 15–20. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-18287-2\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-319-18287-2_2).



Pittock, Jamie. 2016. “The Murray–Darling Basin: Climate Change, Infrastructure, and Water.” In *Increasing Resilience to Climate Variability and Change*, edited by Cecilia Tortajada, 1st ed., 41–59. Springer. [https://doi.org/10.1007/978-981-10-1914-2\\_3](https://doi.org/10.1007/978-981-10-1914-2_3).