



Santi di Tito

Retrato de Nicolás Maquiavelo (1469-1527).

---

## GANAR O PERDER: ÉSE ES EL DILEMA

**Víctor M. Ponce**

**Profesor Emérito de Ingeniería Civil y Ambiental**

**Universidad Estatal de San Diego, San Diego, California**

**13 noviembre 2023**

---

**RESUMEN.** Este artículo se centra en Nicolás Maquiavelo, el famoso escritor italiano, y sus pensamientos muy actuales sobre ganar y perder en relación con la experiencia humana (Maquiavelo, 1517). Se analizan tres ejemplos del mundo real: (1) El rol de los sedimentos en la ingeniería hidráulica; (2) el rol de la salinidad en la gestión del riego; y (3) la cuestión existencial del cambio climático global. El artículo concluye puntualizando la idoneidad del análisis de impacto ambiental y del difícil camino hacia la sostenibilidad a través del apoyo al enfoque científico interdisciplinario.

---

### 1. GANAR O PERDER

En su obra seminal *Discursos sobre la Primera Década de Tito Livio*, escrita alrededor de 1517, Nicolás Maquiavelo, el famoso escritor italiano, consideró oportuno mencionar la singular situación humana **dos veces**, por si acaso sus lectores se lo perdieran la primera vez. Dijo: "En todos los asuntos humanos, uno se da cuenta, si los examina de cerca, de que es imposible eliminar un inconveniente sin que surja otro". Más adelante en la misma obra, Maquiavelo reiteró: "En todos los asuntos humanos existe esta dificultad: Cuando se quiere llevar las cosas a la perfección, siempre se encuentra que, ligado al bien, hay algo de mal... y pareciera imposible tener uno sin el otro." Observamos los dos elementos que aparecen en las admoniciones de Maquiavelo: (1) los asuntos humanos, y (2) la dualidad del bien y el mal. Observamos que si estos dos elementos no están efectivamente unidos entre sí por el destino, es muy posible que Maquiavelo haya estado entre los primeros en asegurarse de que al menos permanezcan en el récord.

Lograr el bien y obtener algo de él, material o inmaterial, invariablemente requiere alguna acción. **Nadie ganó nada quedándose quieto.** La acción requiere un cambio en el status quo, típicamente un desarrollo que haga realidad una nueva idea. Se espera que este desarrollo resulte en un aumento de la calidad de vida, tal como la definen los estándares contemporáneos. Las sociedades de todo el mundo emplean diversos tipos de profesionales para materializar avances en productos y servicios. Sin embargo, la pregunta crucial permanece: ¿Es posible desarrollar un producto o servicio que proporcione sólo el bien, excluyendo el mal? ¿Tenía razón Maquiavelo al señalar que no tenemos más remedio que aceptar esta dicotomía como parte del funcionamiento de la Naturaleza, que, aparentemente, sólo podemos sobrellevar, pero no controlar?

En lo que resta de este artículo, describimos tres casos con los que intentamos demostrar que si Maquiavelo no tenía la razón, al menos estaba apuntando en la dirección correcta. Éste es el verdadero dilema de la sociedad humana: **Cómo ganar sin perder.** En la medida en que hasta el momento no hemos podido resolver este problema de manera satisfactoria, continúa siendo una espina clavada en nuestro costado.

---

## 2. INGENIERÍA HIDRÁULICA

A las sociedades humanas contemporáneas les gusta batallar con el clima: Hace demasiado frío, o demasiado calor; está demasiado seco, o demasiado húmedo. Reconocemos la importancia del agua en todas las facetas de la experiencia humana pero, cuando se elige dónde vivir, huimos de ella (del agua). Preferimos un clima árido a un clima húmedo. Si éste no fuera el caso, el sur de California no se habría desarrollado desde hace más de 100 años. Ciertamente, la situación no es exclusiva de los Estados Unidos; todo lo que tenemos que hacer es mirar a nuestro alrededor para encontrar una situación similar en otros lugares. Los climas húmedos traen insectos con los que a los seres humanos les resulta difícil coexistir. Los climas áridos traen sol, lo que proporciona un ambiente mucho más saludable y más aceptable para muchos. Sin embargo, el asentamiento de tierras áridas tiene un límite práctico: La necesidad de garantizar el suministro oportuno de suficiente agua a las poblaciones urbanas y rurales que no sólo la necesitan, sino que la demandan, para una diversidad de usos.

La disponibilidad de agua local varía grandemente según el clima. Un indicador seguro es la duración

de la temporada de lluvias, medida en número de meses al año. En climas muy áridos, este número puede ser tan solo de dos meses, mientras que en climas muy húmedos puede durar doce meses, es decir ¡Todo el año! Cuando el desarrollo contemporáneo comenzó en forma decidida, a principios del siglo XX, los ingenieros hidráulicos tenían la tarea de mover el agua desde donde se producía hasta donde se necesitaba. Con el tiempo, los depósitos de agua comenzaron a multiplicarse en todo el paisaje, primero en los países desarrollados y luego en los países en desarrollo. La información actual en línea informa que hay aproximadamente 84,000 embalses en los Estados Unidos (Wikipedia: Lista de represas y embalses en Estados Unidos, consultada el 26 de agosto de 2023).

Aquí es donde las aseveraciones de Maquiavelo empiezan a perseguirnos. Los embalses se construyen para almacenar agua, pero el agua nunca se encuentra sola, es decir, en su estado puro ( $H_2O$ ). Mientras fluye sobre la superficie de la Tierra, impulsada por la gravedad en dirección al océano estratégicamente más cercano, el agua tiende a recoger materiales sólidos como arena, limo y arcilla. Éstos son los llamados sedimentos, porque pueden, y eventualmente lo hacen, separarse del flujo y convertirse en depósitos de sedimentos. Por lo tanto, el diseño de embalses tiene que enfrentarse a la cuestión de cómo manejar los sedimentos, los cuales estarán presentes, nos guste o no.

El remover los sedimentos por medios mecánicos tampoco soluciona el problema, porque el agua que fluye siempre tiene la capacidad de arrastrar sedimentos del ambiente circundante para satisfacer su capacidad de transporte, es decir, la cantidad de sedimento que la Naturaleza ha determinado que deberá llevar. Por lo tanto, es un hecho establecido, aceptado por los ingenieros hidráulicos, que todos los depósitos de agua eventualmente se llenarán de sedimentos (Fig. 1). El tiempo de llenado dependerá del clima y de las condiciones locales: En climas áridos, el llenado podría tardar un año o menos, mientras que en climas húmedos podría tardar cientos de años.



Fig. 1 Sedimentación en el embalse de Gallito Ciego, La Libertad, Perú.

**Lo bueno:** el almacenamiento de agua para satisfacer las necesidades de la sociedad.  
**Lo malo:** El depósito de sedimentos en los embalses destinados a almacenar agua. ¡Y aquí nos topamos de nuevo con las admoniciones de Maquiavelo! Los seres humanos no conocemos ninguna forma práctica de deshacernos por completo del problema de los sedimentos. El sedimento viene con el territorio: Si almacenamos agua, almacenamos sedimentos. Observamos que la Naturaleza pretendía que los sedimentos sirvieran el propósito útil de eventualmente asentarse en los valles, donde constituirían una reserva de nutrientes, los constituyentes básicos de la vida. Esto nos recuerda, una vez más, la dualidad o dicotomía del bien y el mal, de la cual parece que no podemos deshacernos. El control total o gestión eficaz de los sedimentos suele ser tan costoso y tan engorroso que las sociedades acaban abandonando la empresa.

---

### 3. MANEJO DE LA IRRIGACIÓN

La mayoría de las personas consideran el riego como una empresa encomiable. El objetivo es aumentar la cantidad de alimentos disponibles para una población mundial en crecimiento, el cual alcanzó los 8,045 millones a mediados de 2023. A simple vista, el tema parece estar bastante claro; pero hay un problema. Las plantas utilizan agua ( $H_2O$ ), pero el agua que les llega mediante el riego no es pura. Hay una cierta cantidad de sal en toda agua de riego y las plantas no la utilizan, por lo que se acumula en el suelo, Como era de esperar, los dictámenes de Maquiavelo aparecen, esta vez con cierta venganza.

Para entender la agricultura de regadío en contraposición a la agricultura de secano, en la cual no se utiliza el riego, debemos describir las diferencias entre ellas, exactamente como ocurren. En la agricultura de secano, los cultivos satisfacen sus necesidades fisiológicas de agua en las inmediaciones, muy probablemente de la lluvia local. En regiones con precipitación anual cercana al valor medio anual (800 mm), es probable que exista suficiente humedad en el ambiente para satisfacer las necesidades hídricas de la mayoría de las plantas (Ponce, 2000). En este caso, el riego puede no ser absolutamente necesario, aunque a menudo puede implementarse para aumentar la productividad. A medida que la precipitación media anual disminuye a 400 mm, el límite entre las regiones semiáridas (mayor o igual a 400 mm) y áridas (menor de 400 mm), la necesidad del riego se vuelve más apremiante. Para valores menores de 200 mm, el riego es casi una necesidad absoluta para que la empresa agrícola pueda prosperar. Por lo tanto, cuanto más seco es el ambiente, mayor es la necesidad de importar agua para complementar la deficiencia.

El riego puede requerir el transporte de agua a grandes distancias, y aquí es donde la situación se complica (Fig. 2). El agua tiene una tendencia innata a recoger sólidos, tanto de tamaño molecular como de partículas, al entrar en contacto con la superficie del suelo, El **momento dipolar** de la molécula de agua garantiza el arrastre de diversos componentes químicos, entre ellos, los cationes de metales alcalinos (sodio  $Na^+$  y potasio  $K^+$ ) y los de metales alcalinotérreos (magnesio  $Mg^+$  y calcio

Ca+) (Ponce, 2019).



Fig. 2 Canal de suministro de agua (I) y canal de drenaje (D), distrito de riego y drenaje Wellton-Mohawk, Wellton, Arizona.

[¡Téngase en cuenta que estos canales fluyen en sentido opuesto!].

Estos cuatro cationes son los cationes de sal más comunes; juntos representan aproximadamente el 11% de todos los cationes presentes en la litósfera (Ponce, 2015). Así, cuando el agua de riego llega realmente a las proximidades de las plantas ¡ya está cargada de sales! Estas sales van quedando gradualmente atrás en el proceso de evapotranspiración, porque las necesidades fisiológicas de la gran mayoría de los cultivos agrícolas no incluyen sales, particularmente en las cantidades en las que suelen estar presentes. El resultado es una mayor presencia de sales en el perfil del suelo, lo que actúa limitando el crecimiento vegetativo normal de los cultivos, lo cual lleva a una reducción de la productividad. Así, una vez más, impera el dictamen de Maquiavelo: el riego aumenta la producción de alimentos, **algo bueno**; pero a costa de aumentar la concentración de sales en el perfil del suelo, **algo malo**.

A lo largo de los años, los ingenieros de riego han ideado una forma de afrontar el problema de la salinidad. Ellos añaden una determinada cantidad de agua, la fracción de lixiviación, a las necesidades de evapotranspiración potencial del cultivo en cuestión, para eliminar la sal de la zona radicular y conducirla aguas abajo, a modo de drenaje. Pero esto acaba aumentando el contenido de sal de las aguas receptoras, ya sean superficiales o subterráneas.

La sal antropogénica resultante de la actividad de riego se suma a la cantidad total de sal del río en su estado natural. Ahora bien, es cierto que todos los ríos tienen una concentración natural de sal, la cual aumenta a medida que éstos fluyen aguas abajo desde las cabeceras hasta el océano (Pillsbury, 1981). Pero con la sal adicional proveniente del riego la concentración aumenta, lo que impone un gravamen a la corriente receptora y a los otros usos. Si se toma la decisión de no drenar las sales adicionales producidas por el riego, el único recurso es recolectar y almacenar la sal adicional en sendas lagunas de evaporación (Fig. 3). Pero eventualmente éstas terminan contaminando los

acuíferos subyacentes e inclusive los arroyos vecinos que reciben el flujo de base local y regional. En el caso típico, el transportar las sales para arrojarlas al océano más cercano resulta demasiado costoso. Invariablemente, la sal vuelve a perseguirnos, lo cual confirma una vez más las admoniciones de Maquiavelo.



Fig. 3 Laguna de evaporación Sur, distrito de drenaje del Lago Tulare, condado de Kings, California.

El caso del Lago Salton, en los condados de Imperial y Riverside, en California, es una lección que conviene sopesar. Cuando se someten a riego, observamos que las tierras áridas como las vecinas al Lago Salton generan una mayor cantidad de sal antropogénica que tierras subhúmedas comparables (Rhoades y otros, 1968). Esto se debe a que los suelos son relativamente nuevos y, por lo tanto, todavía relativamente sin lixiviar. Durante los últimos 100 años, el drenaje agrícola proveniente de la irrigación de los valles Imperial y Coachella, adyacentes al Lago Salton (Fig. 4), ha sido recolectado y depositado en el lago, y la salinidad que aumentado de alrededor de 3000 ppm en en la década de 1920, a 60 000 ppm en la actualidad (década de 2020) (Departamento de Pesca y Vida Silvestre de California).



Google Earth®

Fig. 4 El Lago Salton y los valles Imperial (S) y Coachella (N), condados de Imperial y Riverside, California.

La existencia de los valles Imperial y Coachella ha aumentado efectivamente la cantidad de alimentos, y en el proceso ha enriquecido a un gran número de personas, pero esto ha sido a expensas de la creación del Lago Salton. Parece no haber solución a este dilema: ¡En ausencia del Lago Salton **(algo bueno)**, los valles Imperial y Coachella no existirían! **(algo malo)**. Varios ejemplos similares confirman la omnipresencia de los dictámenes de Maquiavelo.

---

#### 4. CAMBIO CLIMÁTICO GLOBAL

El concepto original de lo que hoy llamamos *cambio climático global* se atribuye al científico sueco Arrhenius (1896). Él fue el primero en cuantificar la contribución del dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) al efecto invernadero en la atmósfera. Si bien Arrhenius no sugirió explícitamente que la quema de combustibles fósiles causaría el calentamiento global, está claro que estaba consciente de que constituiría una fuente importante de dióxido de carbono.

El cambio climático global es un problema existencial crucial al cual actualmente se enfrenta el mundo contemporáneo. Para describirlo mejor, aquí dividimos el tema en tres partes: (1) inicio, (2) crecimiento, y (3) madurez.

**Inicio.** El comienzo del cambio climático global está relacionado con los logros de una persona, el industrial estadounidense Henry Ford. En 1913, Ford finalizó la implementación de su línea de ensamblaje, la cual permitió la producción en masa de vehículos automotores, al mismo tiempo que aumentó considerablemente la producción de automóviles. Con el tiempo, este intrépido desarrollo provocó una reducción en el costo de los automóviles hasta tal punto que muchas más personas pudieron tener acceso a ellos. Efectivamente, la línea de ensamblaje puso el automóvil al alcance de muchas más personas que antes de la invención de Henry Ford. Observamos que en la actualidad

(2023) hay alrededor de 1.446 millones de automóviles en el mundo, 110 años después del aumento en sus ventas, impulsado por el invento de Henry Ford.

La historia demuestra que Henry Ford nunca asistió a la escuela secundaria. Sin embargo, a la edad de 28 años, su buen dominio de la mecánica automotriz le ayudó a conseguir un trabajo como ingeniero en Edison Illuminating Company de Detroit. El resto es historia... ([Wikipedia: Henry Ford](#); consultado el 28 de agosto de 2023). Con su limitada formación científica, Ford no pudo comprender las consecuencias de la aventura geológica y atmosférica a la cual, sin percatarse, llevó al mundo contemporáneo

**Crecimiento.** Intrínseca a los combustibles fósiles es la cuestión del tiempo, es decir, el tiempo geológico. A la Naturaleza le llevó una gran cantidad de tiempo, unos 360 millones de años, a juzgar por los conocimientos geológicos actuales, para eliminar el excedente de materia orgánica acumulada en la superficie de la Tierra, con el fin de que nuestra atmósfera pudiera conservar una semblanza de equilibrio. Demasiada combustión haría que las moléculas diatómicas en la atmósfera, entre ellas, el dióxido de carbono, aumentaran y condujeran al calentamiento. Por el contrario, una cantidad insuficiente de combustión provocaría una disminución de dichas moléculas y por consiguiente, el enfriamiento.

Como todos los demás, Ford no podía haber adivinado correctamente el futuro. La población mundial en el año 1900 era de 1.600 millones; ahora (2023) se acerca a los 8.000 millones, ¡se ha quintuplicado en los últimos 123 años! En los tiempos actuales está ampliamente reconocido que el calentamiento global de las últimas dos o tres generaciones se debe a la combustión de combustibles fósiles, que han sido constantemente extraídos de la Tierra y utilizados, ¡decididamente en contra del diseño de la Naturaleza!

**Madurez.** El aumento sostenido del dióxido de carbono atmosférico en la época contemporánea ha sido documentado por Charles D. Keeling (1928-2005), quien, a partir de 1959, emprendió la medición de la concentración de CO<sub>2</sub> atmosférico en Mauna Loa, Hawaii (Fig. 5). La curva de Keeling, la cual continúa siendo trazada a la fecha (2023) por su hijo, Ralph F. Keeling, muestra claramente la relación directa entre el contenido de CO<sub>2</sub> en la atmósfera y la quema de combustibles fósiles. El principal objetivo es alimentar los dispositivos mecánicos los que se han llamado, desde sus inicios a principios del siglo XX, "carros" o "automóviles".

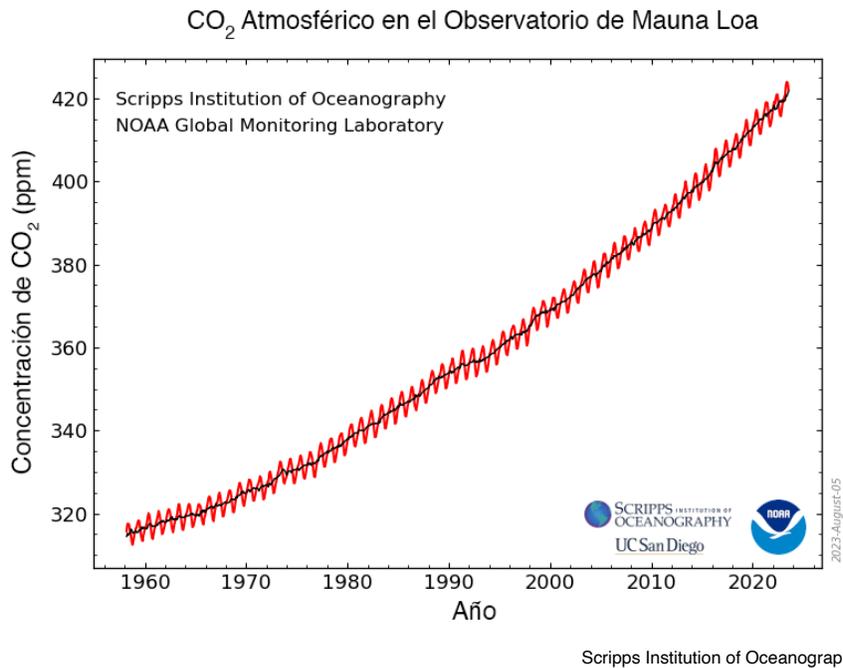


Fig. 5 La curva Keeling.

Suponemos que si Maquiavelo (1469-1527) hubiera estado presente en esta época, hubiera dicho, tal vez en tono de amonestación: "Se los advertí". De hecho, el uso de combustibles fósiles para impulsar nuestros automóviles (**algo bueno**) ha resultado en un calentamiento sostenido de la atmósfera terrestre (**algo malo**). Sin lugar a dudas, mirando hacia el futuro, la resolución de este conflicto requerirá todo el ingenio y la voluntad política que las sociedades humanas sean capaz de reunir.

---

## 5. EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL

El concepto de evaluación del impacto ambiental se remonta al año 1969, cuando los Estados Unidos aprobaron la Ley de Política Ambiental Nacional (NEPA). En ese momento se reconoció oficialmente que los proyectos de desarrollo producían ciertos impactos no deseados en el medio ambiente circundante. Surgió así la necesidad de evaluar los proyectos cuidadosamente, utilizando métodos de análisis racionales, de modo que los profesionales responsables pudieran determinar si valía la pena continuar con el proyecto, una vez identificadas claramente las ventajas y desventajas, y comparadas sobre bases similares (Leopold y otros, 1971; Dee y otros, 1972; 1973).

Este cambio de perspectiva con respecto a los proyectos de desarrollo prácticamente ha institucionalizado el sentido de las admoniciones de Maquiavelo, convirtiendo en ley lo que antes se había considerado, en el mejor de los casos, una aguda observación. Más de 50 años después de la aprobación de la ley NEPA, está ahora ampliamente establecido que las características positivas y negativas de los proyectos de desarrollo deben evaluarse cuidadosamente y compararse de manera sistemática, para decidir si continuar o no con el desarrollo de los proyectos.

---

## 6. EPÍLOGO

Con la necesidad de una evaluación del impacto ambiental ya firmemente establecida, la solución obvia es ampliar las investigaciones científicas y profesionales para abarcar todos los campos de estudio. Esto implica la colección de todas las áreas del conocimiento humano en un cuerpo claramente integrado. Aquí nuevamente reaparece el genio de Maquiavelo para dejar las cosas claras. Él menciona que "Los hombres cometen bastantes errores sobre las cosas en general, pero no tantos sobre las cosas en particular". En otras palabras, es fácil para una persona resolver un problema específico, pero no uno que presente variados ángulos.

En conclusión, está claro que la humanidad debe estar dispuesta a emplear un conjunto integral de sus mejores profesionales para examinar y decidir sobre las soluciones sostenibles que tanto se necesitan, las cuales naturalmente cubren una amplia gama de campos del conocimiento humano.

---

## BIBLIOGRAFÍA

Arrhenius, S. 1896. [On the influence of carbonic acid in the air upon the temperature of the ground](#). *Philosophic Magazine and Journal of Science*, Series 5, Vol. 41, April 1896, 237-276.

Machiavelli, N. 1517. *Discourses on Livy* (Original title: Discourses on the First Decade of Titus Livy), Mockingbird Classics Publishing, 2015. ([Extract](#)).

Rhoades, J. D., D. B. Krueger, y M. J. Reed, 1968. The effect of soil-mineral weathering on the sodium hazard of irrigation waters. *Soil Science Society of America Proceedings*, Vol. 32, 643-647.

Leopold, L. B., F. E. Clarke, B. B. Hanshaw, y J. E. Balsley. 1971. A procedure for evaluating environmental impact. *U.S. Geological Survey Circular 645*, Washington, D.C.

Dee, N., J. Baker, N. Drobny, K. Duke, y D. Fahringer. 1972. Environmental evaluation system for water resource planning, *Report to Bureau of Reclamation, U.S. Department of Interior*, Battelle Columbus Laboratory, Columbus, Ohio, January, 188 pages.

Dee, N., J. Baker, N. Drobny, K. Duke, I. Whitman, y D. Fahringer. 1973. An environmental evaluation system for water resource planning. *Water Resources Research*, Vol. 9, No. 3, June, 523-535.

Pillsbury, 1981. [The salinity of rivers](#). *Scientific American*, Vol. 45, Number 1, July, 55-65.

Ponce, V. M. 2000. [Characterization of drought across climatic spectrum](#). *Journal of Hydraulic Engineering, ASCE*, Vol. 5, No. 2, April.

Ponce, V. M. 2015. [The right of Nature to dispose of its salt waste](#). Publication en línea. Publication en línea.

Ponce, V. M. 2019. [The properties of water](#). Publication en línea.

California Department of Fish and Wildlife, undated. [Background information on the Salton Sea](#). Consultado el 27 de agosto de 2023.

Wikipedia: [List of dams and reservoirs in the United States](#), undated. Consultado el 26 de agosto de 2023.

Wikipedia: [Henry Ford](#), undated. Consultado el 28 de agosto de 2023.

---

