

## Impacto socio-económico y medioambiental del tratamiento magnético al agua en Cuba desde el enfoque de la ciencia, tecnología y sociedad.

**Nuria de los Ángeles Vaillant López**

E-MAIL: nuriavl@civil.cujae.edu.cu

Centro de Investigaciones Hidráulicas (CIH), Universidad Tecnológica de La Habana

**GUILLERMO RIBEAUX KINDELÁN**

E-MAIL: ribeaux@uo.edu.cu

Centro de Electromagnetismo Aplicado (CNEA), Universidad de Oriente, Santiago de Cuba, Cuba

### RESUMEN

Es ineludible el impacto que puede aportar el uso del tratamiento magnético al agua (TMA) como tecnología innovadora, económica y amigable, importantes aristas del bienestar social y del incremento de la calidad de vida. El estudio de la tecnología del TMA desde un enfoque de Ciencia, Tecnología y Sociedad (CTS) contribuye a elevar la dimensión ética, política y social del trabajo científico imbricado en el proceso de desarrollo e innovación de esta técnica. Por lo que esta investigación argumenta desde un enfoque CTS el impacto socioeconómico del uso del TMA como tecnología ambientalmente amigable para el tratamiento de aguas en Cuba.

**PALABRAS CLAVES:** agua, ciencia, desarrollo sustentable, sociedad, tecnología, tratamiento magnético

Socio-economic and environmental impact of magnetic water treatment in Cuba from a Science and Technology approach and Society.

### ABSTRACT

The impact that the use of magnetic water treatment (TMA) can provide as an innovative, economical and friendly technology, important aspects of social well-being and increased quality of life, is unavoidable. The study of TMA technology from a Science, Technology and Society (STS) approach contributes to raising the ethical, political and social dimension of the scientific work embedded in the development and innovation process of this technique. Therefore, this research argues from a STS approach the socioeconomic impact of the use of TMA as an environmentally friendly technology for water treatment in Cuba.

**KEYWORDS:** water, science, sustainable development, society, technology, magnetic treatment.

## 01 INTRODUCCIÓN

A lo largo de la historia, e incluso ya antes de nuestra era, se conocía la necesidad de tratar el agua para mejorar su calidad y evitar enfermedades y epidemias; el propio desarrollo industrial ha exigido cada vez más, una mejor calidad del agua en sus procesos. Pero la demanda global de agua sigue aumentando por el crecimiento poblacional, el desarrollo de las actividades socioeconómicas, el uso indiscriminado y mal manejo del agua, provocando que disminuya peligrosamente la calidad de las fuentes de abasto de agua potable.

Además, en algunos países, el acceso al agua cruda con una calidad aceptable es problemático, y se tienen que tratar aguas de no muy buena calidad con resultados discutibles. En naciones en vías de desarrollo como Cuba, las limitaciones económicas para la implantación de sistemas convencionales, (ni pensar en alta tecnología) de potabilización y de depuración, hacen que el volumen de efluentes tratados no sea suficiente, por lo que disponer de tecnologías eficaces y eficientes para el tratamiento del agua, es hoy un imperativo para la supervivencia futura de la sociedad (Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente. CITMA, 2015).

A nivel internacional, existen investigaciones que demuestran la capacidad del TMA para inducir cambios en el pH, tensión superficial, solubilidad, turbidez, conductividad, capacidad calorífica, comportamiento del potencial Z, y la susceptibilidad magnética. (Siau, 2014; Bartušek et al., 2017; Chibowski y Szcześ, 2018; Ayat *et al.*, 2019). En Cuba, la ciencia relacionada con el tratamiento magnético, liderada por el Centro Nacional de Electromagnetismo Aplicado (CNEA), ha derivado hacia la vertiente de sistemas industriales (calderas, sistemas de enfriamiento, como separadores de partículas ferromagnéticas, en la industria azucarera, industria del petróleo y la prevención de incrustaciones calcáreas en redes y tuberías), y agropecuarios (agua para el riego agrícola, agua para alimentación animal) fundamentalmente. (Acea, 2004; Gilart, 2009; Arias y col., 2018).

Otras novedosas aplicaciones del TM al agua son estudiadas: efectos bactericidas y alguicida, absorción de metales pesados, eliminación de organismos patógenos y como ayudante en los procesos de coagulación. (Vaillant y Fernández, 2021), estudios que se muestran como un abanico de nuevas aplicaciones en nuestro país, que contribuyen al desarrollo de procesos inherentes al agua, como la coagulación, la vaporización, la solvatación, y la desinfección, entre otros.

Teniendo en cuenta que la mayoría de los tratamientos para la potabilización y el reúso, se realizan con productos químicos no degradables, caros y de difícil almacenamiento, se hace necesario el estudio y uso de tecnologías económicas, limpias, basadas en métodos físicos, y de fácil aplicación como el Tratamiento Magnético (TM). Aunque conocida mundialmente desde inicios del siglo XX, su utilización es novedosa porque se siguen encontrando nuevas prácticas y procedimientos para su uso, y ha recibido mucha atención de la comunidad científica por la implicación que tiene en lo económico y en el cuidado del medio ambiente.

El estudio de la tecnología del TMA desde un enfoque CTS contribuye a elevar la dimensión ética, política y social del trabajo científico imbricado en el proceso de desarrollo e innovación de la misma. Argumentar el impacto cultural, socioeconómico y ambiental, así como las contradicciones presentes en la aplicación del TMA, y su implicación e imbricación como paradigma tecnológico en el panorama científico cubano, favorecerán su evolución en la conversión de cultura tecnológica.

## 02 TRATAMIENTO MAGNÉTICO AL AGUA

La observación del efecto de los campos magnéticos en el TMA es conocida desde el siglo XIX, no obstante, la actualización de esta técnica se acredita al ingeniero belga, Theo I. S. Vermeiren (1958),

que tuvo la brillante idea de utilizar el fenómeno descubierto por Michael Faraday para el tratamiento del agua industrial. En 1957, también propuso la primera aplicación práctica para el control de incrustaciones.

El efecto fundamental observado con el TMA es la reducción de las incrustaciones de sales, e incluso, la disolución de los mismos, fundamentalmente carbonatos de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ) y carbonato de magnesio ( $\text{MgCO}_3$ ) en las paredes de tuberías de abasto de agua y equipos. Además, en este proceso, el agua modifica algunas propiedades físico-químicas como, el pH, la solubilidad, la susceptibilidad magnética, la conductividad eléctrica, tensión superficial, la turbidez, punto de ebullición y la velocidad de cristalización, entre otras (Zhao et al., 2014; Wang et al., 2018).

Pero a pesar de sus aplicaciones comprobadas, en la literatura científica se debate como explicar satisfactoriamente los fenómenos observados: si la causa recae sobre posibles cambios en la estructura del agua en sí misma, cambios en el potencial Z, la influencia de las impurezas presentes o los estados electrónicos a nivel molecular, e incluso, si depende del material de la tubería por donde corre el fluido.

### 03 ENFOQUE CTS. CONCEPTUALIZACIÓN

Un enfoque de Ciencia Tecnología y Sociedad, debe partir de una perspectiva social heterogénea, es decir la participación de todos los actores de la sociedad, orientados hacia la determinación y el empleo de aquellos medios que propicien el desarrollo científico y tecnológico sustentable. De ahí la pertinencia de los estudios CTS, que en Cuba defienden principios éticos, ambientales, históricos, educativos y económicos en total armonía con la situación actual.

Reflexionando en torno a estas cuestiones, Armenteros considera la relación de la ciencia y la tecnología de conjunto con los procesos económicos, políticos, sociales y culturales: La importancia de la ciencia y la tecnología, (...) está fuera de discusión. La ciencia y la tecnología modernas se encuentran en la base de una serie de transformaciones que, a ritmo acelerado, se difunden por el mundo; su estrecha y creciente interrelación con los procesos económicos, políticos, sociales y culturales, fundamentan estrategias y políticas globales de desarrollo, la tecnología se ha convertido en uno de los factores de poder en las relaciones internacionales. (Colectivo de Autores, 2004, p. 140)

En el caso de Cuba, desde el triunfo de la revolución, la vanguardia política supo vislumbrar el papel de la ciencia y la tecnología en el desarrollo de la naciente sociedad cubana, desarrollando universidades, investigadores y centros de investigación. El debate en los últimos tiempos en torno al tema, nos dice que no ha sido suficiente, y corrobora la necesidad del conocimiento y concientización de su uso, desde un enfoque CTS, equitativo, con conocimiento no solo de su impacto positivo en lo económico, social, cognitivo, ambiental, sino también de las consecuencias y daños multifactoriales que esta pueda generar. Pero para lograrlo, es necesario comprender adecuadamente la interrelación entre ciencia-tecnología-sociedad-desarrollo.

¿Pero es ciencia por ciencia? ¿Es ciencia solo por conocimiento, por prosperidad económica, por la solución de problemas básicos e imprescindibles de la humanidad? La ciencia que debemos defender no puede desarrollarse al margen de los costos sociales y medioambientales, de ello depende la supervivencia de la raza humana. Hoy en día se hace más necesario la globalización de

una sociedad en la que el desarrollo científico tecnológico sirva a los fines reales del hombre, donde la tecnología sea centrada en el ser humano, más que a fines técnicos o económicos.

Díaz Canel (2021) en su tesis doctoral plantea: El conocimiento, la ciencia, la tecnología y la innovación constituyen insumos imprescindibles para avanzar en el proceso de desarrollo. Sobre todo, si se trata de un modelo de desarrollo como el que se formula en la Visión de la Nación, el Plan nacional de desarrollo económico y social hasta el 2030 y la Conceptualización del modelo económico y social cubano de desarrollo socialista que la define como soberana, independiente, socialista, democrática, próspera y sostenible. No puede haber verdadera soberanía, sostenibilidad y prosperidad sin capacidades de conocimiento, ciencia, tecnología e innovación. (p. 1)

Entonces, está claro que el conocimiento, la ciencia y la tecnología están articulados a la estrategia económica, social y cultural del país, generando beneficios en el sistema de salud, en la alimentación y en otros sectores vinculados a las necesidades humanas básicas de la población. Sin embargo, aunque avanza la interacción entre las universidades y centros de investigación con las de producción y servicios, no está generalizada como se espera, limitando la innovación tecnológica y la generalización de los principales descubrimientos.

Pero esta no es la única dificultad, la economía cubana, no rebasa aún su precaria situación, la obsolescencia del equipamiento científico, lo difícil de mantener estabilidad y cuantía del financiamiento a las actividades de *I+D*, las reglas que establecen la globalización neoliberal, y el bloqueo económico, son factores que atentan contra la política tecnológica y científica cubana.

Según Núñez Jover (2000): El problema de la relación entre innovación y desarrollo social es uno de los más relevantes que podemos imaginar para el campo CTS, sobre todo si se le enfoca desde la perspectiva de los países subdesarrollados. Es un tema que enlaza cuestiones técnicas con valoraciones política y éticas fundamentales". (p.242)

Teniendo en cuenta los preceptos anteriores, no es posible hablar de Innovación si esta no trae consigo: integración de conocimientos, participación social, nuevos o mejorados productos, satisfacción de necesidades sociales o demandas del mercado, y comercialización.

Entonces, asumiendo las ideas de Díaz Canel: La innovación desde el enfoque SNI (Sistema Nacional de Innovación), se entiende como un proceso social, multiactoral, interactivo que involucra organizaciones y actores que interactúan vigorosamente entre sí, apoyándose en políticas, normas, reglamentos, hábitos, lo que en economía de la innovación se llaman "instituciones". Todos esos elementos (...), deben funcionar como un sistema que favorece la producción, difusión y uso del conocimiento". (Díaz Canel, 2021, p.18)

No obstante, todo lo anterior, unido al estímulo económico, no es suficiente para el desarrollo de una nueva tecnología. Esta, además de romper paradigmas y demostrar su valía frente a otras tecnologías, necesita estar técnicamente madura para su uso en la práctica social y producir un cambio tecnológico que debe estar articulado con estrategias políticas, sociales, productivas y ambientales. La necesidad de establecer modelos de desarrollo que tengan como base la sustentabilidad ambiental es de vital importancia en las circunstancias actuales.

El tema medioambiental debe convertirse en un objetivo esencial tanto para el gobierno como para todos los agentes económicos que inciden en la sociedad. No es posible concebir crecimiento económico sin Desarrollo Sustentable, tema que predomina actualmente en el debate a todos los niveles. Desarrollo humano y protección de la naturaleza no se contradicen con el crecimiento económico, sino que lo orientan por el sendero de la sustentabilidad, que no es más que satisfacer las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones. Entonces, la categoría de “Desarrollo Sustentable o Sostenible” abarca no solo lo económico, sino también lo social, lo cultural, institucional y el medio ambiente.

Según Arana y Valdés, el término de desarrollo sostenible constituye hoy un nuevo paradigma y a la vez una utopía del desarrollo humano... (...). Para los países en vías de desarrollo, el desarrollo sostenible se convierte en un enorme reto, pues por un lado está la carencia de recursos económicos, financieros y humanos capacitados, y por otro, la falta de políticas y estrategias integradas hacia este objetivo, lo que tiene su causa en el sistema socioeconómico capitalista imperante, basado en relaciones de propiedad privada que conducen al individualismo y la diferenciación económica y social; la deuda externa; la explotación irracional de los recursos; etc. (Colectivo de autores, 2004).

El Desarrollo Sostenible, aunque tiene dos componentes básicos: protección ambiental y satisfacción de las necesidades básicas de generaciones presentes y futuras, posee variables claves, articulados en componentes económicos, sociales y ecológicos cuya incidencia pueden ir desde lo local hasta nivel de país: la sostenibilidad, la equidad, la sustentabilidad ambiental y la sustentabilidad cultural.

La Agenda 2030 y los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible aprobada en septiembre de 2015 por la Asamblea General de las Naciones Unidas, establece una visión transformadora hacia la sostenibilidad económica, social y ambiental de los 193 estados miembros que la suscribieron. Para Cuba, la adopción de la agenda 2030 constituyó una prioridad nacional y concreta los 17 objetivos de Desarrollo Sostenible con los ejes estratégicos del Plan Nacional de Desarrollo Económico y Social hasta el 2030 (PNDES 2030), aprobando el Decreto Presidencial 261/2021 para la implementación de los mismos.

En la Visión de Cuba para 2030 expuesta en el PNDES 2030, se subrayan los valores del desarrollo sostenible y la prosperidad. Prosperidad, en términos del socialismo cubano, tiene que significar crecimiento y desarrollo económico y, a la vez, desarrollo social, caracterizado por la equidad y la inclusión social (Díaz Canel, 2021, p.13).

El escenario actual cubano ofrece grandes potencialidades para el desarrollo de documentos rectores que contribuyan con los objetivos de Desarrollo Sostenible. La aprobación de la nueva Constitución de la República, el proceso de perfeccionamiento e implementación del Macroprograma de Recursos Naturales y Medio Ambiente que responde a las Bases del PNDES 2030, la generalización del nuevo modelo de los órganos locales del poder popular, la aprobación del Plan de Estado para el enfrentamiento al cambio climático (Tarea Vida), el perfeccionamiento del CITMA, la aprobación de la Política para el perfeccionamiento del Sistema Ambiental y de otras relativas al sistema de ciencia, tecnología e innovación, la verticalización de la actividad reguladora ambiental; así como la

aprobación de diferentes normas legales. En este dinámico y complejo contexto nacional, el Estado ha continuado con el reconocimiento, de forma permanente, a la importancia de la sostenibilidad ambiental (CITMA, 2015).

No obstante, en el panorama nacional, a pesar de algunos resultados alcanzados con los organismos regulatorios responsables, persisten dificultades en aras de alcanzar las metas del desarrollo sostenible, elevar cualitativamente la complementación y articulación con otras estrategias, planes y programas, así como potenciar la gestión local en la preservación del medio ambiente. De manera adicional, la incorporación, tendencia al incremento y desarrollo de las nuevas formas de gestión económica, exigen la adopción de medidas adicionales de prevención y control, que pueden comprometer el estado de calidad ambiental de diversos ecosistemas, la salud humana y la comunidad.

El desarrollo e implementación de la tecnología del TMA forma parte de dos de los Ejes Estratégicos del PNDES 2030 adoptados: 4) Ciencia, tecnología e innovación, y 5) Recursos naturales y medio ambiente. Se corresponde con las direcciones estratégicas de la Estrategia Ambiental Nacional y varias de sus acciones prioritarias. Se imbrica también en el Proyecto de Macroprograma: Protección y uso sostenible de los recursos naturales, conservación de los ecosistemas y cuidado del medio ambiente, y contribuye con la Política Nacional del Agua y el Programa Hidráulico Nacional.

## ENFOQUE CIENCIA TECNOLOGÍA Y SOCIEDAD EN EL TRATAMIENTO MAGNÉTICO AL AGUA

Antes de 1959, las aplicaciones del TMA ya se comenzaban a introducir en Cuba por empresas azucareras extranjeras en el proceso de producción de azúcar, momento en que varios dispositivos magnetizadores fueron instalados en algunos centrales, pero a este trabajo no se le dio seguimiento y fueron desactivados, evidencia de transferencia tecnológica sin tener en cuenta el contexto socioeconómico. (...) "hasta para poder comprar tecnología hay que entender de lo que se trata, lo cual es poco factible sin capacidad de investigación autónoma" (Arocena, 1993, p.103).

No es hasta 1988 que investigadores del sector se dan a la tarea de retomar esta tecnología, surgiendo así en 1992 como consecuencia de un proyecto de investigación de la Universidad de Oriente, el Centro Nacional de Electromagnetismo Aplicado (CNEA), entidad de Ciencia, Tecnología e Innovación adscripta a la Universidad de Oriente, que se dio a la tarea de liderar, encauzar y desarrollar las investigaciones en este campo, extendiendo su aplicación por todo el país, en diferentes sectores, salud, agricultura, industria, entre otros.

En las últimas dos décadas, con la creación del CNEA, la ciencia en el tratamiento magnético ha promovido importantes avances científicos en el tema del TMA en Cuba, consistentes con nuevas interpretaciones del comportamiento del CM en diferentes esferas económicas y sociales: salud, industria, agricultura. Todas estas investigaciones sustentan el uso de esta tecnología, llegando a establecer formulaciones que facilitan su diseño y aplicación.

Pero esta tarea desde sus inicios trajo grandes contradicciones entre los investigadores, pues muchos no estaban convencidos, o no aceptaban su aplicación como método para evitar y eliminar



las incrustaciones, pues estaban adaptados al método convencional de limpieza química de los sistemas y, de hecho, a las habituales paradas de la industria para esta operación. La tecnología del TMA se inicia entonces como un paradigma tecnológico.

Para el caso específico del TMA, siguiendo los preceptos de Sáenz, los resultados de las investigaciones realizadas permiten convertir la “tecnología tradicional” de eliminación de incrustaciones por medios químicos, en “tecnología de avanzada”, con la aplicación del TMA, y mínimo costo económico (ahorro de energía, de reposición de equipos, de uso de químicos para la limpieza y eliminación de paradas de la producción) a partir de la aplicación de conocimientos científicos novedosos (Colectivo de Autores, 2004).

El TMA responde al concepto de tecnología. La interacción ciencia-tecnología en el tratamiento magnético es cada vez más dinámica y coherente, porque las urgencias técnicas, producto también de las necesidades sociales, han influido en el desarrollo del conocimiento científico, y en reversa, las nuevas teorías científicas derivadas de su estudio, y los programas, proyectos y el centro de investigación creado a tal efecto, concretan formas de acción que envuelven en sí misma a la tecnología del TMA.

En los últimos años de ingeniería revolucionaria, en Cuba se han creado las tres fuentes que sustentan la tecnología para la aplicación del TMA: el conocimiento científico (estudio de la teoría del TMA y sus mecanismos de interacción por científicos de reconocimiento nacional, e internacional) entre los que se pueden citar a (Ribeaux y col., 2008; Gilart 2009; Campo et al., 2015); el quehacer tecnológico (en la continua búsqueda de conocimientos y experiencias en el tema, respaldada por la elaboración de numerosos proyectos, liderados por el CNEA, que garantizan la reducción de costos en términos de ahorro de energía y uso de químicos fundamentalmente); y la práctica concreta (reflejado en la construcción de acondicionadores magnéticos y su introducción en la industria).

El proceso de generación y desarrollo de la tecnología del tratamiento magnético en Cuba, tiene como punto de partida las necesidades sociales y económicas de ahorro de energía, de materia prima y, cuidado del medio ambiente fundamentalmente. Tales necesidades motivaron las investigaciones recientes y actuales, por lo que es posible afirmar que toda innovación tecnológica que resulte del estudio e implantación del TMA puede considerarse “halada por demanda” “demand pulled” (Colectivo de Autores, 2004).

Según Arana y colaboradores: “La actividad científica y técnica no puede ser atributo de una persona o grupo de personas aisladas, sino debe corresponder a las instituciones y comunidades científico-técnicas capaces de ponerlas al servicio de la humanidad y de promover la interacción y el diálogo con los diferentes agentes del proceso innovador” (Colectivo de Autores, 2004).

En términos de paradigma, se trata de transformar con la introducción de la tecnología del TMA, la práctica del uso de técnicas de eliminación de incrustaciones, ahorro de materia prima y portadores energéticos, en las que la tradición sería eclipsada por un nuevo concepto con superiores factores de seguridad, satisfaciendo el deseo primario de todo ingeniero: “hacer más, con menos”.

Se trata de convertir el TMA en cultura tecnológica, desde los cimientos de su aplicación. De extender la sustentabilidad (como premisa para alcanzar el desarrollo sostenible) del TMA desde el aspecto económico hacia el aspecto tecnológico, es decir, conseguir, o más bien, potenciar y afianzar la apropiación de una tecnología constructiva de probados resultados económicos y resiliente con el medio ambiente. Además, la racionalidad en el ahorro de materiales que caracteriza al TMA está acorde con las políticas de desarrollo sostenible que distinguen a nuestro país.

Entonces, es posible afirmar que existen hoy dos condiciones favorables para lograr convertir el TMA en cultura tecnológica: 1) capacidad científico-tecnológica propia y 2) potencial científico-técnico. La tercera condición necesaria: el sistema socio-económico que combine estrategias y políticas de desarrollo, se perfecciona a nivel de país con la actualización del modelo económico vigente. La “tecnología apropiada” se ajusta a los enfoques dados al respecto por Schumacher, Saénz y García, y Brander [citados por Arana y Valdés], porque responde a la necesidad de desarrollo tecnológico del país (Colectivo de Autores, 2004).

Sin lugar a dudas, el TMA adquiere la dimensión de tecnología, pues a la experiencia práctica, se agrega el acervo de conocimientos adquiridos en sustanciosas investigaciones nacionales e internacionales de la última década del siglo XX, y primera del siglo XXI.

## IMPACTOS Y CONTRADICCIONES EN LA APLICACIÓN DEL TRATAMIENTO MAGNÉTICO AL AGUA

La aplicación del TMA se ha limitado en Cuba por criterios discutibles que, en el contexto socio-económico actual, requieren un nuevo enfoque:

### Políticas

- Lentitud para la innovación tecnológica y para la introducción y generalización de los avances científicos técnicos, sin explorar otras vías (no romper paradigmas).
- Desactualización, baja efectividad y poco acatamiento del marco legal vigente.
- Limitada introducción de los resultados de la ciencia, la tecnología e innovación, así como de la dimensión ambiental a nivel de país en las políticas, planes, programas de desarrollo y el ordenamiento territorial.

### Económicas

- La no existencia de financiamiento para la compra de tierras raras (materia prima) para la producción de acondicionadores magnéticos de alta calidad.
- Obsolescencia en la infraestructura y tecnologías de diferentes procesos productivos e indisciplina tecnológica de las plantas de tratamiento de agua existentes, incumplimiento de los ciclos de reparación y mantenimiento.
- Limitados recursos materiales y financieros para la ejecución de acciones encaminadas a las inversiones, reparación y mantenimiento de las redes hidráulicas y equipos posibles beneficiarios del TMA.

### Culturales



- La existencia del CNEA fuera de la capital (Santiago de Cuba) lo que contribuye a cierta marginación, aún a pesar de sus resultados científicos probados.
- La falta de cultura, compromiso y conciencia ambiental en todos los niveles de la sociedad, sumado a la necesidad de un cambio de paradigma cultural en relación a la conservación y protección del medio ambiente.
- Ausencia de estrategias de comunicación adecuadas y débiles resultados en el cambio de conductas y percepción ambiental. Se aprecia un distanciamiento entre las campañas de bien público de corte ambiental y la realidad social.
- La preferencia por recibir cursos, capacitaciones, servicios y productos internacionales demeritando tecnologías nacionales de alto impacto.
- A pesar de las indicaciones y esfuerzos del presidente Díaz Canel, aún no existe un acercamiento pleno entre universidades, instituciones de investigación y centros productivos limitando el impacto de los resultados obtenidos con el estudio del TMA.

#### **Ambientales**

- Insuficiencias y deterioro de las de las redes de monitoreo ambiental que ayudarían a revelar en toda su magnitud el impacto ambiental de algunas tecnologías y la importancia de la aplicación del TMA como “tecnología apropiada”.
- El desconocimiento o poco control del incremento de los niveles de sales solubles en las aguas de los acuíferos cársicos costeros por intrusión salina, debido, tanto a causas naturales como a inadecuados regímenes de explotación, que comprometen la vida útil de las redes hidráulicas y cuyo conocimiento aumentarían la necesidad del uso del TMA.

El uso del TMA constituye una innovación tecnológica de práctica concreta, eficiente, eficaz y de fácil y sencilla aplicación. El impacto de los resultados de su aplicación es notable para el tratamiento del agua:

#### **Impacto económico**

- Permite optimizar los procesos productivos en donde se aplica, a través de la aplicación de la capacidad científica tecnológica.
- Aumenta la eficiencia económica al eliminar los aspectos negativos que presentan los sistemas con incrustaciones.
- De rápida amortización, sin consumo adicional de energía y factible de reproducir, introducir y de generalizar en la industria.
- Aumento de la eficiencia técnico-energética por disminución del consumo de combustible.
- Ahorro de materias primas en los procesos de potabilización.

#### **Impacto ambiental**

- Es tecnología limpia, disminuye la contaminación del medio ambiente. Es una solución ecológica y sustentable.
- No induce ni promueve la aparición de enfermedades en los organismos vivos, en particular al hombre.

### Impacto socio-cultural

- Ayuda en la incorporación de la dimensión ambiental en las políticas, planes y programas de desarrollo de las entidades.
- Es fuente de nuevas investigaciones (tesis, proyectos, etc.) que contribuyen con el trabajo en grupo, la búsqueda de información y el desarrollo del pensamiento abstracto, flexible e innovador.
- Incrementa la cultura y disciplina tecnológicas del hombre.
- Sensibiliza al hombre con la introducción y generalización de los avances científicos-técnicos, el cuidado del medio ambiente y de ahorro de materia prima y de portadores energéticos.
- La disminución del vertimiento de productos químicos al medio ambiente, redundará en la Sociedad y en particular en la salud de los seres vivos (hombres, animales y plantas).

## 04 CONCLUSIONES

La tecnología del TMA es eficaz en la eliminación de las indeseadas incrustaciones en la industria. Aumenta la eficiencia económica y técnico-energética disminuyendo los sobreconsumos de combustibles y de productos químicos. Es una solución ecológica y sustentable. Aunque económicamente la inversión para su uso es alta, se recupera en corto plazo por encima de otras con uso de recursos químicos dañinos al medioambiente.

El TMA responde al concepto de tecnología. La interacción ciencia-tecnología en el tratamiento magnético es cada vez más dinámica y coherente, porque las urgencias técnicas, producto también de las necesidades sociales, han influido en el desarrollo del conocimiento científico, y en reversa, las nuevas teorías científicas derivadas de su estudio, y los programas, proyectos y el centro de investigación creado a tal efecto, concretan formas de acción que envuelven en sí misma a la tecnología del TMA.

La tecnología del TMA constituye un paradigma al convertir la tecnología tradicional de eliminación de incrustaciones por medios químicos, en tecnología de avanzada, con ahorro energético y cuidado del medio ambiente.

A pesar de criterios discutibles en los ámbitos económicos, político, cultural y medioambiental, Existen hoy condiciones favorables para lograr convertir el TMA en cultura tecnológica, y es factible la generalización del TMA en la industria cubana por el impacto multisectorial que de su aplicación se consigue.

El estudio de la tecnología del TMA desde un enfoque CTS contribuye a elevar la dimensión ética, política y social del trabajo científico imbricado en el proceso de desarrollo e innovación de esta tecnología.

### RECOMENDACIONES

Trabajar por introducir la tecnología del TMA hasta el nivel del ciudadano común.

Perfeccionar la legislación ambiental e incrementar los niveles de exigencia para su cumplimiento real y sistemático.

Elevar la educación, buenas prácticas, comunicación e información orientada a desarrollar la cultura ambiental en la ciudadanía, que garantice mayor participación en la gestión y protección del medio ambiente.

Lograr mayor imbricación del CNEA en la localidad, con acciones de formación ambiental, ahorro energético y de recursos, y aporte de resultados científicos para solucionar los problemas de la comunidad.

## 05 REFERENCIAS

- Acea Carlos** (2005) "Efecto del tratamiento magnético sobre la temperatura de ebullición", Ingeniería Energética, Volumen 26, N°1. ISSN 1815-5901. <https://rie.cujae.edu.cu/index.php/RIE/article/view/139>. Cuba
- Arias R., Silveira, Y., Campos, M., Falcón, J.** (2018) "Efecto de un campo magnético estático en la tensión superficial del diésel y su atomización", Revista Iberoamericana de Ingeniería Mecánica, Volumen 22, Nº 1, 25-34 pp. ISSN 1137-2729. España
- Arocena R.** (1993): Ciencia, tecnología y sociedad: cambio tecnológico y desarrollo, Centro Editor de América Latina, Buenos Aires. ISBN: 9502521021, 9789502521022
- Ayat H.; Seroor, K.; Mohammed, I.** (2019): "Effect of magnetic treatment of water on the reduction of heavy metal concentration", International journal of recent scientific research, Volume 10. doi:10.24327/ijrsr. ISSN: 0976-3031. India
- Bartušek K., Marcoñ, P., Fiala, P., Máca J. and Dohnal, P.** (2017) "The Effect of a Spiral Gradient Magnetic Field on the Ionic Conductivity of Water". Water, 9 (9), 664. <https://doi.org/10.3390/w9090664>. EISSN 2073-4441. Published by MDPI. Switzerland
- Campo-Sofia M., Moro-Martínez A.; León-Cañet M., Silveira-Font Y., Falcón-Hernández J.** (2015). "Tratamiento magnético sobre parámetros físico-químicos de muestras de petróleo", in Tecnología Química., vol.35, n.3, pp.271-281. ISSN 2224-6185.2015, Facultad de Ingeniería Química. Universidad de Oriente: Santiago de Cuba. Cuba. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=445543785001>
- Chibowski E., Szcześ A.** (2018) "Magnetic water treatment—A review of the latest approaches", ScienceDirect, Chemosphere, Volumen 203, 54-67 pp. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0045653518305836>. ISSN: 0045-6535. England
- Colectivo de Autores** (2004). "Tecnología Y Sociedad". Plaza de la Revolución. Cuba. Editorial Poligráfica Félix Varela ISBN: 978-959-258-641-1.
- Díaz-Canel Bermúdez M.** (2021) "Sistema de gestión del gobierno basado en ciencia e innovación para el desarrollo sostenible en Cuba". Tesis en opción al título de Doctor en Ciencias. Universidad Central de Las Villas. Santa Clara. Edición: Editorial Universitaria. La Habana. ISBN 978-959-16-4713-9.
- Gilart González F.** (2009) "Avances en la búsqueda de los mecanismos de acción de los campos magnéticos sobre los sistemas biológicos", Conferencia Magistral. III Conferencia Internacional de Electromagnetismo Aplicado CNEA 2009, Santiago de Cuba, 18 -21 pp.
- Ministerio de Ciencia Tecnología y Medio Ambiente. CITMA.** (2015). Estrategia Ambiental Nacional 2016 / 2020.
- Núñez Jover J.** (2000). "La Ciencia y la Tecnología como procesos sociales. Lo que la educación científica no debería olvidar". Editorial Félix Varela. La Habana, Cuba. ISBN: 978-959-07-0468-0.

- Ribeaux G. y Gilart F.** (2011). “Influencia de un campo magnético estático sobre la cristalización de la sacarosa en solución” [Tesis doctoral, CNEA, Universidad de Oriente] Santiago de Cuba, Cuba, pp79-88.
- Ribeaux G., Ares O. Fernández A. y Falcón F.** (2008) “Influencia del Campo Magnético Estático en la nucleación y cristalización de la sacarosa”, Biol. Soc. Quím. Méx., 2(2), 60-62, ISSN 1870-1809.
- Siau Shi H.** (2014) “Effect of magnetic field on scale removal in drinking water pipeline” Thesis submitted in fulfillment of the requirements for the award of the degree of Master of Engineering (Environmental). Faculty of Civil Engineering, University Technology Malaysia.
- Vaillant López N. y Fernández Revilla L. E.** (2021) “Tratamiento magnético en la potabilización y el tratamiento de aguas residuales”. 2do Congreso Iberoamericano de Magnetobiología. México.
- Vermeiren T.** (1958).” Magnetic treatment of liquids for scale and corrosion prevention.” Anti-Corrosion Methods and Materials. ISSN: 0003-5599. United Kingdom
- Wang Y., Wei H, and Li Z.** (2018). “Effect of magnetic field on the physical properties of water”. Results in Physics, Vol. 8. pp. 262-267. ISSN 2211-3797 <https://doi.org/10.1016/j.rinp.2017.12.022>: [www.journals.elsevier.com/results-in-physics](http://www.journals.elsevier.com/results-in-physics)
- Zhao J-D. Liu Z. A. and Zhao E. J.** (2014). “Combined effect of constant high voltage electrostatic field and variable frequency pulsed electromagnetic field on the morphology of calcium carbonate scale in circulating cooling water systems”. Water Science & Technology. 70(6):1074-1082. IWA Publishing. ISSN 0273-1223. <https://doi.org/10.2166/wst.2014.337>. United Kingdom

#### RECONOCIMIENTOS

Los autores agradecen la colaboración del Centro Nacional de Electromagnetismo Aplicado (CNEA) y los laboratorios de calidad del agua de Aguas de La Habana, sin los cuales hubiera sido casi imposible la obtención de los resultados referidos en el artículo.

#### CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no existen conflictos de intereses.

#### CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

**Nuria Vaillant López** <https://orcid.org/0000-0001-7362-084X>

Participó en la búsqueda y organización de la información,  
la redacción y revisión del trabajo.

**Guillermo Ribeaux Kindelán** <https://orcid.org/0000-0002-3296-3536>

Participa en la orientación del enfoque de la investigación y la revisión del documento final.