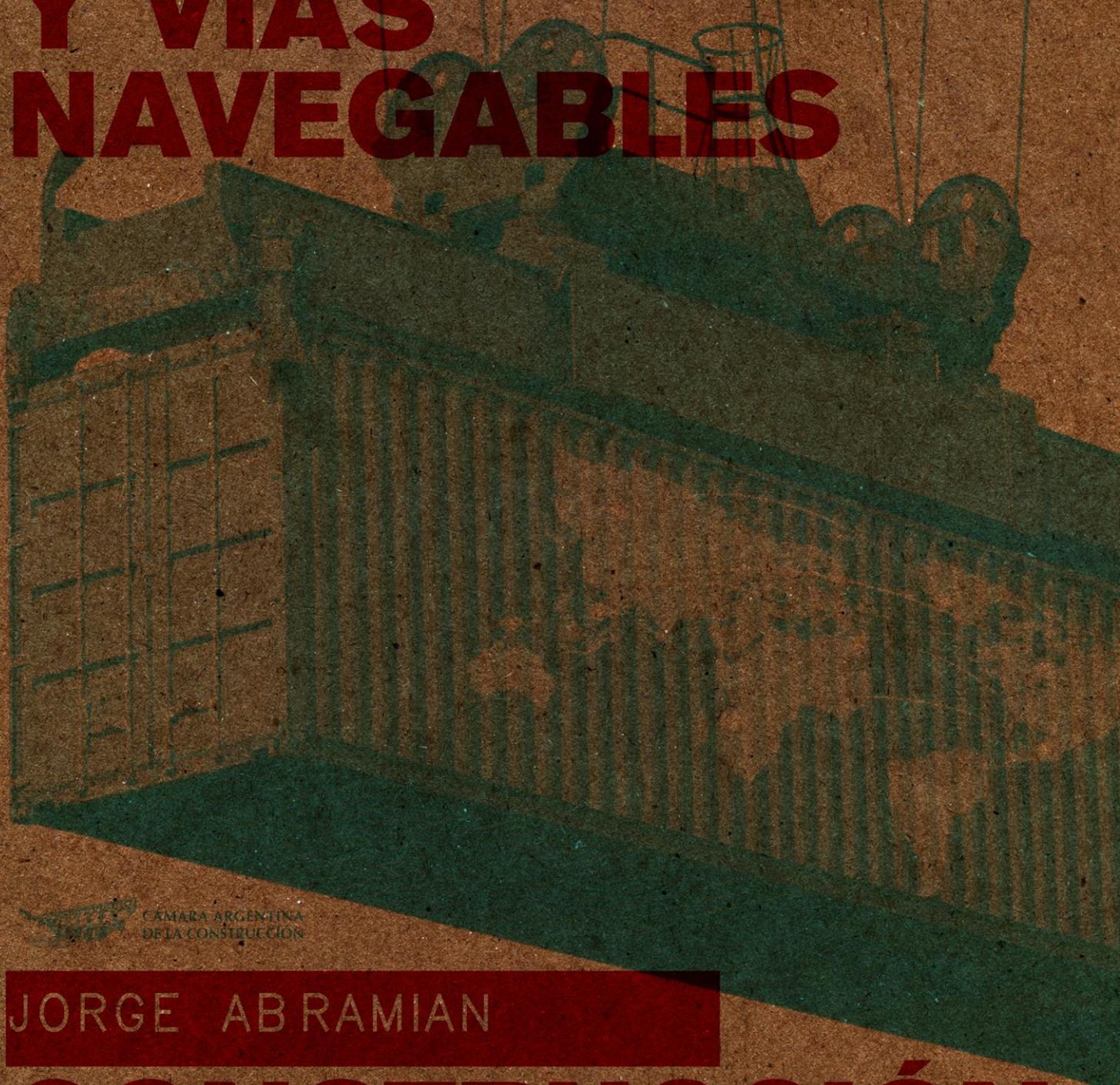


DESARROLLO DE PUERTOS Y VIAS NAVEGABLES



 CÁMARA ARGENTINA
DE LA CONSTRUCCIÓN

JORGE ABRAMIAN

CONSTRUCCIÓN INTELIGENTE

Contenido

Introducción

1. Coyuntura del sistema de transporte por agua

- 1.1 COVID-19 y explotación de Vaca Muerta
- 1.2 Finalización de la concesión de las terminales del Puerto de Buenos Aires y el sistema portuario
- 1.3 Finalización de la concesión de la vía troncal navegable y el sistema de vías navegables

2. Los puertos inteligentes

- 2.1 Contenedores inteligentes
- 2.2 Controladores de atraque
- 2.3 Grúas a control remoto
- 2.4 Camiones autónomos
- 2.5 Equipos autónomos para cargas a granel
- 2.6 Geolocalización de equipos
- 2.7 Visión artificial, gates automáticos, machine learning, gemelos digitales
- 2.8 Data analysis y software para automatización
- 2.9 Puertos verdes
 - 2.9.1 Energía de red
 - 2.9.2 Energía de baterías
 - 2.9.3 Utilización de energía alternativa
 - 2.9.3 Reducción del consumo de energía

3. Ríos y canales inteligentes

- 3.1 Boyas y balizas inteligentes
- 3.2 Radares
- 3.3 ENC (Electronic Navigation Charts)
- 3.4 VTS (Vessel Traffic System)
- 3.5 RIS (River information systems)

4. Aplicaciones en la argentina

- 4.1 Aplicación de tecnologías inteligentes en los puertos
- 4.2 Aplicación de tecnologías inteligentes en las vías navegables

5. Conclusiones

Resumen ejecutivo

En la Argentina, el sector portuario y de navegación se encuentra relativamente adelantado en el uso de nuevas tecnologías en comparación con otros sectores de la economía. Sin embargo, los constantes avances en el plano de las comunicaciones y los sucesivos cambios de direccionamiento de políticas – particularmente económicas – encuentran a la infraestructura portuaria y de las vías navegables rezagadas respecto de lo que sucede en países de mayor desarrollo. Esta situación está obviamente influida por el pequeño tamaño del mercado interno y por el hecho de que el país no es un desarrollador de equipamiento portuario y de navegación.

La discusión sobre el uso de los conceptos *Smart* en el sector cobra importancia en el presente, ya que en estos momentos se está discutiendo la forma en que tiene que realizarse la renovación de las concesiones de las principales terminales de contenedores del país y de la vía troncal navegable. El informe explica que si bien los puertos y las vías navegables del país adoptaron varias soluciones innovadoras durante el proceso de privatización y concesionamiento en los '90, luego se rezagaron en la aplicación de soluciones innovadoras. En la actualidad, las discusiones actuales sobre cómo se deben desarrollar estas licitaciones se realizan manteniendo los mismos paradigmas que hace 20 o 30 años.

A nivel global hay avances tecnológicos en todos los eslabones y todos los procesos portuarios. El informe describe la utilización de dispositivos que pueden mejorar las operaciones desde el atraque de un buque hasta el despacho de camiones o vagones (contenedores inteligentes, controladores de atraque, grúas a control remoto, vehículos autónomos, etc.). También presta atención a los conceptos “verdes” inherentes a los puertos. Respecto de la navegación describe los avances para automatizar y mejorar las operaciones de los buques (boyas y balizas, radares, cartas electrónicas, y software de integración). La aplicación conjunta de todas estas tecnologías podría aumentar la eficiencia y la capacidad del sistema, y fundamentalmente la seguridad, pero se advierte que la adopción de estas herramientas implicaría cambios que podrían sumar rechazos.

El informe explica que las tecnologías inteligentes han prestado un gran servicio durante la época de pandemia, permitiendo que los puertos del mundo siguieran trabajando de manera casi normal en la mayoría de los casos. A partir de los resultados de la utilización de estas herramientas modernas, las autoridades de los grandes puertos han manifestado su voluntad de seguir invirtiendo fuertemente en tecnologías innovadoras.

Finalmente, el informe concluye que se debiera aprovechar la oportunidad que brinda la renovación de las concesiones para incluir a las nuevas tecnologías no sólo como accesorios de un nuevo sistema de transporte por agua, sino como elementos clave que permitirían el aumento de capacidad del sistema con una menor necesidad de inversión en infraestructura.

Introducción

Este estudio presenta una revisión de las distintas tecnologías disponibles en la actualidad para mejorar el funcionamiento de puertos y vías navegables y analiza sus posibles aplicaciones en el país de acuerdo a su facilidad de implementación y los beneficios potenciales que podrían aparecer. Básicamente, se trata de transformar a los puertos y vías navegables en “inteligentes”, un concepto difuso que se puede resumir como la automatización de procesos y decisiones. En el sector se distinguen dos sistemas integrados entre sí, las vías navegables y los puertos. Cada uno de estos sistemas involucra diferentes tecnologías que a su vez requieren equipamientos y necesidades de infraestructura particulares.

En la Argentina, el sector portuario y de navegación se encuentra relativamente adelantado en el uso de nuevas tecnologías en comparación con otros sectores de la economía. Sin embargo, los constantes avances en el plano de las comunicaciones y los sucesivos cambios de direccionamiento de políticas – particularmente económicas – encuentran a la infraestructura portuaria y de las vías navegables rezagadas respecto de lo que sucede en países de mayor desarrollo. Obviamente, este retraso también se explica por el pequeño tamaño del mercado interno y por el hecho de que el país no se enfocó a ser desarrollador de equipamiento portuario y de navegación. No obstante, se percibe que la aplicación más intensa y generalizada de las nuevas tecnologías traería beneficios importantes para mejorar la eficiencia y la seguridad de las operaciones y, adicionalmente, para aumentar la capacidad del sistema. Algunas de estas tecnologías implicarían un cambio de paradigmas que sumaría al natural rechazo de los humanos a los cambios, conflictos con los intereses de algunos sectores que ostentan beneficios y que por lo tanto defenderían el *status quo*. Otras, en cambio, serían de relativamente más fácil aplicación y alentarían poca oposición.

Ahora bien, para comprender el alcance de las transformaciones posibles resulta necesario repasar la situación actual que se encuentra delineada por tres acontecimientos principales: 1) la pandemia originada por el COVID-19 y la caída de expectativas por la explotación del yacimiento de Vaca Muerta, 2) el vencimiento de las concesiones de las terminales del Puerto de Buenos Aires, y 3) el vencimiento de la concesión de la Vía Troncal Navegable.

En las próximas secciones se explica la situación de la coyuntura definida por los hechos mencionados, se hace una revisión de las tecnologías inteligentes aplicables a los puertos y a las vías navegables y la navegación y, finalmente, se brindan sugerencias sobre cuáles tecnologías serían las más redituables para el país.

1. Coyuntura del sistema de transporte por agua

Como se explicó más arriba, en el 2020 se presentaron distintos hechos medulares que condicionan el desarrollo portuario y de las vías navegables. A continuación, se aclaran en qué consisten estos hechos.

1.1 COVID-19 y explotación de Vaca Muerta

El virus COVID-19 golpeó muy fuerte a los puertos del mundo en el primer semestre del año. Ya en 2019 el Brexit y la guerra comercial entre China y EEUU afectaron los flujos de carga mundiales. La pandemia siguió golpeando los mercados imponiendo nuevas realidades: menores volúmenes (el comercio mundial se redujo un 25% en el primer semestre), imposición de nuevos protocolos de seguridad, y más teletrabajo.

Tomando al Puerto de Buenos Aires como referencia, se puede observar el impacto que tuvo el Covid en Argentina. La Figura 1 muestra comparativamente la evolución de las cargas en el 2020 y en el 2019 entre enero y junio. Los efectos de la pandemia se comenzaron a notar en marzo (el 20 de marzo se declara la cuarentena).

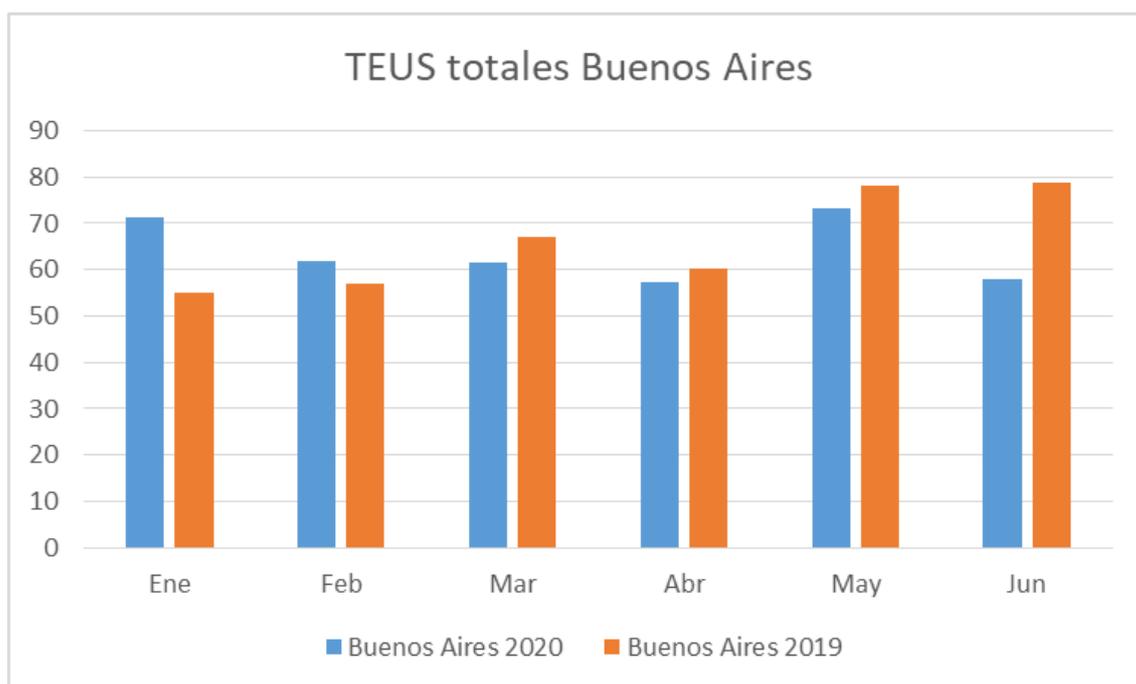


Figura 1: Movimientos de contenedores en el Puerto de Buenos Aires (TEUs)

Desde marzo, mes a mes se percibe la caída de los movimientos de cargas respecto al año anterior, pero el mayor porcentaje de caída se registró en junio, un 26.5%. Evidentemente, a los impactos de la recesión ya declarada se sumaron los de la pandemia. La Figura 2 muestra la evolución de las cargas entre enero y junio desde el 2010.

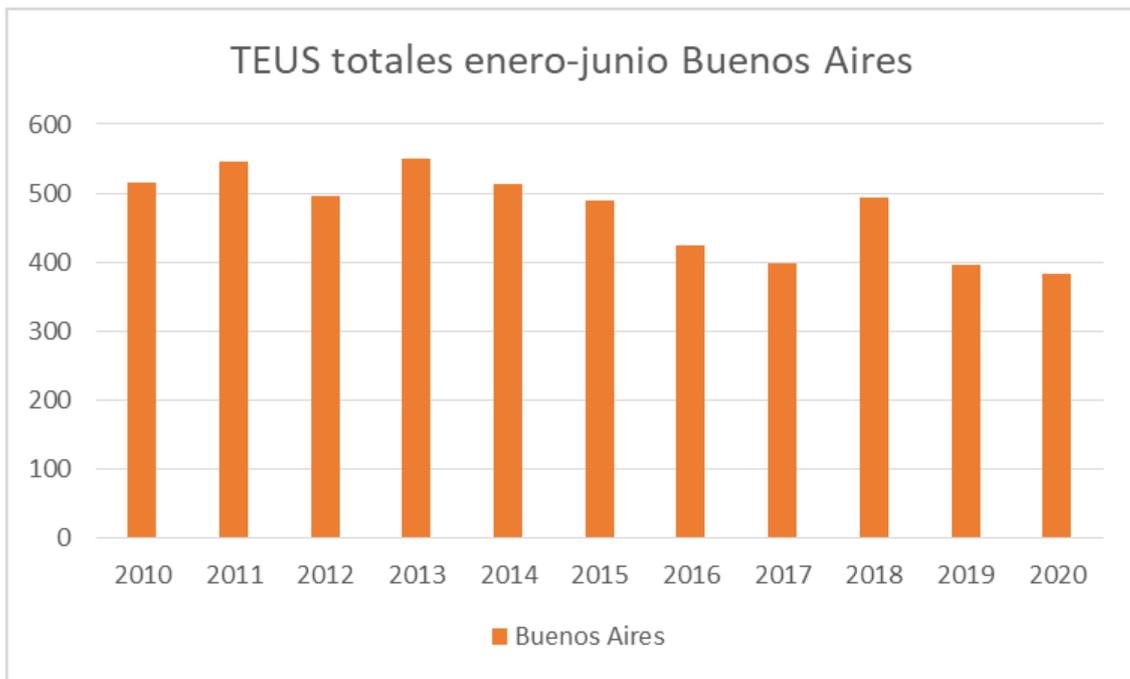


Figura 2: Movimientos enero-junio de contenedores en el Puerto de Buenos Aires 2010-2020 (TEUs)

El efecto de la pandemia sumado a los problemas económicos fue notable – en el primer semestre la caída fue del 4.6% –, pero contando desde marzo, el tráfico cayó un 12.2% respecto del año anterior.

En comparación, el Puerto de los Ángeles movió un 17% menos en el primer semestre del año respecto del 2019; Rotterdam registró un descenso del 7%, Hamburgo del 6.6%, Barcelona del 20.5%, y el peor registro europeo fue para Le Havre con una caída del 29%.

De igual manera, los puertos asiáticos sufrieron pérdidas de contenedores muy importantes: Los puertos chinos de Shangai, Shentzen, y Dalian reportaron caídas mayores del 6%. El puerto japonés de Nagoya cayó 15.2%, y Singapur 1.1%.

En América latina varios puertos importantes registraron un crecimiento que contradice la tendencia mundial. Ejemplos son los de Panamá, con un crecimiento del 14% en promedio, los de Ecuador con un 5%, Paranagua con un 6.7%, Santos con un 3.4%, y las terminales fluviales argentinas con un 3.3% de aumento. Pero también hubo puertos que tuvieron muy mal desempeño. El peor registro fue para Buenaventura, que cayó un 38%. Valparaíso cayó un 26.5%, El Callao un 8.8%, y Río Grande un 6.8%, entre otros.

No obstante las caídas generalizadas, el problema subyacente en el país es muy inquietante: el año 2013 fue el record de movimientos y desde ese pico cayó un 30.2% (ver Figura 2). Los puertos de contenedores del país están actualmente y desde hace tiempo subocupados, más allá del problema adicional que significó la pandemia.

El virus complica de manera distinta a cada producto. En el mercado de granos los impactos fueron diversos dependiendo de los momentos de siembra y cosecha y la necesidad de mano de obra. Con las restricciones a la movilidad y la consecuente disrupción de las cadenas logísticas, la oferta de ciertos productos se mantuvo reducida con lo que los precios subieron (Huileng Tan, CNBS, 8/4/2020). Esto sucedió, por ejemplo, con el precio del arroz que subió a un récord histórico hasta que los flujos se normalizaron. La Figura 3 muestra la evolución de precios de los principales granos en el último año, que incluye el período de la pandemia.



Figura 3: Evolución de precios de granos (USD/Bushell)¹

En los primeros meses de la pandemia la demanda global se redujo, lo que se reflejó en los precios de fletes. Desde septiembre, el Baltic Dry Bulk Index, que promedia los contratos de fletes marítimos de graneles cayó de 2500 a menos de 500. A partir de mediados de mayo el índice comenzó a repuntar y a estabilizarse en alrededor de 1.300, lejos de los extremos de los últimos 10 años (ver Figura 4).

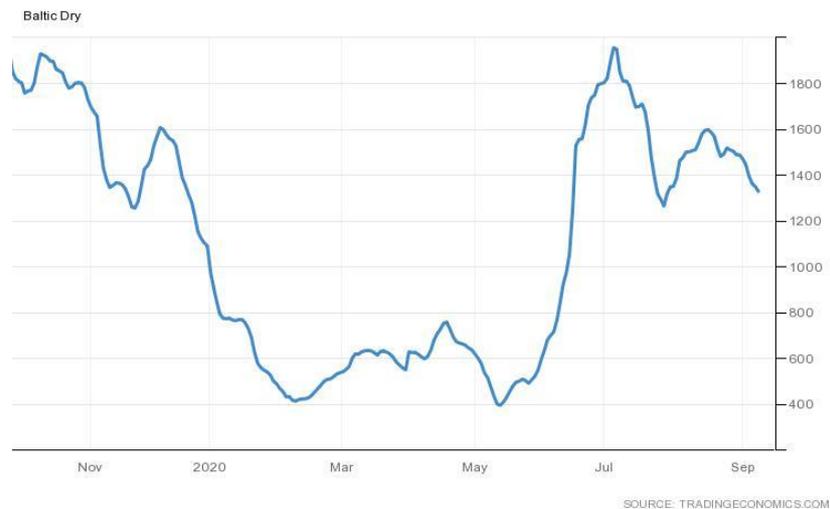


Figura 4: Evolución del índice BDI²

¹ <https://www.macrotrends.net/>

² <https://tradingeconomics.com/commodity/baltic>

El gran golpe, sin embargo, lo sufrió la industria petrolera. En el plan estratégico se avizoraba que podría constituirse en una fuente de recursos comparables a las del campo. No obstante, con las cuarentenas decretadas en el planeta, el consumo de combustible para el transporte y la industria cayeron a precios spots negativos y un precio Brent mínimo de U\$S 15 por barril en abril (Figura 5).

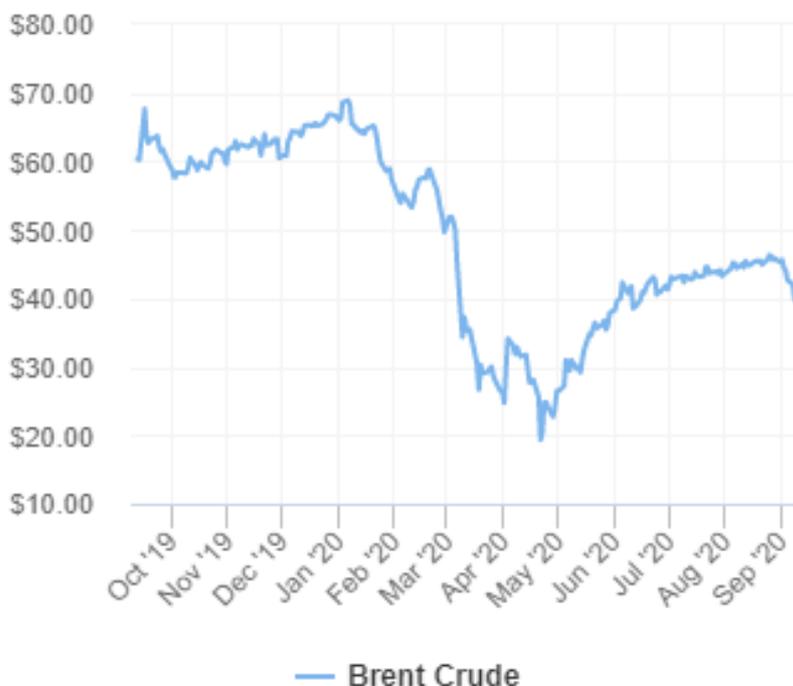


Figura 5: Precios del barril de petróleo BRENT (U\$S/barril)³

A partir de ese momento comenzó a recuperarse para ubicarse a 40 USD/barril en septiembre (en Diciembre ya se cotiza a U\$S 50/barril). La abrupta caída del precio afectó fuertemente a la industria petrolera. Primero, se trató de mantener la producción almacenando los excedentes que no tenían demanda. Como la capacidad de tanques es limitada, los espacios para almacenar combustibles se ocuparon rápidamente. Seguidamente se comenzaron a cerrar pozos y refinerías. Estos procesos siempre se tratan de evitar ya que la reapertura de pozos es costosa y los rendimientos posteriores son inferiores a los originales. La parada de una refinería implica no solo la improductividad, sino también riesgos de daños de equipos y cañerías, corrosión, y costos de reorganización logística y protección ambiental. En el país, implicó la parada de tres refinerías y el cierre de pozos en Vaca Muerta.

Como la comercialización de combustible global se frenó, se supondría que los fletes de tanqueros bajarían, como sucedió con los demás cargueros. Muy por el contrario, los tanqueros fueron requeridos como depósitos y sus precios diarios subieron de U\$S 12.000 a U\$S 90.000 desde el inicio de la pandemia (Wittels J., F. Kayakiran, y J. Blas, Bloomberg, 23/4/20).

El proyecto de Vaca Muerta manejaba la posibilidad de exportación de crudo a gran escala para lo cual se iban a requerir inversiones de gran magnitud difíciles de imaginar en el contexto de

³ Oil Price.com

los valores de comercialización y de los costos de producción actuales. Si bien el Estado trata de apoyar este desarrollo, difícilmente se encuentre el financiamiento para aumentar la escala de producción para alcanzar un nivel de exportaciones semejantes a los que genera el campo, como podría haber sido imaginado en su momento. Cabe notar que inicialmente se suponía la exportación de dos productos, LNG y crudo. Pero en ese sentido también se encontraron inconvenientes independientemente de la pandemia. Por un lado se registra una sobreoferta mundial de LNG en ubicaciones más convenientes para los centros de demanda, con lo que el precio argentino queda fuera de competencia. Por el otro, la posibilidad de venta de refinados quedó rápidamente descartada por dos razones: la falta de capacidad de refinación en el país y la sobreoferta de refinerías a nivel mundial. Entonces se pasó a discutir la necesidad de crear una instalación para la exportación de crudos donde pujaban como locaciones alternativas Bahía Blanca o ubicaciones nuevas en Río Negro o Chubut. La baja del precio del petróleo puso en suspenso indeterminado a estos proyectos.

Finalmente cabe notar que la industria del turismo de crucero quedó totalmente paralizada y la de los automóviles también sufrió un shock importante. Con fábricas cerradas, el transporte de automóviles cayó a mínimos en la mayoría de los puertos. En abril comenzó una tímida recuperación. Sin datos estadísticos específicos, así lo reporta, por ejemplo, el Director General de ACEA (Asociación Europea de Fabricantes de Automóviles): “Desgraciadamente los fabricantes de automóviles están enfrentando fuertes vientos luego de la pesadilla de la crisis del coronavirus, que ha impactado en nuestro sector con una fuerza sin precedente”. Una gacetilla de prensa del puerto de Gothenburg fechada en junio del 2020 se expresaba en términos similares: “Aun cuando el Puerto de Gothenburg fue ampliamente afectado, ya hay signos de recuperación”.

1.2 Finalización de la concesión de las terminales del Puerto de Buenos Aires y el sistema portuario

Por el Puerto de Buenos Aires (sin Dock Sud) se mueve el 50% de los contenedores del país, por lo que su futuro repercute en toda la logística del comercio exterior. Ahora bien, las terminales del Puerto de Buenos Aires fueron concesionadas a tres grupos internacionales cuyos contratos se encuentran vencidos⁴. La licitación para el nuevo concesionamiento estaba prevista para este año, pero a poco de comenzar la cuarentena se decidió anular el llamado y extender las concesiones.

A todo esto, el gobierno anterior había propuesto reducir el número de operadores de tres a uno y encarar un programa de ampliaciones muy ambicioso. Ese plan fue muy resistido por el sector por varias razones. Entre las más importantes se cuentan la falta de consulta a los actores, las dificultades prácticas para coordinar el plan de obras con la continuidad de las operaciones, y la monopolización de la operación en un solo una empresa que haría menos competitivo y más vulnerable al puerto.

Como mar de fondo, de estas discusiones siempre se encuentran las voces que se alzan para que el puerto sea “mudado” a otro sitio despejando los espacios para desarrollos inmobiliarios. Extrañamente, ya se encuentran más apagadas las voces que clamaban por la incorporación del

⁴ Originalmente eran cinco concesionarios con contratos que vencían en distintos plazos. Ante la inminencia de sus vencimientos, en 2019 el Estado decidió unificar todos los vencimientos para mayo de 2020, fecha que luego fue nuevamente prorrogada.

puerto a la Ciudad de Buenos Aires. Como contrapartida se escucha más fuertemente la idea de que el Puerto de Buenos Aires es un puerto “federal”.

Lo cierto es que el Puerto de Buenos Aires se encuentra en una situación de debilidad, magnificada por la ineficiencia y sesgo de los procesos de decisión. La debilidad real se debe a dos situaciones: a) las cargas disminuyeron y las terminales tienen una capacidad ociosa que se podría estimar en 40%, y b) con concesiones precarias los operadores hace ya varios años cesaron de invertir en el puerto esperando certezas.

Se puede concluir de esta breve exposición que la situación es muy compleja, y que las discusiones y decisiones se apoyan más en expectativas cualitativas, intereses sectoriales y pasiones más que en un análisis profundo y estratégico de la logística del futuro considerando objetivos a niveles nacionales.

El 30 de agosto de 2030, Emiliano Galli publica en la edición digital de Tradenews⁵, la primera de seis notas sobre los impactos de la “desaparición” del Puerto de Buenos Aires. Según indica, transcribe los datos de un *paper* reservado que estaría circulando internamente en el gobierno y que pondría números a los efectos de dicha mudanza. Una primera afirmación que surge de dicho estudio es que el 85% de las cargas proviene del norte – un dato que confirma estimaciones anteriores. En cuanto a las distancias se menciona que “los complejos portuarios al norte agregan 11,4 kilómetros más por TEU de transporte terrestre a la logística del comercio exterior, considerando la absorción de la totalidad de los movimientos, en un escenario «sin Buenos Aires»”. Estima que el sobrecosto en transporte por mudar a Campana las operaciones del Puerto de Buenos Aires alcanzaría USD 58 por contenedor y a La Plata USD 266.

La segunda entrega, el 6 de septiembre, se enfocó en las navieras y los accesos marítimos. Subraya las diferencias de profundidades de los accesos de los puertos del este sudamericano: los puertos argentinos con poco más de 10 m deben competir con Montevideo que ostenta 14 m, y con los brasileños que varían entre 12 y 15 m. También, menciona la diferencia en horas de navegación y en el costo del peaje por el uso de la vía troncal concesionada. En este sentido, se señala que el Puerto de La Plata conseguiría una ventaja de USD 21 por contenedor.

Lo volcado en estas notas sólo confirma lo que indicaban otros estudios anteriores basados en cuantificaciones, como el Plan Maestro 2030^{6,7} o el Plan de Infraestructura Portuaria 2020-2029 de la CAC⁸.

Más allá de los conflictos que se generan alrededor del Puerto de Buenos Aires, el sistema portuario tiene capacidad suficiente para atender el actual volumen de contenedores y de los próximos años. Es que a la capacidad ociosa del Puerto de Buenos Aires se suma la de Dock Sud y la de Tecplata que tiene una capacidad teórica de 400.000 TEUs de la que se utiliza una fracción. En conclusión, las limitaciones más importantes para el manejo de los contenedores se encuentran en el tamaño de buques: los espacios para que puedan maniobrar y el número disponible de muelles para buques de gran eslora.

Quizás lo más importante es que por las limitaciones de los accesos y el tamaño del mercado, las líneas marítimas están utilizando cada vez más otros puertos de la región para consolidar sus

⁵ <https://tradenews.com.ar/adios-al-puerto-analisis-de-los-accesos-nauticos-ante-una-eventual-relocalizacion-de-las-operaciones/>

⁶ Abramian y Ghiglione, 2004, “Plan Maestro 2030, Desarrollo del Puerto de Buenos Aires”, AGP, Buenos Aires.

⁷ Abramian J.E. y M. Aguirre, 2010, Plan Maestro 2030 Evaluación y Actualización, AGP, Buenos Aires

⁸ Abramian, J.E. 2020, “Plan de Infraestructura Portuaria Período 2016-2026”, Área de Pensamiento Estratégico, Cámara Argentina de la Construcción, Buenos Aires.

operaciones. En otras palabras, la Argentina se está convirtiendo en un *feeder* de los puertos de Montevideo y del sur brasileño. El impacto en los precios y en la posición competitiva del país que implica este doble movimiento de la mercadería es difícil de cuantificar, ya que dependen de decisiones internas tomadas por las distintas navieras. Pero sus decisiones son guiadas por los costos: los grandes buques deben llenar sus bodegas en la menor cantidad de puertos posible; los buques pequeños acercarán las cargas a esos puertos. La Argentina se ha convertido en un pequeño destino. El tamaño del conjunto de terminales de Buenos Aires, incluyendo a Dock Sud, es menor al de San Juan (Puerto Rico), representa el 85% de lo que mueve Chile tan sólo por San Antonio, y un 65% de lo que mueve El Callao, para tomar algunos ejemplos latinoamericanos.

1.3 Finalización de la concesión de la vía troncal navegable y el sistema de vías navegables

El sistema de navegación en la Argentina está conformado por una serie de canales fluviales (vía troncal navegable, Paraguay, Paraná Superior, Río Uruguay y Canal Martín García), la Ría de Bahía Blanca, y el propio mar. De todos ellos, el más importante por lo que implica la salida de las exportaciones agrícolas, es la vía troncal.

Hidrovia SA, tomó la concesión de la vía troncal navegable desde el Océano hasta Santa Fe (abarca el Río de la Plata y el Paraná Inferior) en el año 1995 cuando se adjudicó la licitación para el dragado y mantenimiento. En ese momento el objeto de la concesión era mantener una profundidad de 32 pies hasta San Martín y una de 22 pies al cero hasta Santa Fe (km 584). Como contrapartida se otorgaba un subsidio a la empresa y se la autorizaba a cobrar peaje a los buques que usaran la vía navegable.

Luego de sufrir varias modificaciones, en el año 2010 se otorgó a la empresa una extensión del plazo de concesión hasta el año 2021 y se extendió su encomienda para garantizar 28 pies hasta Santa Fe, 36 pies hasta San Martín⁹ y 12 pies de profundidad hasta Confluencia (km 1238) y Asunción (en una segunda etapa). Actualmente la profundidad garantizada hasta San Martín es de 34' al cero y de 25' hasta Santa Fe (aunque durante la bajante extraordinaria del 2020 las profundidades efectivas hacia el norte del Canal Mitre fueron menores).

Por estos trabajos la concesionaria cobraría por peaje las tarifas aprobadas hasta el momento para el dragado y balizamiento en 2005. Con la concesión venciendo en un plazo menor al año, la Cámara De Puertos Privados Comerciales (Cpcc), la Bolsa De Comercio De Rosario (Bcr), la Cámara De Actividades Portuarias y Marítimas (Capym), la Cámara Argentina del Acero (Caa) y la Unión Industrial Argentina (Uia) se unieron para contratar un estudio sobre el próximo período de concesión de la vía troncal¹⁰. En síntesis, el estudio, que abarcó múltiples aspectos (técnico, económico, ambiental y legal), propone aumentar la profundidad a 42' hasta Timbúes, además del mejoramiento de radas, zonas de paso, y otros para permitir la navegación de buques post Panamax. Este estudio no vinculante propone un período de concesión por peaje de 10 años con la posibilidad de ser extendido cinco años adicionales. El estudio plantea mantener la unidireccionalidad de la vía troncal pero creando una zona de paso adicional y

⁹ En 2005 se renegó la profundización a 34' al cero hasta San Martín y a 25' hasta Santa Fe

¹⁰ Latinoconsult, 2019 "Estudio de factibilidad técnico – económica del próximo período de concesión del sistema de navegación troncal", Informe Técnico, Buenos Aires.

ensanchando las existentes. Para gestionar el tráfico propone la utilización de un sistema inteligente RIS (River Information System).

El 28 de agosto de 2020, el ejecutivo nacional anunció la creación de la Administradora Federal Hidrovía Sociedad del Estado mediante un Decreto de Necesidad y Urgencia. La entidad estará constituida por el Estado, con una participación del 51% del capital social, y por las siete provincias ribereñas (Buenos Aires, Santa Fe, Entre Ríos, Corrientes, Chaco, Formosa y Misiones), con una participación del 49%. Asimismo se conformaría un órgano consultivo, el Consejo Federal, que tendría su sede en la ciudad de Rosario y estaría integrado por el Ministerio de Transporte, las provincias, entidades empresarias, gremiales, representativas de usuarios y organismos académicos.

Con respecto al Canal Martín García, se realizaron estudios y en 2018 se contrató a la UTE Boskalis-Dredging International para realizar el dragado de profundización y el mantenimiento por cuatro años adicionales. La novedad importante es que el dragado aseguraría 34 pies al cero, equiparando la condición a la vía troncal del Paraná. Además, este canal, caracterizado por presentar fondos duros, incluyó el dragado de zonas rocosas a 38 pies (utilizando explosivos) y el mantenimiento de toda la vía a 34 pies durante cuatro años. Hay un acuerdo con Uruguay para que esta vía tenga siempre la misma profundidad que la red troncal. Por lo tanto, si se profundiza la vía troncal como se propone, también se debería profundizar el Martín García, que tiene lecho duro y que para retirarlo es necesario realizar voladuras.

Desde el Canal Martín García se tiene acceso a la vía troncal navegable y también al Río Uruguay. En diciembre de 2017 la CARU (Comisión Administradora del Río Uruguay) contrató el dragado del Río Uruguay con Jan de Nul con la misma modalidad que en el Martín García: dragado de profundización (o apertura) más cuatro años de mantenimiento. Este contrato incluye la traza entre el km 0 y el km 206,8 y el canal de acceso al Puerto de Concepción del Uruguay. Las profundidades garantizadas para este contrato son de 25 pies (23 de navegación dejando una revancha de dos pies) hasta el puerto de Concepción del Uruguay, y de 19 de calado y 17 de navegación hasta el puerto Paysandú. Las profundidades son bajas en relación al Martín García y a la Vía Troncal, pero la contratación del mantenimiento brinda una previsibilidad con la que hasta ahora no se contaba. Desde la profundización se ha notado un mayor movimiento en el Puerto de Concepción del Uruguay.

El Canal de Acceso al Puerto de Bahía Blanca se realiza a través de un canal de 97 km de extensión que debe ser mantenido constantemente. Actualmente está dragado para garantizar 45 pies al cero. El canal es mantenido a través del esfuerzo del Consorcio de Gestión del Puerto de Bahía Blanca que recupera parte de los costos a través del cobro de una tasa. El consorcio adoptó la modalidad de otorgar contratos de largo plazo (5 años) para el dragado de apertura y mantenimiento.

El tramo del Río Paraguay entre Confluencia y Asunción es mantenido (dragado a 10' y balizamiento) por los Estados paraguayo y argentino a través de un convenio.

El Paraná Superior no está mantenido por dragado aunque sí está balizado (en cabeza de la Subsecretaría de Puertos, Vías Navegables y Marina Mercante). De acuerdo a las conclusiones del informe "La navegación de carga en el Río Paraná tramo Iguazú – Confluencia"¹¹, la señalización está deteriorada, existen restricciones por parte de las fuerzas de seguridad para el fraccionamiento de convoyes, además de descoordinaciones para el uso de las esclusas. Además, señala que no se identifica una autoridad u organismo binacional, no existe cartografía náutica actualizada, y el canal tiene anchos y/o profundidades insuficientes.

¹¹ COMIP (2019). La navegación de carga en el Río Paraná tramo Iguazú – Confluencia. Informe Preliminar.

2. Los puertos inteligentes

Los puertos del mundo en general, y los argentinos desde el momento en que se aprobó la Ley de Puertos (Ley 24.093 de 1992), han ido incorporando avances tecnológicos a sus operaciones. Esto sucedió en todo tipo de terminales: contenedores y carga general, granos y graneles sólidos, y graneles líquidos. Desde ese punto de vista el sector se encuentra bastante avanzado en comparación con otros (algunos sectores que podrían estar más avanzados son el agrícola (donde además de estar aplicándose nuevas tecnologías se realizan desarrollos de trascendencia mundial) y el aeronáutico).

¿Pero qué se entiende por puertos inteligentes? Obviamente no hay una definición categórica pero se refiere a puertos que tienen automatizados y digitalizados gran parte de sus procesos y que aplican tecnologías innovadoras para mejorar el rendimiento y la competitividad al mismo tiempo que reducen la huella de carbono. Douaioui, Fri, Mabrouki, y Semma¹² intentan una definición diciendo que existen dos pilares para un puerto inteligente: la interconexión con toda la cadena logística del puerto y la automatización. El primero incluye el sistema informático inteligente, el centro de datos, y la ciberseguridad; el segundo, los buques inteligentes, los contenedores inteligentes, y las operaciones automáticas.

Quizás el término “inteligente” sea demasiado ambicioso para la actualidad, ya que implicaría no sólo una automatización sino también una respuesta. En Rotterdam se está avanzando en la creación de un mellizo digital del puerto, un espejo virtual que trabaja con flujos de datos, laptops y celulares. En ese puerto virtual se capturan datos de múltiples fuentes en tiempo real para mapear los movimientos de las embarcaciones, los contenedores, trenes y camiones. El objetivo es crear una plataforma que permita que los objetos puedan “conversar” entre sí sin la intervención humana. El muelle con los buques, los contenedores con las grúas, la terminal con los trenes, etc. El puerto de Rotterdam desarrolló dos plataformas, PortXchange y Cargo Tracker que ya fueron adoptadas por otros puertos europeos. La primera coordina las operaciones de atraque, carga y descarga, bunkering, y mantenimiento y hace un seguimiento del tráfico de buques. CargoTracker sigue a los contenedores similarmente a como lo hacen los correos y couriers: el usuario puede hacer un seguimiento detallado de su mercadería.

El Puerto de Barcelona también está comprometido con su desarrollo hacia un puerto inteligente. El plan abarca seis dimensiones: logística, movilidad, ambiente, economía, personas y gobernanza. Es interesante señalar los desafíos manifestados: ciberseguridad y estandarización de formatos, el análisis de datos y desarrollo de aplicaciones para manipular “Big Data”, implementación de blockchain para ejecutar contratos de manera automática, sistemas de información geográfica y geolocalización, y manejo del tráfico. Entre los proyectos ambientales están desarrollando “Power to Ship” para dotar enchufes a los buques atracados y también movilidad eléctrica para reemplazar el uso de combustibles fósiles¹³. A continuación se describen las tecnologías aplicables para avanzar en el desarrollo de la “inteligencia” de los puertos.

2.1 Contenedores inteligentes

¹² Douaioui, Kaoutar & Fri, Mouhsene & Mabrouki, Charif & Semma, Elalami. (2018). “Smart port: Design and perspectives”. 1-6. 10.1109/GOL.2018.8378099.

¹³ Cobos, Emma (2020) “Ports and Cities Come Together Under the Smart Concept”. The Journal of Ports and Terminals. Ed. 100.

Los contenedores inteligentes son contenedores tradicionales a los que se les agrega un dispositivo electrónico que les permite tener “sensibilidad”, interactuar y comunicarse utilizando como base la tecnología de Internet of Things (IOT, Internet de las Cosas). El dispositivo se agrega durante la fabricación del contenedor o posteriormente, de manera permanente o como accesorio removible (ver Figura 6).

El dispositivo electrónico permite el rastreo en tiempo casi real de la posición del contenedor y de las condiciones del viaje. Por ejemplo, podría registrar la apertura de las puertas, la temperatura, golpes, vibraciones y otros parámetros físicos de interés. Es decir, permite la visibilidad del equipo puerta a puerta.

Los pilares técnicos en que se basan los contenedores inteligentes son:

- Un dispositivo inteligente que tiene la posibilidad de enviar datos con su propia fuente de energía
- Una plataforma basada en la nube que recoge los datos, los procesa y los comparte
- Un catálogo de APIs (interfaces) que aseguren la integración a diferentes plataformas
- Protocolos de comunicación

Los dueños de los contenedores son los que tienen la llave para la introducción de estos dispositivos en el mercado. Y, en general, los dueños de contenedores son las líneas navieras. Sin embargo, también hay compañías dedicadas a la operación que venden el servicio agregando los dispositivos a los contenedores.



Figura 6: Dispositivo de contenedor inteligente

2.2 Controladores de atraque

Además de integrar el flujo de informaciones, los puertos inteligentes suponen la incorporación de dispositivos que aumentan la eficiencia y reducen los riesgos de accidentes. Desde que el buque accede al puerto (en realidad desde el puerto de origen), los puertos inteligentes registran la presencia de los buques e intercambian información digital. La posición de los buques es obtenida a través de los sistemas AIS (Automatic Information System) – obligatorio para todos los buques comerciales – y los sistemas VTS (Vessel Traffic System, que se describirá verá en la Sección 4).

Para el atraque en muelle se utilizan sistemas terrestres de ayuda al atraque (BAS, Berthing Aid System) que muestra la Figura 7. Normalmente, estos sistemas constan de varios componentes:

- Monitoreo de atraque y zarpada: generalmente compuesto por dos sensores láser, un servidor (PC) y opciones de visualización de datos en muelle, monitor y/o remoto a través de la web. Brinda datos de distancias y velocidades de amarre en tiempo real.
- Monitoreo de tensiones de amarra: consiste en celdas de carga acopladas a los ganchos de disparo rápido instalados en los puntos de amarre que permiten conocer la tensión de los cabos y el estado del gancho (abierto o cerrado).
- Monitoreo de las defensas de muelle: Permite conocer la deformación de las defensas, la energía absorbida y la reacción sobre el muelle.
- Medición del giro de brazos de carga: es un sistema telemétrico para medir el ángulo que giró un brazo de carga (para tubos de descarga o brazos cargadores de combustibles)
- Software de integración (configuración de alertas, banco de datos histórico)

Estos sistemas permiten tomar decisiones en tiempo real durante el atraque cuando se exceden los ángulos de aproximación, las velocidades, o las tensiones en las amarras. Son acompañados con sistemas de alarmas programables.

Existen también sistemas para ajustar automáticamente la tensión de los cabos mientras el buque está amarrado. Por ejemplo, si el buque es amarrado con marea alta y luego la misma empieza a descender, la tensión de las amarras disminuye permitiendo mayores movimientos, por lo que las mismas se deben ajustar. Este sistema permite el ajuste automático al combinar sistemas de medición de las tensiones con pistones comandados por una tarjeta electrónica programable (PLC).



Figura 7: Sistema BAS de control de atraque

2.3 Grúas a control remoto

La evolución de las grúas, y en general de todos los utilajes portuarios, respondió a una carrera entre las necesidades impuestas por el aumento de tamaño de los buques y la aparición de nuevas tecnologías. En efecto, con el mayor tamaño de buques se debieron diseñar grúas con mayor alcance (por ejemplo, para ubicar un contenedor en la banda opuesta al atraque a más de 50 m) y más altas (mayor cantidad de contenedores sobre la cubierta). El diseño tradicional de las grúas ubicaba al maquinista en una cabina que se movía junto al brazo de carga a decenas de metros sobre el muelle. Con la adecuada instalación de cámaras y sensores láser, el primer paso que significó un gran avance fue la ubicación de la cabina en una posición fija. El operador ya no necesitaba ubicarse sobre la carga para “enhebrar” un contenedor en las guías. El paso siguiente fue remover la cabina de la grúa y llevarla a una oficina. La integración del software con la programación de las ubicaciones de las cargas en los buques o en el patio fue también un siguiente paso natural hacia la casi completa automatización.

De esta manera, un operador remoto, ubicado en un espacio confortable, debe controlar las operaciones y actuar sólo cuando es necesario. Su función más importante es la de iniciar la operación y supervisarla. El operador puede ubicarse en una oficina compartida con otros operadores con los que puede consultar cualquier duda¹⁴ - ver figuras 8 y 9.



Figura 8: Grúa con cabina de control fija (<https://new.siemens.com/global/en/markets/cranes/harbor-cranes/final-landing-system.html>)

¹⁴<https://new.abb.com/ports/solutions-for-marine-terminals/our-offerings/container-terminal-automation/remote-crane-operation>

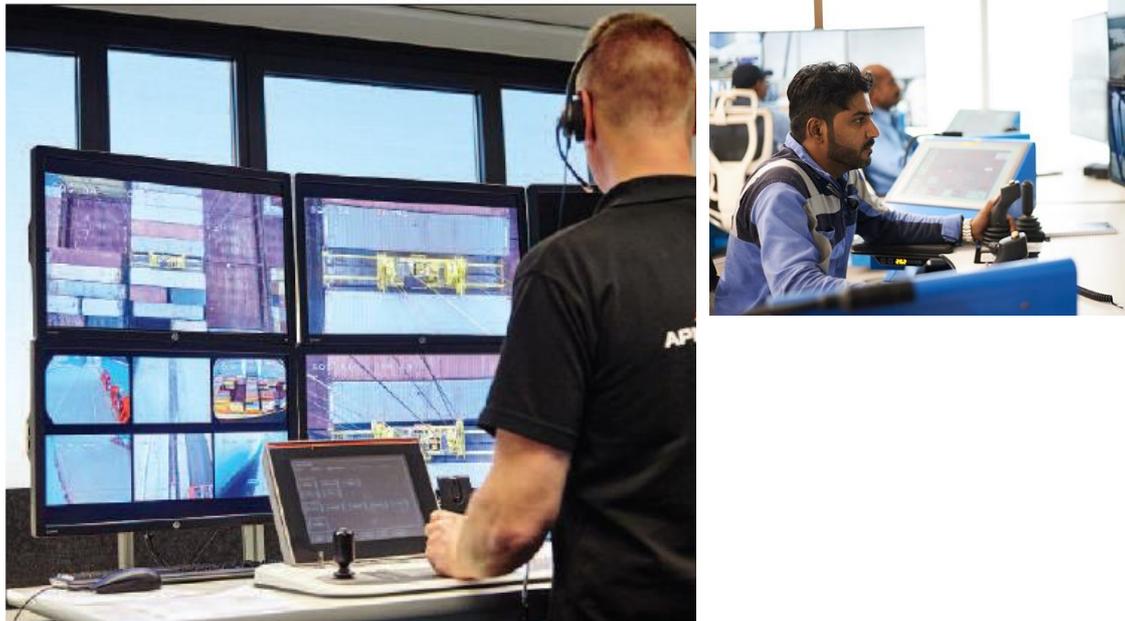


Figura 9: Grúas controladas remotamente

Las posibilidades técnicas que se abren para el manejo más eficiente de las cargas desafían a la imaginación, ya que con la captura de los datos de cada equipo y sus posiciones se han desarrollado softwares que permiten la sincronización de los trabajos de todas las grúas de un puerto, el manejo inteligente de sus paradas y mantenimiento, la prevención de accidentes, etc.

2.4 Camiones autónomos

Una de las primeras aplicaciones para las que se desarrollaron vehículos autónomos eléctricos fue la portuaria. Los vehículos eléctricos y sin tripulantes están siendo desarrollados para circular en las calles, pero ya hace varios años que se están comercializando equipos para el trabajo exclusivo de transportar contenedores u otras cargas dentro de las terminales (Figura 10).



Figura 10: Camiones portacontenedores autónomos



Los equipos son ofrecidos con baterías de carga rápida (12 min) y pueden circular a 35 km/h transportando una carga de hasta 65 t.

2.5 Equipos autónomos para cargas a granel

El desarrollo y aplicación de las nuevas tecnologías a cargas que no fueran contenedores también se encuentra en rápido desarrollo. Básicamente, se utilizan los mismos tipos de sensores, e instrumentos y software similares: posicionamiento GPS, video cámaras de alta resolución PTZ, sensores laser (LiDAR light Detection and Ranging), radares, sensores atmosféricos, y un software capaz de recibir y procesar datos y enviar órdenes. Para el caso de cargas a granel los procesos son inclusive más sencillos ya que se trabaja con cargas que se mueven guiadas en cintas transportadoras (granos, minerales) o en ductos (crudo o derivados). Es decir, se manejan flujos casi continuos en lugar de una gran cantidad de elementos discretos (contenedores, vehículos, y grúas).

Los cargadores o descargadores de buques se asemejan a las grúas pórticos que se utilizan en los puertos de contenedores. La empresa iSam, por ejemplo, instaló varios cargadores automáticos de carbón y hierro (Figura 11). Desde los Telestackers™ hasta los cargadores pórticos son programables para formar pilas de geometrías específicas, lo que permite adecuar la carga a los planos de estiba de los buques o los planes de carga de los patios. Los sistemas incorporan mecanismos de alerta y de prevención de accidentes como los que se podrían producir por las colisiones de brazos de descarga con las bandas del buque o las escotillas, impidiendo que el operario ejecute ciertas maniobras. Estos equipos modernos evitan las históricas nubes de polvos en suspensión y encapsulan totalmente al material. Los equipos están acoplados a software que permiten el control y registro de las operaciones, como el sistema Simon de Siwertell (uno de los proveedores líderes de equipamiento para el movimiento de graneles).



Figura 11: Cargador automático de minerales a buques (<https://www.isam-ag.com/our-solutions/automated-ship-loaders-and-advanced-anti-collision-system/>)

De la misma forma existen equipos para terminales de granos. Las balanzas continuas se utilizan desde hace décadas, lo que permite que el flujo del material sea constante. Los equipos para la carga o descarga pueden utilizar los mismos dispositivos para automatizar las operaciones y eventualmente convertirlas en autónomas. En la Figura 12 se muestra un ejemplo de descarga automática desde silos para el despacho en vagones.



Figura 12: Interfase del sistema de carga automática a vagones

Los silos también están evolucionando de manera acelerada. Los ESI Eurosilos cambiaron el paradigma del almacenamiento de graneles (Figura 13). En vez de utilizar las celdas típicas para el almacenaje de soja, se vuelve a la idea de silos verticales. Pero en este caso son alimentados desde arriba por un tubo telescópico central que descarga a un tornillo sin fin que permite distribuir el material de manera pareja en todo el diámetro y con mínima rotura de material y de generación de polvos. El tornillo sin fin gira continuamente 360° alrededor del eje central del silo que está equipado con todos los sensores para controlar el ambiente. Además, tiene un sistema de drenaje y de descarga inferior. Otra de las grandes ventajas de estos silos es que permiten almacenar el mismo volumen en una fracción del espacio que requiere una celda.

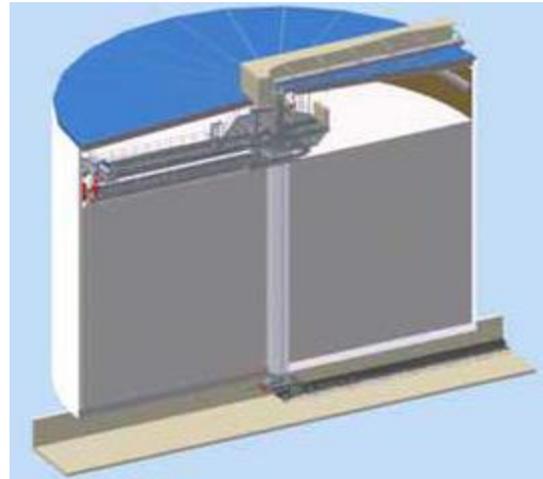


Figura 13: ESI Eurosilos

El punto más débil de la cadena en puertos graneleros es el de la descarga o despacho de camiones y vagones ya que es una interfase donde se pasa de un flujo discontinuo a uno continuo (o viceversa). Los despachos de camiones son más sencillos, ya que muchas veces, sólo consiste en descargar inferiormente un silo. Para los minerales que se transportan por tren se diseñaron sistemas que aceleran el proceso (por ejemplo, usando vagones con enganches especiales que permiten que los mismos se giren 360° sin desengancharlo de las formaciones).

Pero en el caso de los puertos exportadores de granos, los camiones entrantes deben realizar varias operaciones antes de su descarga (calado, pesado, y descarga). La operación de descarga es normalmente un cuello de botella y todavía son normales la generación de largas colas de espera hasta llegar a la plataforma descargadora. No obstante, se han incorporado algunas modernizaciones, fundamentalmente en lo que refiere a las velocidades de cada ciclo y la operación autónoma (ver <https://www.youtube.com/watch?v=GlhHsObhPkl&t=161s>).

También se han automatizado parcialmente las terminales de graneles líquidos. En las cañerías de carga o descarga de combustible, usualmente de grandes diámetros, se instalan válvulas comandadas a distancia (cableadas o inalámbricas) con sistemas integrados a sensores que pueden frenar los procesos de manera automática cuando se detectan aumentos de presiones. También se puede programar la cantidad a cargar o descargar y el uso del sistema de bombas y de tanques, de tal manera de enviar alertas y cambiar entre unos y otros.

Los tanques usualmente ya cuentan con sistemas inteligentes utilizando sensores y controles. Usualmente se usan radares para medir los volúmenes en existencia (como muestra la Figura 14), y sensores de temperatura y presiones.



Figura 14: Radar Honeywell Enraf Flexline para medición de niveles y volúmenes en tanques de combustibles

En la zona de recepción o despacho de camiones, se utilizan sistemas similares a los enunciados para los *gates* de terminales de contenedores, con reconocimiento de los camiones y conductores para evitar los papeles. Para controlar la carga o descarga, empresas como FMC Technologies, uno de los líderes en automatización de terminales de combustibles, comercializa software que permite la integración de sensores e instrumentos digitales a un sistema de información y gestión que, a su vez, puede integrarse a sistemas de contabilidad, como el SAP. Hay compañías como Magna (Figura 15), que desarrollaron estaciones de despacho de combustibles a camiones casi autónomas (ya existen robots, como el Robofuel, para el llenado de tanques de camiones *off-road*, principalmente aplicable a proyectos mineros).



Figura 15: Estación autónoma Magna para carga de camiones tanque

2.6 Geolocalización de equipos

La base de los sistemas inteligentes es la comunicación con los sensores y dispositivos, la geolocalización de los mismos, y la capacidad para procesar mucha información. Es por eso que para la gestión inteligente de los puertos se requiere una red de comunicación rápida y muy confiable. De hecho, si se pudiera confiar en la red, las operaciones podrían trasladarse remotamente hasta los domicilios de los operarios (la nueva generación de estibadores podría trabajar desde su casa sin tocar una carga).

En las secciones precedentes se mencionó repetidamente la necesidad de geolocalización de las cargas y los equipos y hasta de los operarios. Por ello es que los equipos vienen con emisores de GPS incorporados o agregados. Pero también la geolocalización se verifica visualmente a través de CCTV que permite tener en pantalla la visión desde puntos fijos de la terminal o bien desde los equipos móviles. Una visión que en muchos casos es mejorada con la posibilidad de zoom y giros verticales u horizontales (cámaras PTZ).

La posición de los buques también está georreferenciada a nivel global. Es obligatorio que todos los buques comerciales cuenten con *transponders*, emisores de información. El sistema se basa en los siguientes dispositivos montados en los buques:

- Transmisor VHF capaz de operar en cualquier canal AIS en la banda marina VHF
- Dos receptores VHF capaces de operar en cualquier canal AIS en la banda marina VHF
- Decodificación a tiempo completo de todos los mensajes recibidos para completar un mapa de intervalos interno
- Receptor GPS para proporcionar una referencia de tiempo
- Memoria suficiente (RAM) para almacenar un mapa de intervalos durante al menos cinco minutos de asignaciones de intervalos TMDA (el estado de asignación para 22500 intervalos TDMA)

Hay servicios que colectan la información de las repetidoras VHF y suben la información a la nube permitiendo el acceso de la información de las posiciones de los buques a nivel global (ver Figuras 16 y 17) de manera gratuita (mediante el pago de una cuota se puede acceder a información más detallada).



Figura 16: Interfase de la aplicación AIS MarineTraffic gratuita



Figura 17: Interfase de la aplicación AIS gratuita de Prefectura Naval Argentina

La información AIS incluye no sólo la posición del buque, sino su estatus actual, el rumbo, la velocidad, el nombre del buque, sus números identificatorios IMO y MMSI, sus dimensiones, y la información de su viaje, tal como los puertos de origen y destino, ETA y calado.

2.7 Visión artificial, *gates* automáticos, machine learning, gemelos digitales

No solamente los buques o los contenedores son etiquetados mediante los sistemas integrados AIS y VTS sino que en los puertos ya se aplican tecnologías de identificación facial para etiquetar a las personas (números de identificación, cargo, etc.) y realizar el seguimiento de las mismas a través de las terminales utilizando “Visión Inteligente”. Se han desarrollado tecnologías OCR (*Optical Character Recognition*) para identificar letras, pero también símbolos o carteles y, utilizando inteligencia artificial, prever escenarios futuros. Por ejemplo, ya existen aplicaciones que permiten prever la demanda de taxis en las terminales de pasajeros monitoreando simultáneamente la circulación de personas y los accesos de taxis que son comparados con videos históricos. La Figura 18 muestra la captura de pantalla de un software que en tiempo real, integrando distintas cámaras, etiqueta individualmente a cada persona, ómnibus, auto, y hasta equipaje que entra a la zona de control de una terminal de cruceros con el objeto de estimar la demanda de taxis en base al flujo de personas y así solicitar la llegada de más vehículos.

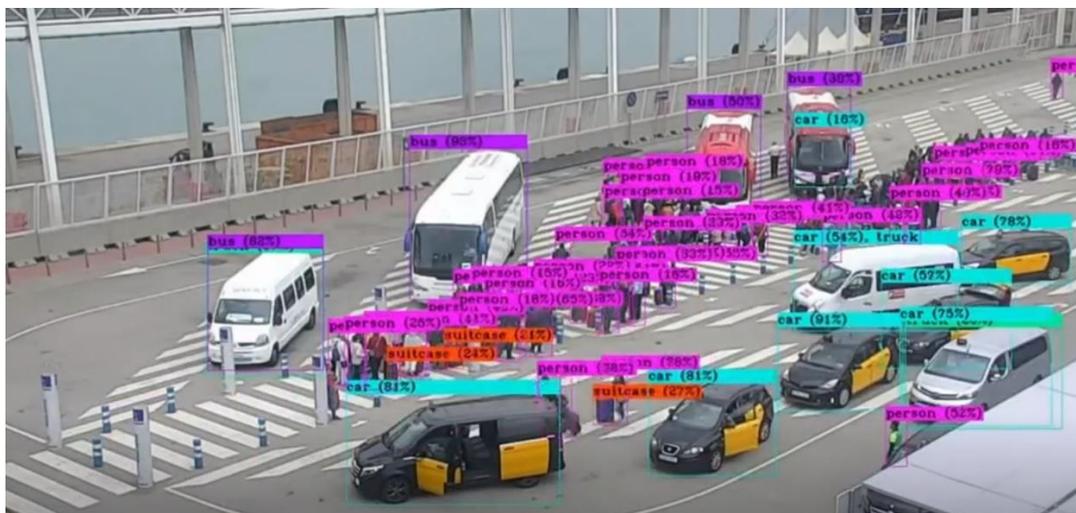


Figura 18: Software de visión inteligente que etiqueta autos, personas, ómnibus, y equipajes.

El manejo del tránsito de los camiones a través de las terminales ha sido siempre un tema clave del rendimiento portuario. Uno de los indicadores de la performance de una terminal se corresponde justamente con el “tiempo de tránsito”, el tiempo que un camión permanece en la terminal. La creación de *gates* automáticos contribuyó a la reducción de esos tiempos y estos desarrollos fueron facilitados por el uso de cámaras y la tecnología OCR para la lectura de los códigos de contenedores y patentes de camiones (los mismos conceptos son aplicados al tránsito de vagones). De esta manera se evita el papel siendo el objetivo actual de los puertos modernos su completa digitalización. También se recurre a una técnica llamada Procesamiento de Lenguaje Natural, que identifica palabras clave en la documentación digital recibida de los buques (grandes volúmenes de información que incluyen los manifiestos de carga) para identificar, por ejemplo, cargas sensibles a las que se les otorga prioridad de paso ubicándolas primeras en las colas de los procesos. Esta técnica fue utilizada durante la pandemia para dar prioridad a equipamientos médicos.

El uso de la visión artificial sumado a la inteligencia artificial y al *machine learning* también permite desarrollar elaborados modelos de predicción de congestiones (y así reducir costos y la huella de carbón). En la actualidad se está impulsando el desarrollo de “gemelos digitales”, maquetas virtuales que pueden simular todos los movimientos dentro del puerto y que apuntan en un futuro a la automatización de los procesos de decisión.

2.8 Data analysis y software para automatización

Como se mencionó más arriba, cada equipo autónomo es provisto con su propio software de control, aunque ninguno de ellos por sí solo puede automatizar una terminal. Sin embargo, desde hace más de 20 años hay empresas que están desarrollando software para el manejo inteligente de los puertos y que son capaces de integrar sistemas provistos por terceros. Navis, Ceres, y otras empresas proveen softwares especializados para distintos tipos de terminales.

Estos desarrollos son capaces de integrar todas las operaciones de una terminal alimentándose con datos en tiempo real provenientes de diferentes fuentes. Para ello se pueden “comunicar” a través de sitios web, SQL, TCP/IP y EDI de terceros ofreciendo soporte para scanners, impresoras, lectores de barras, lectores OCR de patentes y de números de contenedores, radiomodems, balanzas, y otros sistemas que permiten eliminar el ingreso manual de datos, o facilitarlo mediante dispositivos portátiles *touchscreen* (tabletas, celulares).

Las funcionalidades centrales de estos softwares incluyen:

- Manejo de los patios de cargas (o depósitos) – planificación automática, visualización en tiempo real, análisis de datos y generación de indicadores.
- Manejo de los *gates*: Ingreso automático y monitoreo de camiones (que se extiende a través de la terminal), registros históricos.
- Manejo de viajes y de las operaciones: integra la información del buque (desde que inicia su viaje en puerto de origen) con la de la terminal, proveyendo los planos de estiba, la asignación de espacios (*slots*), monitoreo del buque en amarra, y evaluación de los registros históricos de las visitas realizadas con sus indicadores de performance.
- Operación de trenes: manejo de cronogramas, coordinación con la operadora ferroviaria, planificación de las cargas.
- Administración e informes: Opciones de diferentes tipos de informes técnicos sobre la operación y facturación.

- Manejo del puerto: coordinación y optimización de múltiples terminales simultáneamente, asignando muelles, considerando las variaciones de mareas, manejo de remolcadores, residuos, aprovisionamiento, etc.

La complejidad del sistema está en relación con su precio que en una versión intermedia ronda 1.5 MM de dólares. Este valor puede resultar un detalle en comparación con los beneficios a obtener: la automatización de las decisiones que pueden conducir a un uso más eficiente de los recursos, no sólo porque se aumenta la productividad (tonelada por año movidas), sino por la reducción en el desgaste de los equipos y la reducción de accidentes.

Estas ventajas se pueden comprender cuando uno analiza una operación específica como la de la asignación de grúas de patio a la descarga de un buque. En este caso se deben considerar tres aspectos: la planificación de la descarga del buque, la planificación de las asignaciones de las grúas, y la ejecución del trabajo (orden de las tareas, seguridad para evitar conflictos entre grúas). En una operación manual cada uno de estos trabajos requiere la intervención de una persona distinta. En cambio, el sistema inteligente es capaz de mirar lo que pasa simultáneamente y en tiempo real en todas las áreas. Puede asignar la cantidad de grúas correcta a los sectores específicos del patio basado en los datos históricos de performance para que el trabajo de los distintos equipos esté balanceado y se minimicen los movimientos. En los puertos de contenedores y de carga general el desafío es aún mayor, porque el buque es descargado y cargado simultáneamente.

2.9 Puertos verdes

La tecnología “inteligente” está íntimamente asociada a la condición “verde”, inclusive en los puertos. ¿Cuáles serían las acciones posibles de ejecutar en estos puertos para hacerlos verde? Muchas de ellas ya se están implementando hace más de 30 años, impulsadas por las convenciones internacionales de MARPOL 73/78 (*maritime pollution*) de la Organización Marítima Internacional (OMI):

- Separación y disposición adecuada de residuos
- Control de los efluentes oleosos y de sustancias peligrosas
- Planes de contingencia para asegurar la adecuada respuesta ante accidentes que pueden poner en riesgo las condiciones ambientales
- Control de los efluentes gaseosos

A estas se suman otras consideraciones que ya son clásicas, como la del manejo del material dragado y su correcta disposición, y la conservación de la fauna acuática.

Por supuesto, no por conocidos los temas ambientales fueron resueltos en todos los puertos, pero a lo largo de los años se ha generado una cierta conciencia sobre las instalaciones mínimas que los puertos tienen que considerar para la protección ambiental.

Si bien hace 30 años el interés estaba centrado en la calidad del agua y la supervivencia de las especies acuáticas, con estos temas en relativo control, en los últimos años el foco se dirigió hacia la contaminación atmosférica. Desde el punto de vista de la navegación la OMI impuso la necesidad de que los buques readecuaran los escapes de los motores agregando catalizadores u otros sistemas. En los puertos, las acciones se orientan en el mismo sentido aunque con diferentes acciones que se resumen a continuación y que siguen la siguiente regla no escrita: si se puede, utilizar energía alternativa; si no se puede, utilizar energía de red. En otras palabras, evitar cuanto sea posible el uso de motores de explosión.

2.9.1 Energía de red

La cantidad de energía que se utiliza en los puertos para mover equipos pesados difícilmente pueda ser provista por plantas propias para llegar al concepto de Energía 0, que se lograría cuando la energía consumida sea igualada a la producida. Si no se puede alcanzar esa meta, entonces resulta importante eliminar el consumo de energía fósil. Las fuentes más importantes de emisiones gaseosas en los puertos son los propios buques y las grúas.

Cuando el buque está amarrado requiere energía para mantener sus funciones mínimas (iluminación, electrónica, malacates, grúas, etc.). La gran mayoría de los puertos no tienen la capacidad de proveer de energía a los buques mientras que se quedan en el puerto. La tendencia para hacer más “verde” el puerto es agregar enchufes de 380 V en los muelles para que el mismo pueda apagar sus motores y funcionar con energía de red que, en cierto porcentaje, dependiendo de la matriz energética local, proviene de fuentes alternativas no contaminantes.

2.9.2 Energía de baterías

Otra de las posibilidades para la reducción de las emisiones en puerto (y disminuir el nivel de ruidos) es reemplazar los equipos que funcionan con motores de explosión por equipos eléctricos. Como se ha descrito más arriba, esto se aplica a grúas, camiones, movilidad para el personal y pasajeros.

La utilización de fuentes solares y baterías también está difundida para la alimentación de sensores, especialmente los que se encuentran más alejados o en sitios inaccesibles fácilmente (estaciones hidrométricas, estaciones meteorológicas, balizas, etc.).

2.9.3 utilización de energía alternativa

Hay ciertas aplicaciones en los puertos donde es relativamente fácil utilizar energías alternativas: la climatización de las oficinas y la iluminación. En estos casos la más obvia y generalizada es la utilización de calentadores solares para agua caliente. Pero existe la posibilidad de utilizar con ventajas la energía geotérmica, que permite tanto la calefacción como la refrigeración mediante la utilización de bombas de calor.

2.9.4 Reducción del consumo de energía

La cuenta de electricidad del puerto puede ser reducida notablemente de la misma manera que en una ciudad inteligente. A tal fin, la utilización de iluminación led dimmerizable de acuerdo a la luminosidad imperante y según la necesidad de los distintos sectores contribuye fuertemente a la calificación “verde” de un puerto.

4. Ríos y canales inteligentes

Como se anticipó en la sección anterior, los puertos inteligentes reciben información desde la zarpada de los buques de los puertos de origen y se comunican continuamente con ellos hasta su salida del área de influencia. Este comportamiento también exige que los buques actúen de manera inteligente. La aplicación de nuevas tecnologías a los desarrollos navieros se enfocó principalmente a mejorar los procesos de carga, a automatizar la navegación, a enviar y recibir información para alimentar sistemas predictivos (modelos de determinación de revancha bajo quilla, de evolución de maniobras, de predicción de velocidades, etc.), y ahorrar combustibles y emisiones. Ahora bien, al ingresar a canales de navegación restringida, los buques pueden interactuar con los elementos inteligentes disponibles hasta llegar al puerto. Por lo tanto, será necesario invertir en la infraestructura de los canales.

Bureau Veritas clasifica a los buques según su “inteligencia”¹⁵:

1. Buques tripulados: manejados por una tripulación que toma todas las decisiones
2. Buques dirigidos por humanos: el buque puede adquirir información y sugerir decisiones, pero todas las decisiones y acciones son realizadas por humanos que pueden estar a bordo o en locación remota.
3. Buques con delegados humanos: son inteligentes, capaces de recolectar datos de sensores y con capacidad para procesar grandes volúmenes de información para asistir a la tripulación durante el proceso de decisión. Pueden tener una tripulación reducida o ser manejados por control remoto sin personal a bordo. Pero todas las decisiones deben ser confirmadas por humanos.
4. Buques supervisados: similares a los anteriores, pero no se requiere confirmación humana, aunque los humanos siempre son informados de las decisiones y pueden tomar el control.
5. Buques autónomos: toman todas las decisiones sin dar aviso a los humanos, salvo emergencias. Los humanos pueden tomar el control en cualquier momento.

El grado de desarrollo de los buques autónomos está todavía en etapa experimental. De acuerdo al Lloyd’s Register, las áreas clave para el desarrollo de la autonomía marítima son la inteligencia artificial, la posibilidad de captar información y situaciones, la conectividad, la ciberseguridad, y la gestión de la energía y la sostenibilidad. Los buques autónomos utilizan las mismas tecnologías que los vehículos autónomos: una variedad de sensores para impulsar funciones autónomas. Por ejemplo, sistemas de navegación inerciales, GPS, radares, LiDAR, cámaras ópticas e infrarrojas, sonares de alta resolución, micrófonos, y sensores de viento y presión.

El modelo más común para describir las etapas de automatización de vehículos terrestres fue provisto por la SAE (*Society of Automotive Engineers*)¹⁶. Este modelo está enfocado particularmente a las tareas para el manejo dinámico, definido como el conjunto de tareas tácticas y operacionales para operar un vehículo en ruta en tiempo real. Esta definición excluye y es independiente de las tareas de navegación. Las etapas de automatización definidas se muestran en la Figura 19.

¹⁵ Apartado 1.8.5 “Guidelines for Autonomous Shipping Bureau Veritas” (2019)

¹⁶ Taxonomy and Definitions for Terms Related to Driving Automation Systems for on-Road Motor Vehicles, SAE 2018.



Figura 19: Etapas de Automatización de Transporte Carretero (SAE 2018)

La Figura 20 hace un paralelo con el transporte terrestre para la navegación.



Figura 20: Etapas de Automatización de Transporte por Agua

Ahora bien, los buques, aunque sean autónomos, requieren la provisión de abundante información para guiarlos. Parte de esa información es obtenida por ellos mismos a través de sensores, pero la mayoría corresponde a la que se obtiene a través de la infraestructura y los sistemas que se deben instalar en las vías navegables y en tierra. A continuación se brindará una descripción de las tecnologías disponibles.

3.1 Boyas y balizas inteligentes

Las boyas, balizas y faros son las ayudas de navegación clásicas, de muy antigua concepción. En tiempos recientes algunas tecnologías ayudaron a su modernización disminuyendo la necesidad de mantenimiento. Por ejemplo, las antiguas boyas luminosas eran alimentadas mediante gas o aceite; en la actualidad se utilizan baterías y/o paneles solares e, inclusive, turbinas de viento.

Otros adelantos en este sentido se refieren a las pinturas utilizadas que protegen a las boyas contra la corrosión de manera más efectiva y duradera que las antiguas pinturas. Adicionalmente, existen en el mercado pinturas con contenido nulo de plomo y otros metales pesados que resultan ambientalmente más seguras. Como alternativa a los cascos de acero naval, existen boyas construidas con materiales sintéticos (ej. poliuretano expandido). Además, para mejorar su captación por los radares y su visualización se incluyen materiales retrorreflectantes y pantallas reflectoras para radares.

Además, de las boyas y balizas para la demarcación de los canales, también existe una variedad de boyas inteligentes de última generación que se agregan a las típicas de señalización y que permiten transmitir una variedad de datos en tiempos reales. Para transmitir a corta distancia pueden utilizar redes *wifi* o *bluetooth*, para distancias medias redes 3G o 4G, y para largas distancias modem satelitales.

Los sensores más comunes que se instalan en estas boyas inteligentes son:

- Detectores de contaminación química o biológica, salinidad, oxígeno disuelto, turbiedad, pH, etc.
- Acelerómetros para determinar alturas de olas y direcciones
- Hidrómetros o medidores de presión para la altura de mareas
- Anemómetros para la determinación de velocidades de viento
- Correntómetros para la medición de intensidades de corrientes
- Sensores meteorológicos

Además, permiten la instalación de videocámaras, micrófonos y otros dispositivos que se integran al sistema de control de tráfico (ver Figuras 21 y 22). Asimismo, trabajan de manera autónoma y envían información para avisar las necesidades de mantenimiento y de intervención humana (batería baja, garreo, malfuncionamiento de algún instrumento instalado).



Figura 21: Ejemplo de boya inteligente

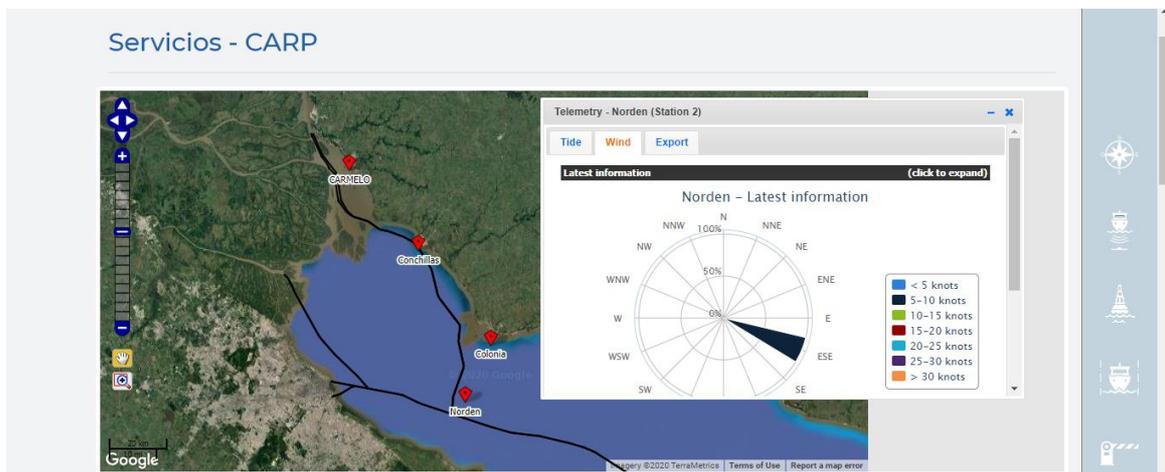


Figura 22: Ejemplo de baliza inteligente en el Río de la Plata – Pilote Norden

Finalmente, se han desarrollado las boyas radiocontroladas que, por ejemplo, permiten manejarlas a distancia para activarlas o desactivarlas, cambiar los destellos, cambiar la intensidad de la luz, o cambiar su color.

3.2 Radares

Los radares permiten visualizar a los buques y otros elementos flotantes reflectores como las boyas (ej. estructuras metálicas). Su utilización en los buques fue incrementándose con el tiempo siendo ahora un equipo estándar incluso en barcos deportivos.

Como la seguridad de navegación con radar dependía de la buena recepción de las señales, surgieron dos desarrollos para ayudar a la navegación a “ciegas”: las pantallas reflectoras y las balizas-radar. Como las boyas y balizas son blancos pobres para los radares, las pantallas reflectoras utilizan materiales altamente conductores para reforzar el eco de retorno que producen. Las balizas-radar (racón), por otro lado, son dispositivos receptores y emisores. Es decir, al ser activadas por una señal proveniente de un radar comienzan a retransmitir su propia señal distintiva.

Para controlar los movimientos en rada, prevenir accidentes, y ordenar el tránsito, las autoridades portuarias comenzaron a adoptar sistemas de radares para el control del tráfico. Los radares actuales ofrecen muy alta definición y reconocimiento de buques bajo condiciones atmosféricas muy adversas utilizando bandas especiales como la X y la Ku (Figura 23). Son capaces de reconocer buques de 100 m a 40 km de distancia. Y constituyen, como se explicará más abajo, elementos clave de los sistemas de control de tráfico.



Figura 23: Radar marino Tokio Keiki SeaKu-1400

3.3 ENC (Electronic Navigation Charts)

El instrumento histórico para planificar la navegación a bordo es la carta náutica. Las mismas se siguen publicando en papel, pero desde hace un par de décadas también se empezaron a distribuir cartas digitales vectoriales, las ENC. Estas cartas son un conjunto de datos vectoriales que originalmente tenían que ser procesados por computadoras y software sofisticados. Ahora pueden ser procesadas en celulares y en “plotters” de uso común en lanchas de recreación.

Las clásicas cartas en papel pueden ser escaneadas y convertidas a versión digital, pero sólo brindarán la información copiada del papel (raster). Por el contrario, las vectoriales, o también llamadas “cartas inteligentes”, están codificadas con bases de datos geospaciales asociadas. Uno puede clicar en alguno de los elementos, una boya, un muelle, etc., y se obtiene información relacionada al elemento, como sus dimensiones, antigüedad, altura, etc. Estas

cartas también permiten un mayor control del usuario, incluyendo la posibilidad de prender o apagar capas.

En combinación con los programas de navegación, se pueden integrar a la pantalla donde se muestra la carta y otros datos, como ser la posición GPS, la ruta de navegación, la velocidad, el rumbo y la profundidad. Además, permite programar alertas de colisión, de garreo de anclas cuando el buque está fondeado, y de profundidades límites. Las cartas electrónicas pueden ser compartidas a los buques desde un sistema inteligente central ubicado en tierra.

Los puntos débiles de las ENC siguen siendo los mismos que los de las cartas en papel: la cobertura geográfica y la actualización. En efecto, para lograr una buena cobertura los relevamientos deben extenderse lo suficiente y, como los fondos subacuáticos son móviles, también es necesario realizar campañas con cierta frecuencia. Ahora bien, una vez realizados los trabajos de campo, las ENC pueden ser publicadas en tiempos más cortos y distribuidos de manera más eficientemente.

Afortunadamente, la realización de relevamientos batimétricos también evolucionó de manera importante. El primer gran salto tecnológico (evidentemente luego de la invención de la ecosonda) fue la aparición de ecosondas multihaz que permiten en una sola barrida obtener información en un ancho mucho mayor al de las sondas tradicionales. El segundo salto importante tiene que ver con la aparición de relevadores autónomos o semiautónomos. La Figura 24 muestra un ejemplo.



Figura 24: Relevador autónomo Oceana ME 120

Estos instrumentos transmiten sus datos a software que pueden elaborar mapas 3D en tiempo real, con lo cual las batimetrías pueden ir actualizándose de manera constante quedando a disposición de todos los usuarios.

3.3.1 Drones

Los drones también tienen su aplicación en la “inteligencia” de los puertos. Sus principales usos son:

- Inspecciones de estructuras y equipos
- Identificación y evaluación de derrames y otros incidentes ambientales
- Vigilancia y seguridad
- Envíos de emergencias y paquetes pequeños a buques offshore
- Mapeo y cálculo de volúmenes
- Rescate
- Mantenimiento

Algunas de estas funciones ya están estandarizadas en los puertos más avanzados y otras están en etapas experimentales (Figura 25).



Figura 25: Dron utilizado en el puerto de Hamburgo para inspeccionar estructuras

3.4 VTS (Vessel Traffic System)

La OMI define a los sistemas VTS como “servicios de monitoreo implementados por las autoridades competentes, diseñados para mejorar la seguridad y eficiencia del tránsito de embarcaciones y la protección del ambiente”. El servicio debe tener la capacidad de interactuar con el tránsito y responder a situaciones que se desarrollen en el área de cobertura, guardando similitud con los centros de control de tráfico aéreo. Así, se entiende que en una determinada área y bajo circunstancias especificadas, estos sistemas minimizan los riesgos ambientales y de seguridad maximizando, al mismo tiempo, la eficiencia del transporte por agua y sus conexiones intermodales.

El concepto de VTS se origina en 1951, cuando el puerto de Long Beach instaló un sistema combinado de VHF y radar que permitía que los buques se comunicaran con el puerto y fueran identificados en el radar (los buques ya utilizaban radares y posicionamientos en alta mar con sistemas de ondas largas como el Loran o el Omega). En 1987, Rotterdam, instaló un sistema VTS para el control de las operaciones con 30 radares, una red de computadoras y sistemas de ruteo de señales para tener una visión sobre una zona que avanza 60 km costa afuera y 40 km tierra adentro. El sistema permitía almacenar organizadamente información acerca de los buques, incluyendo calado, escalas, cargas, muelle, y agente. El sistema también incluyó sensores de visibilidad, anemómetros, y cámaras de televisión. En 1993, la International Association of Lighthouse Authorities (IALA) aprobó el Anexo para la Guía de VTS. En 1995, la International Maritime Organization (IMO) adoptó esta guía.

En la práctica, en el centro de control la autoridad puede ver en una serie de pantallas todo el escenario del área de cobertura. Los buques que entran en esta zona son visualizados en las pantallas e invitados a seguir las indicaciones que emita la autoridad portuaria. A su vez, los mismos pilotos pueden contar con la información del sistema.

Físicamente, un sistema moderno de control de tránsito VTS está típicamente integrado por los siguientes elementos:

- Estación de control
- DGPS
- Radares
- Sistemas de recepción y transmisión de señales VHF-UF
- Detector de dirección de radio
- Cámaras de video
- Sistema de transmisión de informaciones y comandos
- Sensores de profundidad
- Sensores climáticos y de olas

La Figura 26 muestra un esquema de un sistema VTS.

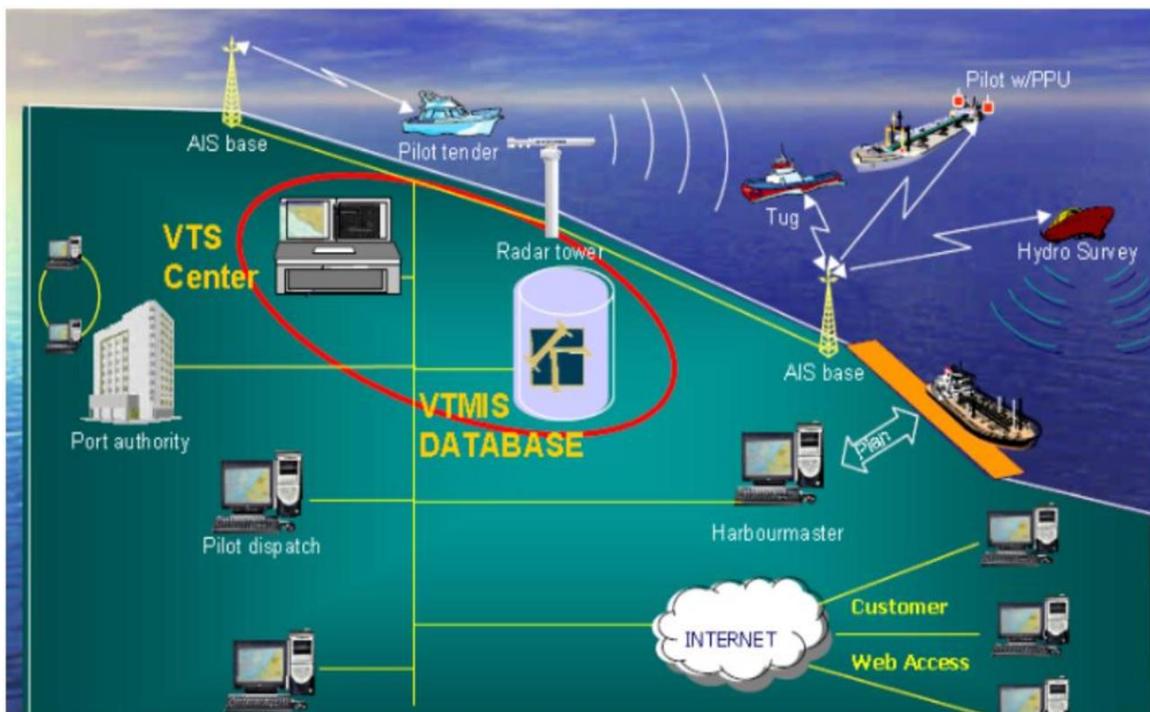


Figura 26: Esquema de estructura de un sistema VTS

El sistema permite alimentar y mantener bancos de datos que sirven para el control administrativo, el gerenciamiento, y el mejoramiento del rendimiento portuario (VTMIS, Vessel Traffic Management and Information Services). Los VTMIS se caracterizan por el intercambio electrónico de información a) con otros sistemas similares a nivel local, regional o nacional y/o b) por el intercambio de información con otros tipos de servicios marítimos de naturaleza comercial u oficial (ej. líneas marítimas).

Un VTS es una herramienta efectiva para:

- Guiar y controlar el tránsito — prevención de accidentes
- Monitorear la zona de espera

- Planificar los amarres y salidas de buques
- Ayudar a la gerencia de operaciones
- Realizar relevamientos hidrográficos y climáticos dentro del área portuaria
- Responder y controlar desastres (uso para defensa civil) y salvamentos
- Construir un banco de datos de parámetros ambientales

A pesar de la inversión inicial que representa la instalación de estos sistemas, la recuperación de la inversión es por lo general rápida debido a:

- El mejor aprovechamiento de las infraestructuras
- La disminución de accidentes
- La reducción de tiempos de cierre de los puertos
- El aumento del factor de ocupación de muelles
- La mejor utilización de las bodegas de los barcos
- La reducción de costos de seguros

Estas mejoras se obtienen al mejorar el conocimiento de 1) las condiciones climáticas (oleaje, vientos, mareas) que generalmente restringen la navegación en los accesos portuarios, y 2) las posiciones precisas de las embarcaciones.

Los sistemas modernos de VTS ofrecen:

- Identificación de miles de barcos simultáneamente con definición de sectores de barrido y alta definición.
- Alcances de radares hasta de 25 mn bajo condiciones adversas de clima
- Antenas de hasta 25 pies de largo
- Alarmas de ruta de colisión, de desvíos de ruta, de inicio de movimiento o de aproximaciones peligrosas
- Detectores de señales de radio
- Etiquetado del buque permitiendo su reconocimiento y seguimiento en pantalla
- Integración con sensores para determinar la revancha bajo quilla y de obstrucciones aéreas
- Integración de sensores de salinidad, corriente, dirección e intensidad del viento, mareas, etc. a tiempo real
- Sensores láser de velocidad de aproximación a muelle
- Circuito cerrado de televisión integrado al sistema
- Unidades portátiles para la asistencia completa del acceso y amarre
- Sensores de derrames de líquidos oleosos o químicos
- Distintas opciones de software
- Distintas opciones de vinculación (radial, mediante cable o fibra, telefónicamente)
- Registro completo de las comunicaciones visuales y radiales

La Figura 27 ofrece una perspectiva de un centro de control VTS.



Figura 27: Ejemplo de centro de control VTS

3.5 RIS (River information systems)

El concepto del RIS fue definido por la Unión Europea¹⁷ y consiste en la gestión del transporte fluvial y el tráfico - incluyendo las interfaces con otros modos de transporte – a través de servicios de información. Básicamente es un VTS adaptado a la navegación interior y utiliza cuatro tecnologías clave: Cartas electrónicas (ECDIS), avisos a los navegantes, AIS fluvial, e Informes Electrónicos Internacionales (ERI). En definitiva, el RIS es un sistema combinado de rastreo de embarcaciones, posicionamiento, obtención y distribución de datos ambientales, utilizando sensores, drones, y sistemas de comunicación como los LPWA (Low Power Wide Area) que son utilizados para transmitir pequeña cantidad de datos, esporádicos, a lo largo de distancias largas, con muy bajo consumo energético.

Los RIS se mantienen para áreas determinadas bien delimitadas, al igual que sus predecesores VTS, y operan desde un centro de control como el de la Figura 28. Se manejan tres niveles de informaciones¹⁸:

- Información física: contiene información hidrológica, geográfica y administrativa requerida para la ejecución de un viaje y su monitoreo.
- Información táctica: contiene información de interés para el capitán o el operador del centro de control para tomar decisiones inmediatas de acuerdo a la condición de tráfico y geografía específica del entorno. Usualmente se presenta sobre una carta electrónica.
- Información estratégica: es información que sirve para la toma de decisiones a mediano o largo plazo de un viaje (ubicaciones y características de todos los buques en el entorno y sus cargas).

¹⁷ Directiva 2005/44/EC

¹⁸ Guidelines and Recommendations for River Information Services, Resolution 57, Trans/SC.3/165, Economic Commission for Europe, Inland Transport Committee, Geneva, 2005.



Figura 28: Centro de control de un RIS

4. Aplicaciones en la Argentina

Como se puntualizó en la primera sección, hay dos circunstancias que definirán el perfil futuro de la logística del transporte por agua en Argentina: la nueva concesión del Puerto de Buenos Aires y la nueva concesión de la vía troncal navegable.

Todavía no se conocen los planes gubernamentales respecto a estas concesiones y existen muchas opiniones encontradas sobre lo que se debería hacer. Por otro lado, el Banco Mundial contrató sendos estudios para elaborar planes estratégicos de las vías navegables y del sistema portuario. Estos estudios, sin embargo, tienen un alcance muy limitado. El interés en los mismos no se encuentra enfocado hacia el uso de sistemas inteligentes, aunque sería lógico que los incluyeran.

De hecho, muchas de las tecnologías inteligentes se aplican en los puertos y las vías navegables argentinas desde la década del '90. Pero por distintas circunstancias la generalización del uso de tecnologías inteligentes se desaceleró en la última década, sólo se extendió a algunos ámbitos, y su modernización fue discontinua.

A continuación se comparten algunas apreciaciones sobre las posibles aplicaciones de las tecnologías inteligentes al caso argentino.

4.1 Aplicación de tecnologías inteligentes en los puertos

Como se señaló más arriba, el mayor salto cualitativo tecnológico en Argentina se realizó hace más de dos décadas, por lo que habría un gran campo de posibilidades para la modernización y la adopción de nuevas aplicaciones. El campo se amplía aún más cuando se considera el impacto que tuvo la pandemia. Seroka, Director Ejecutivo del Puerto de los Ángeles, señaló que en dicho puerto la mitad de los trabajadores están trabajando desde la casa por efecto de la pandemia, sin alterar el ritmo de operaciones del puerto. Esto los animó a elaborar un plan muy agresivo: indicó que la respuesta del puerto a la pandemia es un plan de inversiones sin precedentes para reforzar las exportaciones y bajar los costos. Esta misma visión de incrementar fuertemente las inversiones portuarias es compartida por otros ejecutivos portuarios del mundo.

En algunos puertos argentinos se han desarrollado sistemas parcialmente inteligentes. Es decir que se automatizaron ciertos procesos y se incluyeron algunos equipamientos. Las tecnologías más modernas son utilizadas principalmente en puertos cerealeros y en las terminales de contenedores del Río de la Plata.

Pero, aunque se puedan identificar importantes áreas de aplicación de los desarrollos *smart* en los puertos argentinos, también se debe tener conciencia de que existen serias limitaciones, principalmente por el tamaño y las características del mercado local. Incluso las mayores terminales de contenedores del país son de pequeña envergadura y de orden secundario en el concierto mundial. Ninguna de estas terminales, tomadas individualmente, llega a mover un millón de TEUs. Sin embargo, sus escalas han permitido adoptar, hace tiempo, sistemas como el comentado Navis, que les permite operar e intercambiar información de manera eficiente, planear las operaciones e integrar los sistemas operativos y administrativos.

También se han colocado pantallas led, calentadores de agua, y CCTV y algunos otros equipos de seguridad. Pero, por lo manifestado anteriormente, el vencimiento de las concesiones del Puerto de Buenos Aires ha limitado el interés de los concesionarios para invertir en la modernización de los equipos y en infraestructura que permitiría encarar de manera más

enérgica la implementación de tecnologías inteligentes. Un indicio de lo que se podría hacer fue la instalación de monitores de materiales radioactivos en el año 2012 en las terminales de Buenos Aires y Dock Sud. Si bien el objetivo era la detección de posibles tráficos de estos materiales como parte del sistema americano de defensa contra el terrorismo, en ese momento se instalaron sistemas inteligentes en las cuatro terminales de contenedores del Río de la Plata que estaban habilitadas. Estos sistemas incluían espiras en el pavimento para detectar el ingreso de un camión, una barrera o semáforo inteligente actuando en conjunto con la barrera y la presencia de un camión en el portal, cámaras con sistemas OCR para leer patentes y códigos de identificación de contenedores, sensores de radiación, alarmas en el caso de detección positiva, registro y distribución de la información en pantallas y bases de datos. Todavía en funcionamiento, los camiones sólo deben pasar por unos portales que no tienen atención humana. Si se detecta un material radioactivo se prenden alarmas y se desvía al conductor a un sector donde se hace una inspección con intervención humana. La Figura 29 muestra una de estas instalaciones.



Figura 29: Portal de control de materiales radioactivos

Al igual que en los puertos de contenedores, en los graneleros también se instalaron algunos sistemas inteligentes y automatizaciones parciales, principalmente destinados al manejo de la carga y de los sistemas de extracción de polvos. Estos puertos son muy eficientes en la comparación internacional, y son los que se han mantenido más actualizados. Pero todavía habría campos de mejoras principalmente en lo que es el manejo de los camiones y los *gates* y en lo que se refiere a la atención de los buques en amarra.

La aplicación de tecnologías *Smart* en los pequeños puertos del interior, en cambio, es mucho más dificultosa. Salvo automatizaciones parciales o aplicaciones muy limitadas, los costos serían demasiado altos para los volúmenes de carga que manejan. Con muelles subocupados, sus desafíos por lo general están más centrados en la expansión y mantenimiento de la infraestructura física.

Aun así, se debe tener en cuenta que los costos de las nuevas tecnologías se reducen año a año y que cada vez se ponen a disposición nuevas aplicaciones y servicios inteligentes de los que incluso pequeñas terminales pueden resultar beneficiadas. La Tabla 1 intenta resumir el tipo de tecnologías que podrían ser aplicadas según el tipo de puerto. En definitiva, estas sugerencias resultan de una primera valoración cualitativa de la relación beneficio/costo de cada aplicación a cada tipo de terminal.

TABLA 1: Tecnologías inteligentes factibles de ser aplicadas con probabilidad de éxito a diferentes tipos de terminales

Tipo de terminales	Contenedores concentradores	Contenedores interior	Graneleros/tanque	Cruceros	Observaciones
Tecnologías					
Controladores de atraque	De velocidad de atraque para buques grandes. Control de amarras.	De velocidad de atraque para remolcadores y trenes de barcasas.	De velocidad de atraque para buques grandes. Control de amarras. Control de ángulo de brazos	De velocidad de atraque para buques grandes. Control de amarras.	El control es más importante en los buques más grandes, aunque los buques pequeños sin apoyo de remolcador causan daños a muelles antiguos.
Grúas a control remoto	RTGs, STS				Dependiendo de los costos, las RTG totalmente automáticas podrían ser una solución al manejo de los patios. Las portainers (STS) con control remoto podrían reubicar a los maquinistas en una oficina alejada del muelle.
Camiones y buses autónomos	Permitirían separar el flujo de camiones externos y de los de uso en la propia terminal				Habría que evaluar el costo vrs el aumento de eficiencia. De hecho, en algunas se opera de esta manera aunque de manera manual. La utilización de buses autónomos para el traslado de pasajeros se prevé difícil debido a las características de los muelles de Ushuaia, Madryn, y Buenos Aires donde se atienden este tipo de tráfico.
Automatizaciones de terminales de graneles			Sistemas continuos, automatizaciones parciales para aumentar rendimiento y seguridad		Sistema inteligentes de controles de temperatura y humedad. Sistemas continuos y automatizados de carga y descarga de camiones y vagones. Sistemas inteligentes de monitoreo y control de filtros de polvos.
Automatización de <i>gates</i>	Reducción de transit time, reducción de congestiones	Reducción de transit time, reducción de congestiones	Reducción de transit time, reducción de congestiones		

Tipo de terminales	Contenedores concentradores	Contenedores interior	Graneleros/tanque	Cruceros	Observaciones
Tecnologías					
Visión artificial, machine learning y predicción de congestiones	Permite que los conductores planifiquen sus viajes y las terminales otorguen turnos racionalmente	Permite que los conductores planifiquen sus viajes y las terminales otorguen turnos racionalmente	Permite que los conductores y las terminales otorguen turnos racionalmente	Regulación de la oferta/demanda de servicios de transporte.	Los conductores pueden acceder a vistas de los patios de estacionamiento y espera y recibir informaciones de las terminales indicando tiempos de espera de acuerdo a horarios de llegada.
Reconocimiento facial	Aumento de seguridad y aceleración de trámites sin papeles	Aumento de seguridad y aceleración de trámites sin papeles	Aumento de seguridad y aceleración de trámites sin papeles	Aumento de seguridad y aceleración de trámites sin papeles	Esto se aplica a los miembros "asociados" que frecuentan las terminales. Choferes, empleados, tripulaciones. Inclusive podría utilizarse en terminales de pasajeros para escanear posibles "buscados" o "perdidos".
Data analysis y software de integración	Fundamental para el manejo de <i>Smart ports</i>	Soluciones a medida de alcance más reducido	Integración automática de datos en base de datos recopilando información de sensores y dando alertas		Permite el flujo de información administrativas y operativa desde la salida del buque del puerto de origen hasta su zarpada. Se crea una base de dato que permite el rastreo de los pasos dados con geolocalización y operaciones.
Energía de red	Deseable	Deseable	Deseable	Deseable	Significa la provisión de enchufes en los muelles y una provisión de energía estable.
Energía alternativa	Para usos auxiliares	Para usos auxiliares	Para usos auxiliares	Para usos auxiliares	Se refiere a energía eólica, geotérmica, solar, undimotriz, mareomotriz. Utilización para climatización, iluminación pública, en algunos casos para suplir fracciones de la energía de edificios.
Reducción del consumo de energía	Iluminación led, sensores de luminosidad	Iluminación led, sensores de luminosidad	Iluminación led, sensores de luminosidad	Iluminación led, sensores de luminosidad	

Algunas de las tecnologías descritas serán de difícil aplicación debido a la falta de escala. Los contenedores inteligentes serán utilizados cada vez más frecuentemente, pero su adopción depende fundamentalmente de las líneas marítimas y de las empresas proveedoras de contenedores. Rara vez los contenedores pertenecen a los dadores de carga.

En todos los casos, los sensores de condiciones ambientales y los aparatos que permiten el control del atraque y el amarre podrían ser utilizados con beneficios para el mantenimiento de la infraestructura y los buques. Estos sistemas podrían derivar en una reducción de los costos de seguros tanto de las navieras como de los puertos. Inclusive en puertos interiores para barcazas, el control de las velocidades y ángulos de aproximación brindarían amplios beneficios. En el caso de terminales barcacas, el control de las tensiones de amarras no sería tan preocupante, aunque muchos de estos puertos podrían beneficiarse de sistemas sobre el muelle para mover las barcazas mientras se cargan o descargan sin necesidad de ayuda del remolcador.

No es esperable que con los bajos volúmenes de carga los puertos argentinos sean beneficiados con el uso de grúas automáticas y vehículos autónomos, aunque podrían mencionarse algunas excepciones. En los puertos de contenedores más importantes, el uso de RTG, grúas pórticos móviles para el movimiento de contenedores en los patios, automáticas, podrían realizar las maniobras de manera más eficientes. Estas grúas pueden trabajar desatendidas durante la noche y momentos de actividad reducida reacomodando las cargas. Además, permitirían un cambio de configuración moviendo la carga y descarga de camiones al frente de las filas, pudiendo permitir el ahorro de espacios, tan preciado en los puertos urbanos. En las terminales más chicas, las grúas controladas remotamente podrían ser una opción interesante que no agregaría un gran costo adicional.

Varias de las terminales de graneles líquidos del país, en particular las de combustibles, ya cuentan con algunas partes automatizadas o en proceso de serlo. Por ejemplo, incorporan electroválvulas comandadas a distancia para evitar personas en la plataforma, sistemas de cierre de válvulas automáticos (con retardos para evitar sobrepresiones), y caudalímetros que controlan los volúmenes cargados. Muchos de los tanques en el país cuentan con radares y sensores para determinar el volumen y las condiciones de almacenamiento. En las estaciones de cargas se cuenta con programas que permiten realizar mezclas programadas de combustibles y aditivos que se integran a programas que también reciben datos de sensores de temperatura y densidades y se comunican con módulos programados de sistemas de facturación. En estas terminales, los conductores y camiones se encuentran incorporados a bases de datos y son identificados al presentar tarjetas con chips, que acelera el proceso de entrega o recepción del producto y brinda más seguridad.

Las terminales de agrograneles modernas del país también tienen incorporados muchos dispositivos para asegurar un flujo casi continuo de productos. Balanzas en línea, controles digitales de las operaciones, sensores de ambiente, y monitoreo automático del equipamiento son usuales en estas terminales. No obstante, y esto puede ser aplicado a todas las terminales, uno de los puntos débiles es el manejo de los camiones o vagones entrantes.

En este sentido todas las terminales, incluyendo las de pasajeros pueden beneficiarse con sistemas inteligentes predictivos que hacen uso de las tecnologías de visión artificial, y *machine learning*. Estas tecnologías permitirían a los conductores y los operadores portuarios obtener imágenes en tiempo real de la situación del área de recepción y predicciones sobre congestionamientos (espacios disponibles, largo de colas, esperas, o puestos ocupados a diferentes horas).

De la misma manera, la automatización de los ingresos de camiones y vagones podría beneficiar de manera importante el rendimiento de las terminales. Esto es particularmente interesante en las terminales de contenedores. Con sistemas inteligentes digitalizados (sin papeles), los camiones pueden obtener los permisos de entrada de manera anticipada y pasar por los *gates* sin detenerse, previa lectura del número de patente, la identificación del contenedor, y el reconocimiento del conductor por vía de cámaras y software OCR.

En las terminales graneleras, el proceso es más complejo porque el cuello de botella no se encuentra por lo general en la entrada sino en la descarga de los granos. Para mejorar esta circulación habría que aumentar la capacidad de recepción.

Finalmente, para convertirse en puertos inteligentes, las terminales deben reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. En este sentido, uno de los puntos más importantes es proveer enchufes para que los buques amarrados no dependan de sus propios generadores impulsados a gasoil. Otro de los aspectos es reducir los consumos energéticos, algo que se ha implementado en varias terminales y que incluyen soluciones como el cambio de lámparas incandescentes por pantallas led en patios y alumbrado público. También se pueden encontrar soluciones de climatización que permiten un ahorro importante de energía.

4.2 Aplicación de tecnologías inteligentes en las vías navegables

En el país existen dos sistemas VTS desde hace más de 20 años. Uno instalado en Bahía Blanca y otro en el Río de la Plata. Además se fueron agregando sistemas con radares, en Rosario, Zárate, Mar del Plata, Comodoro Rivadavia y Ushuaia. Además de estos centros de control, también se implementaron otros que no cuentan con apoyo de radar, pero sí de estaciones AIC, en Corrientes, Diamante, San Nicolás, y San Pedro. Todos los sistemas son gestionados por la PNA para controlar el tráfico de buques y constituyeron un avance muy importante en el sistema navegable. Estos sistemas son parte sustancial de una vía navegable inteligente, aunque no son suficientes.

Por otro lado, también hay instalada una serie de sensores hidrometeorológicos, sobre el litoral marítimo y en la Vía Troncal Navegable: mareógrafos, estaciones meteorológicas, y olímetros. La densidad de estas estaciones y su cobertura geográfica es todavía muy pobre.

Como se indicó en la Sección 2 se espera que la vía troncal navegable sea licitada nuevamente en el 2021. Todavía no se conoce lo que dirá oficialmente el pliego de licitación, pero habría un convencimiento generalizado de la necesidad de profundizar el río y de continuar con el sistema de peaje. Con respecto a la instalación de sistemas inteligentes, el único estudio realizado de manera privada y hecho público que fue descripto más arriba propone incorporar un RIS con una serie de dispositivos inteligentes. El sistema que se propone, si bien significaría un avance importante sobre lo existente, tiene un alcance limitado (servidor AIS; cartas digitales, niveles, balizas virtuales, monitoreo de datos hidroambientales, y pronósticos provistos por el concesionario; y datos de calado y velocidad de buques provistos por el Concesionario). A esta información se agregaría un modelo predictivo de niveles.

El valor indicado que los consultores del informe mencionado para implementar el sistema RIS es de 1.6 MM de dólares y su mantenimiento anual de alrededor de 1 MM adicionales. Estos valores representan un 0.3% del valor de los dragados y menos aún en relación a la facturación esperada del concesionario.

La realidad es que a diferencia de lo que sucede con los puertos argentinos, donde los sistemas inteligentes tendrían una limitada aplicación debido a los bajos volúmenes movidos

individualmente por las terminales, el sistema de navegación justificaría la implementación de sistemas inteligentes mucho más ambiciosos (la inversión sugerida en sistemas inteligentes se puede considerar tímida). Esta afirmación se basa en los siguientes criterios:

- a) La relación entre la implementación y mantenimiento de los sistemas inteligentes y el costo del dragado es demasiado baja considerando los beneficios que podría traer aparejados tan sólo con una mejora de la trazabilidad y registro de eventos en el sistema navegable.
- b) El número de buques totales que se beneficiarían involucra el transporte de la sumatoria de los volúmenes que mueven las terminales individuales. O sea, la inversión se justifica por lo que mueve el sistema en su conjunto.
- c) La reducción de accidentes por la adopción de sistemas inteligentes justificaría una inversión mayor al considerar que 1) la vía troncal es de una sola mano y un accidente podría sacar de servicio a la totalidad de la vía navegable, y 2) los accidentes navieros pueden causar fatalidades y también daños ecológicos significativos.
- d) Un sistema inteligente fuerte conduce a una mayor eficiencia de las vías navegables que constituyen el principal modo de transporte de las exportaciones que permiten la obtención de divisas.

Además de una densidad importante de sensores y una página web como describe el informe citado, se debe incorporar el software de control, que fue omitido y que sería el corazón mismo del RIS. Y este software debería incluir un sistema inteligente de predicciones que permita automatizar parte de las decisiones que deben tomar los operadores de PNA. Inclusive debería poder observarse las interfaces tierra-agua (accesos terrestres), y tener “ojos” ya sea con CCTV o drones en puntos de control o críticos de la vía navegable. Dadas las condiciones del país, todos los elementos instalados en el campo deberían ser a prueba de vandalismo.

Por la extensión del litoral marítimo y las vías fluviales, el sistema debería ir permitiendo la interconexión entre distintos centros de control e inclusive con otros modos de transporte para no dejar “puntos ciegos”. En el Río Paraná, la cobertura debería ser total con centros de control distantes como máximo a 150 km unos de otros.

Los VTS y RIS deberían ser capaces de obtener la información necesaria sin depender de los datos que pudiera ofrecer el concesionario o los usuarios. Sería oportuno aprovechar la concesión para comprar e instalar el equipamiento; pero el control, mantenimiento y operación de estos sistemas debería ser totalmente independiente del dragador (incluso podría ser concesionado de manera separada). Esto se justifica en varias cuestiones clave: a) estos sistemas deberían contemplar la posibilidad de ampliaciones y cambios de tecnologías, lo que implicaría una relación contractual más flexible que la del dragador, b) se podrían presentar conflictos de interés cuando las autoridades deban evaluar situaciones que puedan afectar a los dragadores, c) los sistemas deben complementarse con los sistemas de otros modos de transporte, lo que excedería ampliamente las capacidades y objetivos del dragador.

El sistema también debería ser inteligente en cuanto a permitir la actualización continua de las ENC, con embarcaciones asociadas al sistema que puedan ir transmitiendo barridas de sondajes de manera automática que sean comparadas con los datos de niveles de río y profundidades de las cartas. Las boyas y balizas deberían tener la capacidad de transmitir sus estados de funcionamiento de manera inalámbrica, por lo que también sería importante conformar una red de transmisión de datos confiable y de bajo consumo de energía (LPWA). Los datos de velocidad y dirección del rumbo deberían ser obtenidos por el mismo sistema AIS, cuya cobertura debería ser ampliada hacia el Paraná Superior y el Paraguay. Estos datos podrían ser corroborados mediante otras mediciones utilizando la tecnología LiDAR en puntos estratégicos. Las mediciones de calado podrían ser realizadas en secciones de control a través de cámaras en

varios puntos a lo largo del buque, ya que si se cuenta con los datos del mismo y sus planos, sería fácil determinar la diferencia entre el pelo del agua y la cubierta.

La Tabla 2 resume las tecnologías que podrían ser aplicadas según el tipo de puertos o vías navegables.

1.0 TABLA 2: Posible aplicación de nuevas tecnologías a distintas vías navegables

Tecnología	Centros de control/VTS/AIS y radar	ENC y relevamientos	Radio boyas/boyas inteligentes	Sensores
Tipo de terminales				
Puertos marítimos	Uno en cada puerto comercial	ENC ya están disponibles. Hay que asegurar su actualización	Incluir mayor densidad de radioboyas, boyas a control remoto, y balizas virtuales	CCTV en canales, todos deben incluir una estación hidrometeorológica (corriente, marea, viento) y sensores de parámetros ambientales (según la localización), con acceso web a registros instantáneos e históricos.
Río de la Plata	Modernizar sistema y potenciar automatización y registro de información.	ENC ya están disponibles. Hay que asegurar su actualización. Sistema de compilación de sondeos automático de embarcaciones asociadas	Incluir mayor densidad de radioboyas, boyas a control remoto, y balizas virtuales	Agregar al menos dos estaciones hidrometeorológicas adicionales, y sensores ambientales, con acceso web a registros instantáneos e históricos. Mediciones de calados, squat. Instalación de CCTV y visualización con drones.
Paraná inferior y VNT	Densificar el número de estaciones y equiparlas (al menos una cada 150 km)	ENC ya están disponibles. Hay que asegurar su actualización. Sistema de compilación de sondeos automático de embarcaciones asociadas	Incluir mayor densidad de radioboyas, boyas a control remoto, y balizas virtuales en fondeaderos y zonas de paso.	Al menos dos estaciones hidrometeorológica y sensores ambientales por cada centro de control (acceso web a registros instantáneos e históricos). Mediciones de calados, squat. Instalación de CCTV y visualización con drones.
Paraná medio y superior, Paraguay	Modernizar sistema, crear centros de control completos cada 300 km. Automatizar registro	Elaborar ENC del Paraná Superior y el Paraguay. Sistema de compilación de sondeos	Incluir mayor densidad de radioboyas y balizas virtuales.	Agregar al menos una estación hidrometeorológica y sensores ambientales, con acceso web a registros instantáneos e históricos por cada centro de control. Mediciones de

Tecnología	Centros de control/VTS/AIS y radar	ENC y relevamientos	Radio boyas/boyas inteligentes	Sensores
Tipo de terminales				
	de datos e información.	automático de embarcaciones asociadas.		calados, squat. Instalación de CCTV y visualización con drones.
Río Uruguay	Modernizar sistema, crear centros de control completos cada 150 km. Automatizar registro de información.	Sistema de compilación de sondeos automático de embarcaciones asociadas.	Incluir mayor densidad de radioboyas, boyas a control remoto, y balizas virtuales	Agregar al menos dos estaciones hidrometeorológicas por centro de control, y sensores ambientales, con acceso web a registros instantáneos e históricos. Mediciones de calados, squat. Instalación de CCTV y visualización con drones.

5. Conclusiones

Más de dos décadas atrás, con la provincialización y privatización de las operaciones portuarias y el concesionamiento de la vía troncal se impulsaron la compra, instalación, y operación de tecnologías modernas que pueden constituir las bases de sistemas inteligentes. Estas tecnologías junto a las inversiones en infraestructura y equipos permitieron que la Argentina aumentara la capacidad de transporte por agua de manera significativa. Rápidamente, Argentina pasó a ocupar lugares destacados entre los puertos latinoamericanos con eficiencias comparables a otros de primer orden mundial.

Sin embargo, ese crecimiento tecnológico sufrió un proceso de estancamiento que continúa hasta la actualidad y que lleva a que los puertos y las vías navegables se encuentren rezagados en la comparación con otros puertos que antes aventajaban. Esto trae dificultades prácticas importantes: a) la reducción de eficiencia ante un mercado global competitivo reduce los beneficios de las exportaciones y encarece las importaciones, y b) al no cumplir con preceptos “Green” se corre el peligro de quedar fuera del circuito global, cada vez más exigente en cuanto a la trazabilidad de la huella de carbono y las emisiones de gases de efecto invernadero.

Las posibilidades de mejora del sistema portuario y de navegación son enormes. Indudablemente, hay cuestiones básicas relacionadas con los déficits de infraestructura y mantenimiento, como se inventarió, describió y evaluó en otros informes antecedentes del Área de Pensamiento Estratégico de la Cámara. Pero en esta línea de las automatizaciones y de la implementación de sistemas inteligentes, también hay un campo muy vasto para mejorar.

El COVID-19 demostró que los puertos, esenciales en las cadenas de suministros de medicamentos y alimentos, pueden seguir trabajando sin demoras gracias a los sistemas automáticos y controlados a distancia. Y en consecuencia, la evaluación realizada en los grandes puertos distribuidores concluyó que en el futuro próximo es necesario invertir fuertemente en las nuevas tecnologías. Mientras tanto, en la Argentina se está discutiendo la forma en que tiene que realizarse la renovación de las concesiones de las principales terminales de contenedores del país y de la vía troncal navegable que, desde sus privatizaciones en los '90, se han quedado atrás en la aplicación de soluciones innovadoras.

Las discusiones sobre estas licitaciones se realizan manteniendo los mismos paradigmas que hace 20 o 30 años. Y sorprendentemente, se están mencionando a las nuevas tecnologías como accesorios de un nuevo sistema de transporte por agua. Nadie ha considerado hasta el momento evaluar el impacto que la aplicación de las nuevas tecnologías tendría sobre la capacidad del sistema. En otras palabras, a poco menos de un año del vencimiento de las concesiones, no se ha evaluado cómo la aplicación de conceptos y dispositivos inteligentes pueden aumentar la eficiencia y reducir las necesidades de inversiones en infraestructura.

Teniendo en cuenta la evolución vista en las últimas dos décadas y la oportunidad que brinda el vencimiento de las concesiones, se puede concluir que la adopción de sistemas inteligentes debería estar muy bien especificada en los próximos pliegos de licitación para maximizar el potencial de las terminales y vías navegables.