

Modelización de las curvas de aprendizaje correspondientes a los tránsitos por el Canal de Panamá ampliado

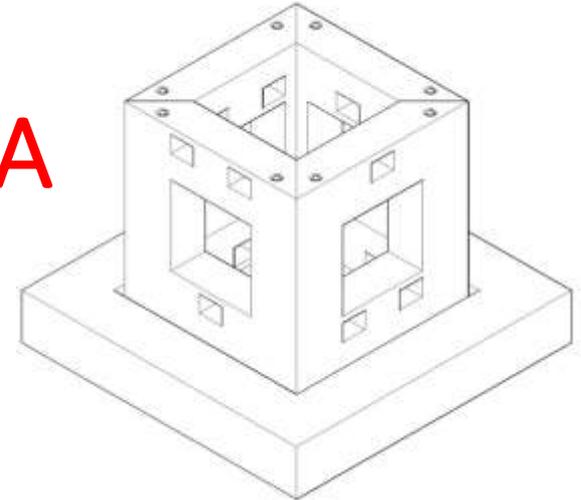
Luis Carral, Javier Tarrío-Saavedra, Aladar Rodríguez-Díaz,
Salvador Naya

Organizan



GEM – GRUPO DE ENXEÑERÍA MIXTO

- Grupo de Investigación – formado por 5 investigadores principales y 5 colaboradores
- Interacción con otros grupos
- Líneas de actuación – **Ingeniería Naval e Industrial**
- 3 patentes, 2 modelos de utilidad
- Trabajo de investigación – **arrecife PROARR** de protección y regeneración de ecosistemas costeras en las rías gallegas – España
- Otras líneas de investigación, sostenibilidad y energías renovables, sistemas auxiliares del buque, **transporte marítimo**



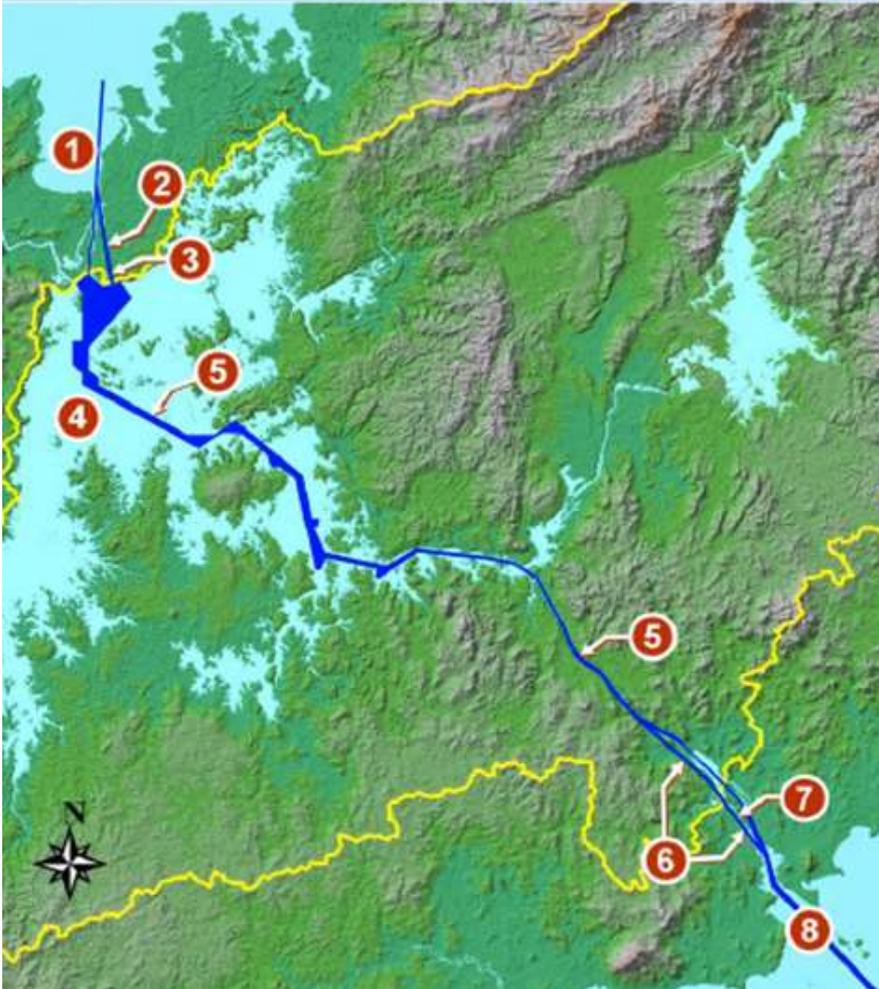
Trabajos realizados en relación con el Canal ampliado (I)

Título	Autores	Área temática	Situación	Publicación
EFFECT OF INAUGURATING THE THIRD SET OF LOCKS IN THE PANAMA CANAL ON VESSEL SIZE, MANOUVRING AND LOCKAGE TIME	Luis Carral, Javier Tarrío-Saavedra, Salvador Naya , Johnny Bogle, Rodolfo Sabonge 1,2,3 Universidade da Coruña 4,5 Universidad Marítima Internacional de Panamá	EFFECTO SOBRE LA MANIOBRA DE LOS BUQUES Y LOS TIEMPOS DE ESCLUSAJE	PUBLICADO	JOURNAL OF NAVIGATION
EFFECTS OF THE EXPANDED PANAMA CANAL ON VESSEL SIZE AND SEABORNE TRANSPORT	Luis Carral, Javier Tarrío-Saavedra, Laura Castro-Santos, Isabel Lamas-Galdo, Rodolfo Sabonge 1,2,3,4 Universidade da Coruña 5 Universidad Marítima Internacional de Panamá	EFFECTO SOBRE LOS BUQUES Y EL PATRÓN DE TRÁFICO	PUBLICADO	PROMET – TRAFFIC & TRANSPORTATION
STATISTICAL METHODOLOGY TO DETERMINE THE TRANSIT TIME REQUIRED FOR NEOPANAMAX VESSELS IN THE PANAMA CANAL	Luis Carral, Javier Tarrío-Saavedra, Jose-Carlos Alvarez-Feal, Salvador Naya, Rodolfo Sabonge 1,2,3,4 Universidade da Coruña 5 Universidad Marítima Internacional de Panamá	EFFECTO SOBRE EL TIEMPO DE TRÁNSITO	EN 2ª REVISIÓN	JOURNAL OF MARINE SCIENCE AND TECHNOLOGY
MODELIZATION OF LEARNING CURVES (OPERATIONAL AND ROUTINE) IN THE MANEUVERS IN LOCKS AND TRANSITS OF THE EXPANDED PANAMA CANAL	Luis Carral, Javier Tarrío-Saavedra, Aladar Rodríguez-Díaz, Salvador Naya Universidade da Coruña Universidad Marítima Internacional de Panamá	CURVAS DE APRENDIZAJE	EN ESTUDIO	

Trabajos realizados en relación con el Canal ampliado (II)

Título	Autores	Área temática	Situación	Publicación
EVOLUTION OF LIQUIFIED GAS TRANSIT THROUGH THE PANAMA CANAL – AN OPPORTUNITY FOR EXPLOITING THE EXPANDED CANAL	Luis Carral Couce, Laura Castro Santos, Javier Tarrío-Saavedra, Adán Vega, Johnny Bogle , Rodolfo Sabonge 1,2,3,Universidad da Coruña 4,5,6 Universidad Marítima Internacional de Panamá	EFFECTO SOBRE EL TRANSPORTE DE GAS NATURAL LICUADO	PUBLICADO	COPINAVAL 2017- SPRINGER & KIEL
ANALYSIS OF THE COMPETITIVE POSITION OF THE EXPANDED PANAMA CANAL IN THE SHIPMENT OF LNG BETWEEN THE ATLANTIC AND PACIFIC MARITIME AREAS.	Luis Carral ¹ , Javier Tarrío-Saavedra ² , Diego Crespo-Pereira ³ , Marina Fernandez-Campoamor ⁴ , Rodolfo Sabonge ⁵ 1,2,3,4 Universidad da Coruña 5 Universidad Marítima Internacional de Panamá	EFFECTO SOBRE EL TRANSPORTE DE GAS NATURAL LICUADO	PUBLICADO	JOURNAL OF ENGINEERING FOR THE MARITIME ENVIRONMENT
THE IMPORTANCE OF THE EXPANDED PANAMA CANAL FOR REDUCTIONS IN (POLLUTANTS) GREEN HOUSE GAS EMISSIONS FROM SHIPPING	Luis Carral, Rodolfo Sabonge 1,2,3 Universidad da Coruña 4,5 Universidad Marítima Internacional de Panamá	EFFECTO SOBRE LAS EMISIONES DE CONTAMINANTES	EN REVISION	SUSTAINABLE TRANSPORT
MODELIZACIÓN DE LAS CURVAS DE APRENDIZAJE CORRESPONDIENTES A LOS TRÁNSITOS POR EL CANAL DE PANAMÁ AMPLIADO	Luis Carral ¹ , Javier Tarrío-Saavedra ² , Aladar Rodríguez-Díaz ³ , Salvador Naya ² 1,2,3,4Universidad da Coruña 5 Universidad Marítima Internacional de Panamá	CURVAS DE APRENDIZAJE	EN PREPARACIÓN	COPINAVAL 2019- SPRINGER & KIEL

Components of Third Set of Locks Project

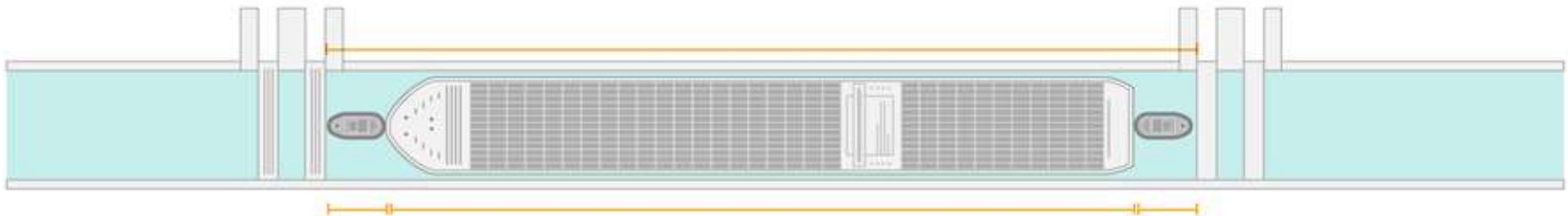


Actuación sobre el Canal existente para ampliarlo.

- 1) Profundización y ensanche de la entrada del Atlántico,
- 2) Nuevo cauce de acceso a las esclusas post-panamax del Atlántico,
- 3) Esclusas post-panamax del Atlántico,**
- 4) Elevación del nivel del Lago Gatún,
- 5) Ensanche y profundización de los cauces de navegación del lago Gatún y profundización del Corte Culebra,
- 6) Nuevos cauces de acceso a las esclusas post-panamax del Pacífico,
- 7) Esclusas post-panamax del Pacífico,**
- 8) Profundización y ensanche de la entrada del Pacífico. Fuente: (ACP, 2006a)

NUEVAS ESCLUSAS

Disposición en planta de una esclusa del canal ampliado con la situación de las **puertas deslizantes dobles** y los **remolcadores** en posición.



ANTECEDENTES

THE JOURNAL OF NAVIGATION, Page 1 of 19. © The Royal Institute of Navigation 2017
doi:10.1017/S0373463317000285

Effect of Inaugurating the Third Set of Locks in the Panama Canal on Vessel Size, Manoeuvring and Lockage Time

Luis Carral¹, Javier Tarrío-Saavedra¹, Salvador Naya¹, Johnny Bogle² and Rodolfo Sabonge²

¹(*Universidade da Coruña*)

²(*Universidad Marítima Internacional de Panamá*)

(E-mail: l.carral@udc.es)

ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Tránsitos en esclusas Neo-panamax entre el 26 de junio y el 15 de septiembre

Correspondientes a 131 observaciones.

Estadística descriptiva

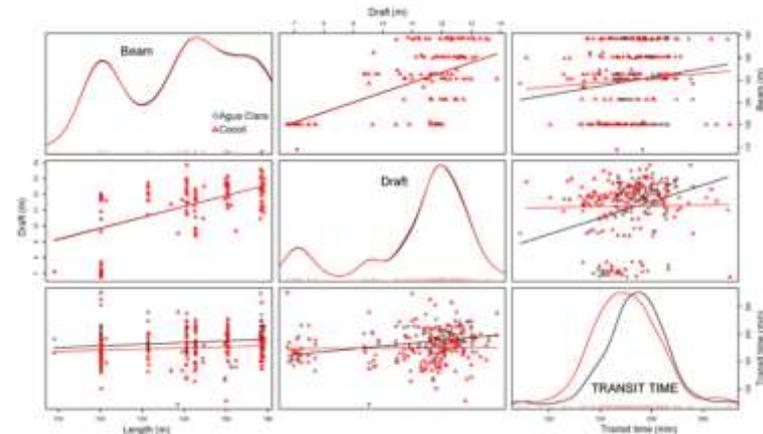
Software estadístico R

Análisis de la varianza – ANOVA

Regresión multivariante

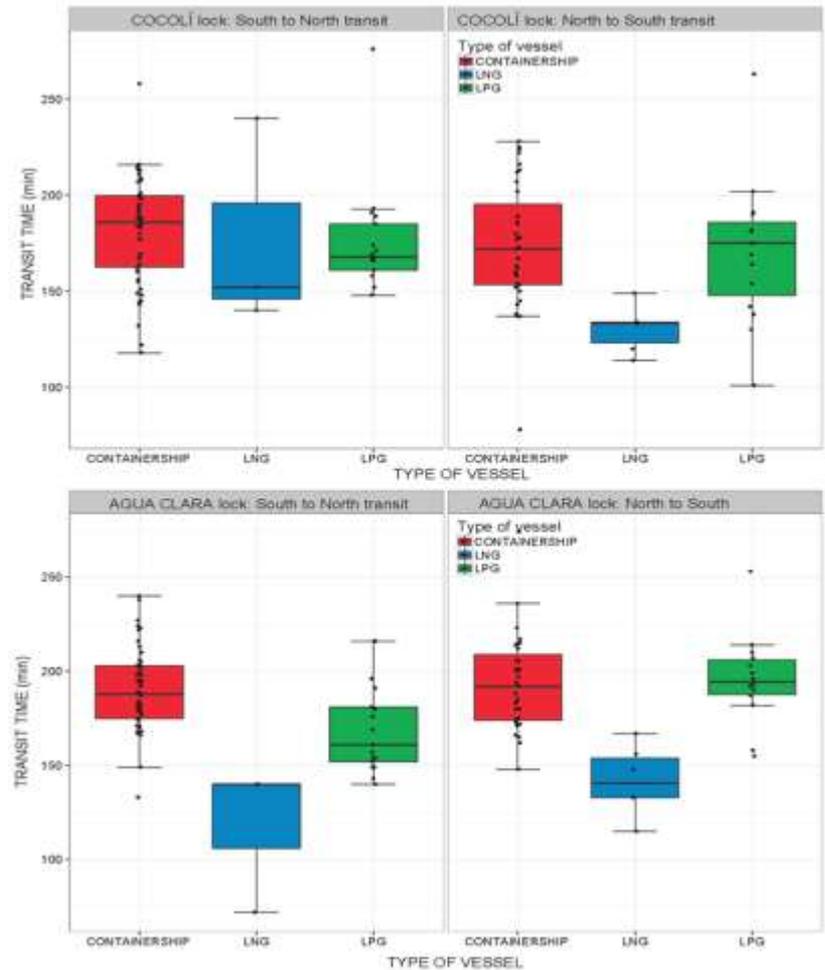
- Determinar variables que afectan al proceso
- Proponer un modelo de regresión que permita estimar los **tiempos de esclusaje**

PREDICCIÓN del TRÁNSITO en ESCLUSAS





Diagramas de caja y bigotes para el tiempo de tránsito en función de los valores del tipo de buque agrupados por la dirección de tránsito dentro del factor de la esclusa (esclusas de Cocolí y Agua Clara).



Análisis de la varianza - ANOVA - tiempo de tránsito dependiendo de los factores *dirección del tránsito*, la *esclusa*, el *tipo de buque* y la *interacción entre la dirección y la esclusa*, son estadísticamente significativos ($p < 0.05$)

	Sum of squares	Degrees of freedom	F	p-value (Pr(>F))	Signification at 95%
Direction	10	1	0.0134	0.9078	
Lock	6423	1	84.933	0.0038	Significant
Type of vessel	32763	2	216.63	2.08e-06	Significant
Interaction between Direction and Lock	4694	1	62.076	0.0134	Significant
Residuals	190567	252			

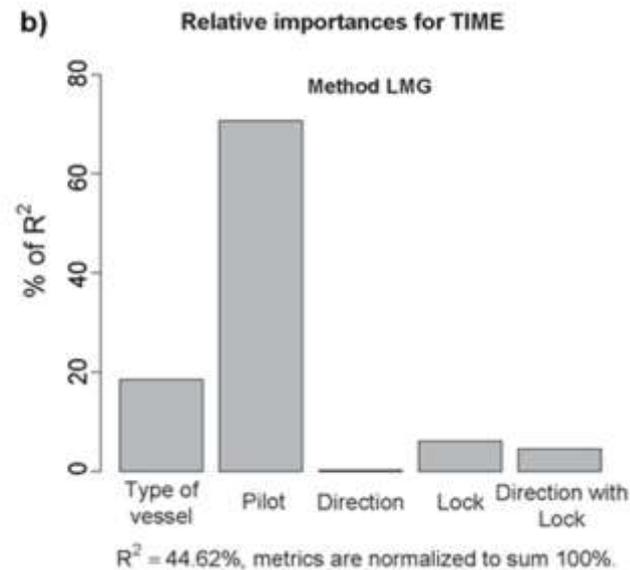
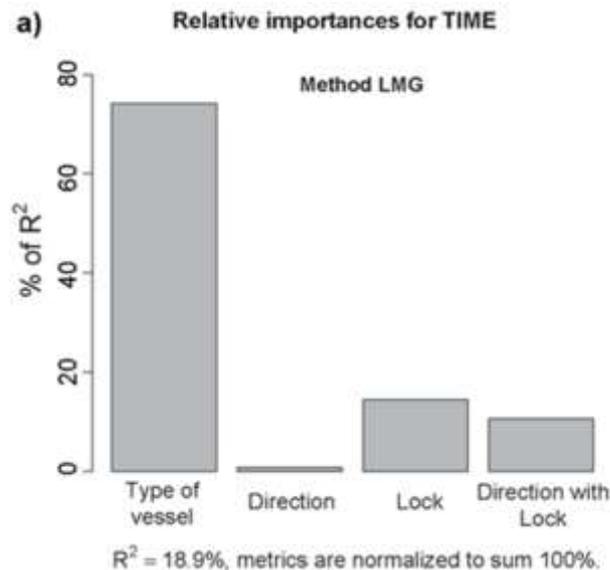


Contribución de cada factor a la varianza (en términos del porcentaje del coeficiente de determinación)

Panel a: se calcula la **contribución del tipo de buque**, dirección, esclusa e interacción entre dirección y esclusa.

Panel b: se incluye el factor correspondiente al **piloto** que realiza las maniobras además de los factores antes mencionados.

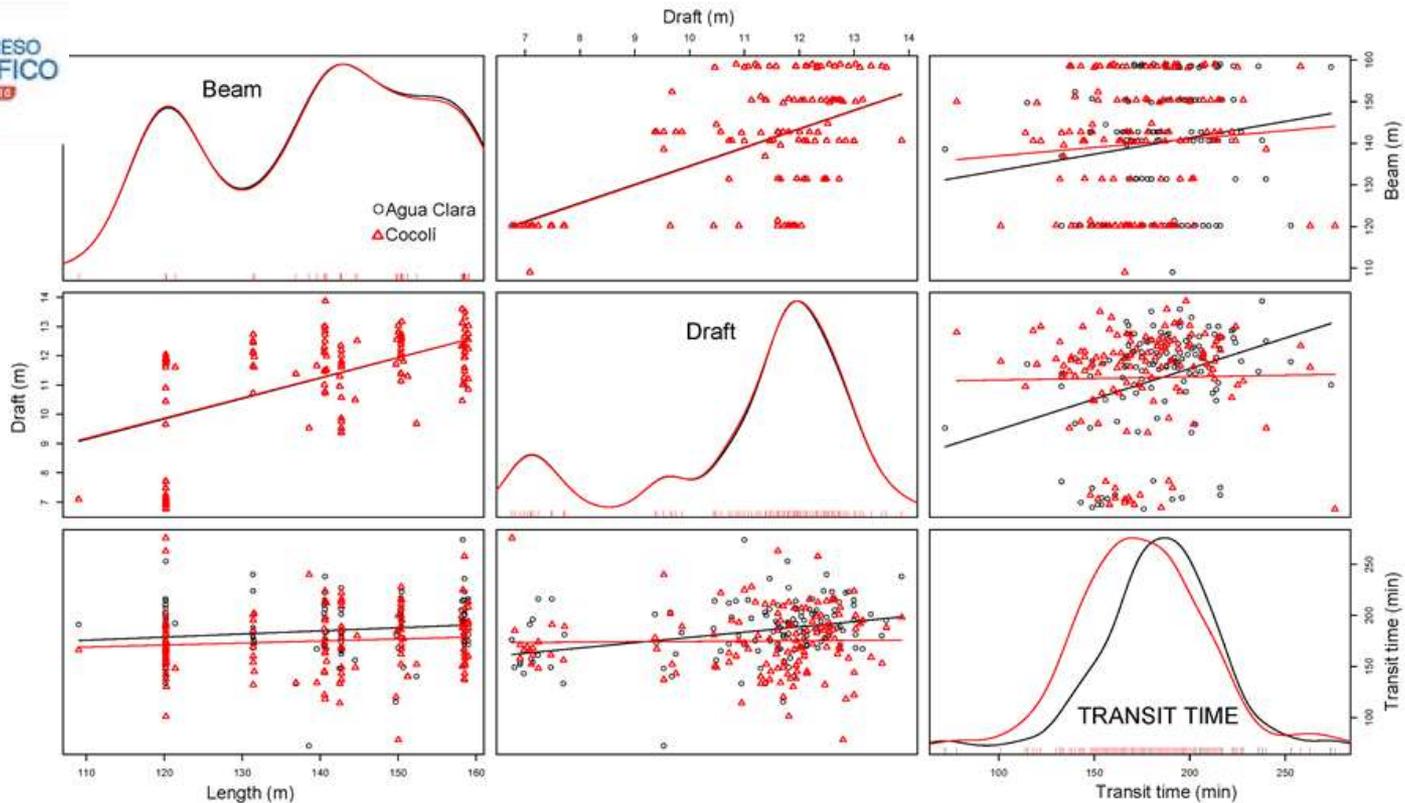
Conclusión, **es necesario incluir en el modelo la variable - piloto**



Matriz de diagrama de dispersión con tendencias de regresión lineal para cada conjunto de esclusas.

Dependencia para las **variables dimensionales del buque y el tiempo de tránsito**.

Estimaciones de densidad no paramétricas en la diagonal .

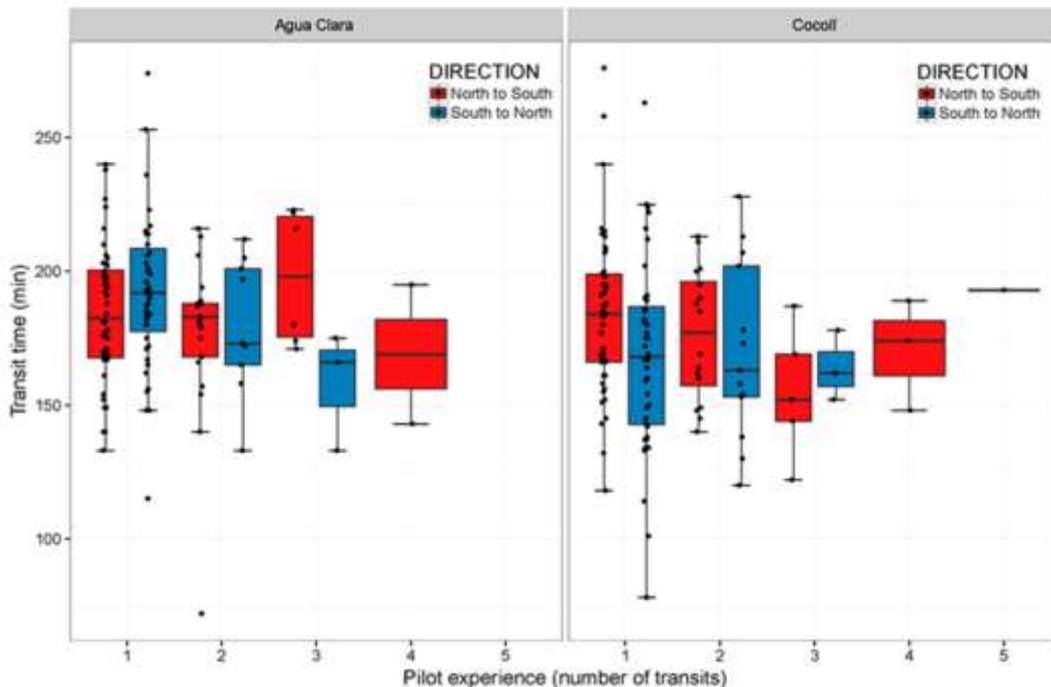


Control estadístico de calidad para identificar patrones de aprendizaje del piloto



- Otra variable influyente es la **experiencia del piloto**. El grupo de pilotos habilitados ha crecido constantemente desde el primer tránsito el 26 de junio.
- La curva de aprendizaje se basa en el **número de tránsitos realizados por cada uno, junto con el entrenamiento en las maniobras del conjunto de la organización** (habilidad de patrones de remolcadores, los pasacables y los operadores de esclusas).

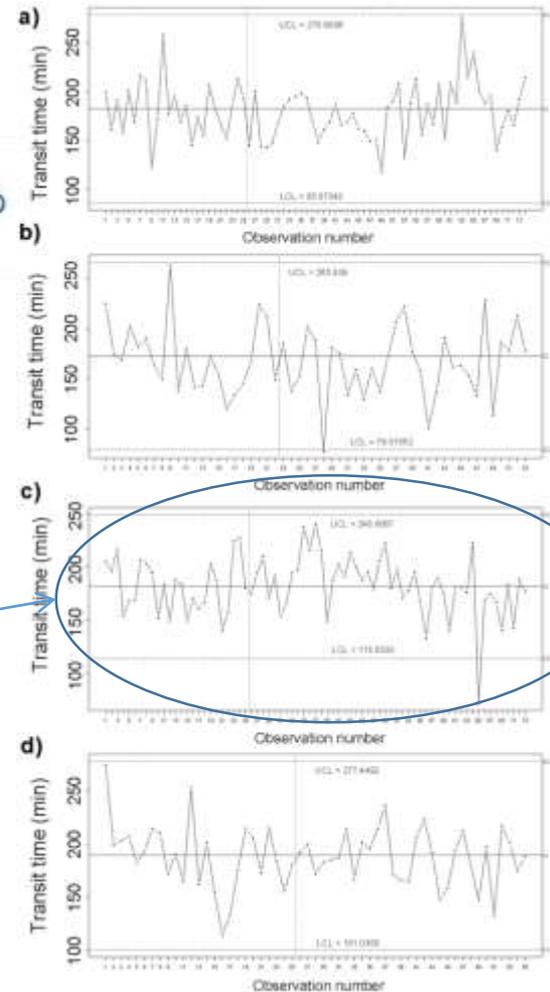
Se muestran los **DIAGRAMAS DE CAJA** correspondientes al **tiempo de tránsito** dependiendo de los valores de la experiencia del piloto, agrupados por la dirección de tránsito dentro de cada esclusa (Cocolí y Agua Clara). Las observaciones originales se trazan en negro.



Existencia de curvas de aprendizaje



- En conclusión, un pequeño patrón de aprendizaje puede ocurrir cuando los pilotos trabajan en las esclusas de Agua Clara y la dirección de funcionamiento es de sur a norte (saliendo del Canal al océano).
- **Esta variable debe tenerse en cuenta para construir el modelo que estime el tiempo de tránsito**



MODELO MULTIVARIANTE -Una vez identificadas las variables de influencia, el siguiente paso es encontrar una **expresión para estimar el tiempo de tránsito (COCOLÍ)**



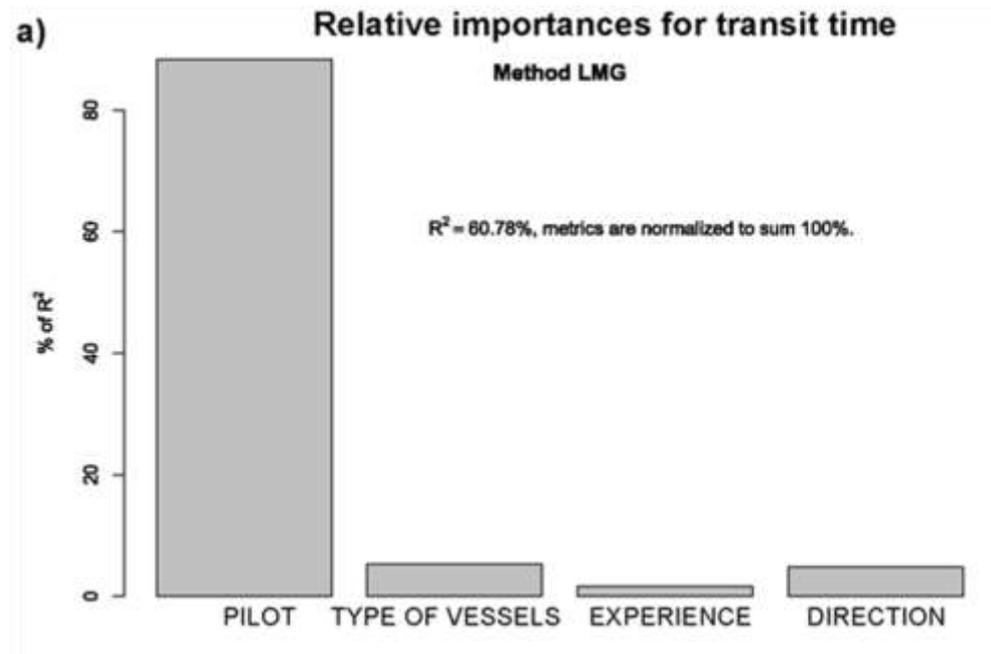
Las Secciones anteriores han demostrado que el movimiento del buque (en términos de tiempo de tránsito) está condicionado por el **piloto, tipo de buque, esclusa y dirección.**

Se presenta un modelo de regresión lineal multivariante para el tiempo de tránsito

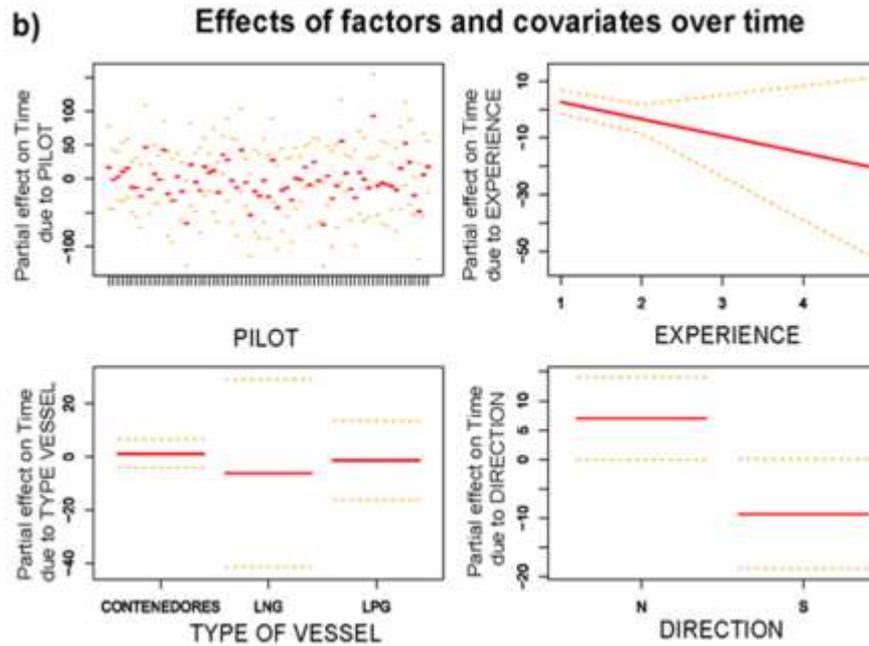
- $Time = 185.9 - 44.9Type[LNG] - 7.3Type[LPG] - 2.6Lock[Cocolí] + 9.1Direction[South] - 17.2Direction[South]:Lock[Cocolí]$

Características del modelo de regresión lineal que relaciona el tiempo de tránsito con el piloto, el tipo de buque, la experiencia del piloto y la dirección de tránsito de las esclusas **Cocolí**.

Sección (a): estimación de la influencia relativa (en% de R^2) para cada variable de regresión aplicando la métrica de LMG.



EFFECTO DE LAS COVARIABLES (piloto, el tipo de buque, la experiencia del piloto y la dirección de tránsito) SOBRE LA VARIABLE RESPUESTA TIEMPO (tiempo de tránsito) en las esclusas de Cocolí. Sección (b): Efectos parcialmente lineales del piloto, tipo de buque, experiencia piloto y dirección.



MODELO MULTIVARIANTE - expresión para estimar el tiempo de tránsito (AGUA CLARA)



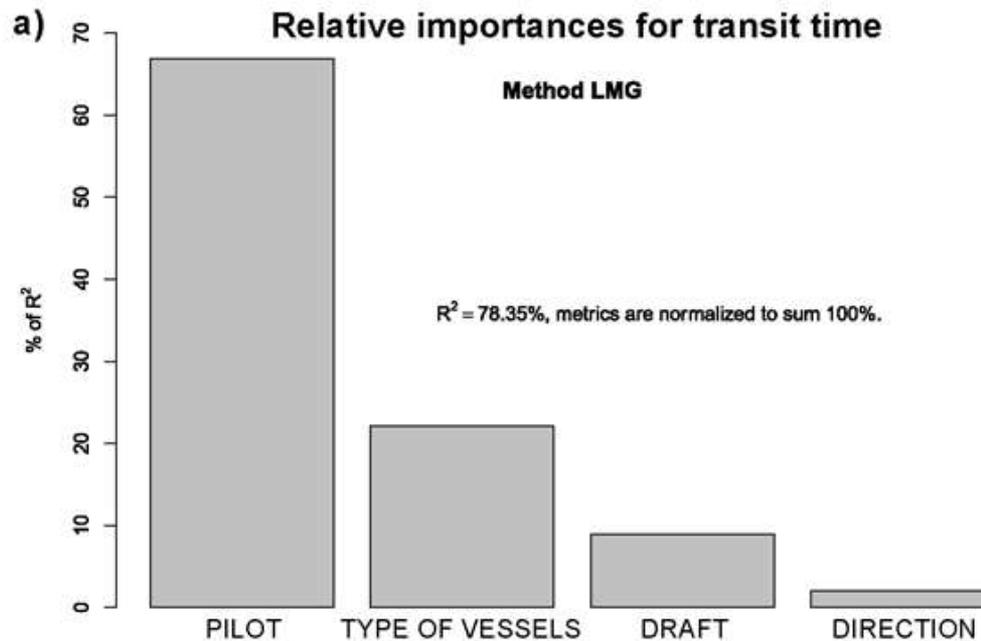
Las Secciones anteriores han demostrado que el movimiento del buque (en términos de tiempo de tránsito) está condicionado por el **piloto, tipo de buque, experiencia del piloto, calado, dirección y existencia de impulsor de proa.**

Se presenta un modelo de regresión lineal multivariante para el tiempo de tránsito

- $Time = 276.6 - 0.2458Date + 4.706Draft - 52.26Type[LNG] - 2.91Type[LPG] + 9.526Direction[South] - 17.2Bow\ propeller[Yes]$

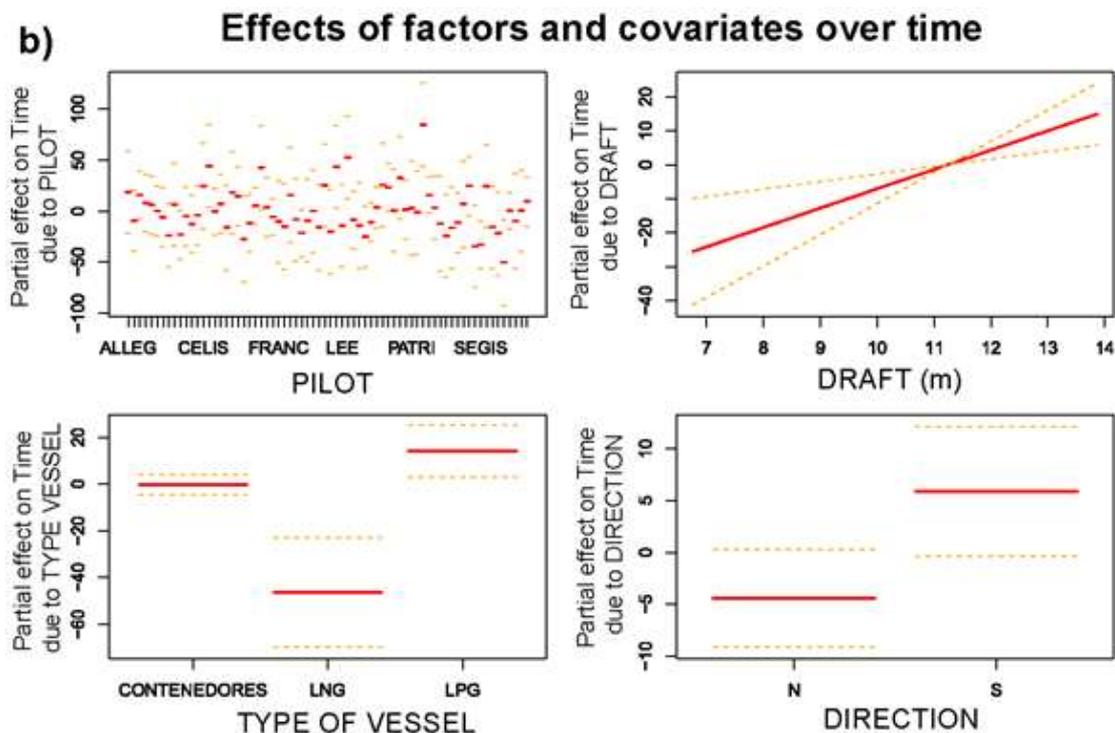
Características del modelo de regresión lineal que relaciona el tiempo de tránsito con el piloto, el tipo de buque, la experiencia piloto y la dirección de tránsito de las **esclusas de Agua Clara**.

Sección (a): estimación de la influencia relativa (en% de R²) para cada variable de regresión aplicando la métrica de LMG.



Características del modelo de regresión lineal que relaciona el tiempo de tránsito con el piloto, el tipo de buque, la experiencia piloto y la dirección de tránsito de las **esclusas de Agua Clara**. Sección (a): estimación de la influencia relativa (en% de R2) para cada variable de regresión aplicando la métrica de LMG.

Sección (b): Efectos parcialmente lineales del piloto, tipo de buque, experiencia piloto y dirección.



EFFECTO DE LA PUESTA EN SERVICIO DEL TERCER JUEGO DE ESCLUSAS DEL CANAL DE PANAMÁ SOBRE EL TAMAÑO DE TRÁNSITO DE LOS BUQUES

Luis Carral, Javier Tarrío-Saavedra, Jose-Carlos Alvarez-Feal, Salvador Naya, Rodolfo Sabonge

1,2,3,4Universidade da Coruña

5 Universidad Marítima Internacional de Panamá



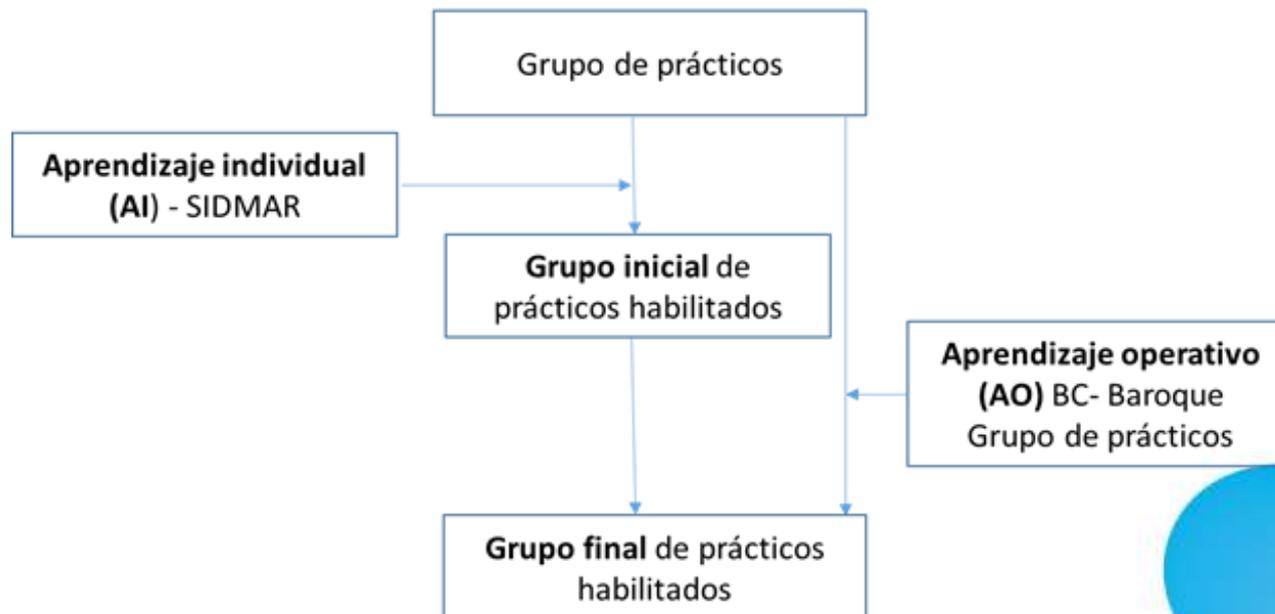
PATRÓN DE APRENDIZAJE EN EL CP.

- La **experiencia** conduce a una **reducción en el tiempo y esfuerzo requerido** – curva de aprendizaje
- Aprendizaje se divide en dos etapas; el aprendizaje **operacional** y la etapa de adquisición **rutinaria**
- **Aprendizaje operacional**- adquirir habilidades básicas
- **Aprendizaje rutinario**- organizar la operativa del trabajo
- Concepto ligado a la producción de una unidad diferenciada
- **NAVEGACIÓN**- “cada milla navegada diferente e irrepetible”
- Tránsito por un canal de peaje – sucesión de procesos repetitivos; navegación en las vías de mar, maniobras en las esclusas y tránsitos en el Corte Culebra y Lago Gatún.

- Practicaje en el Canal de Panamá-único y excepcional-piloto releva al capitán en sus funciones
- Con la apertura del Canal ampliado, se hace necesario “habilitar” pilotos para el tránsito de los Neopanamax
- Surge así un **aprendizaje operacional (de la organización)**– DETERMINAR MODELO DE CURVA
- Tras la inauguración – **aprendizaje rutinario** – CUANTIFICAR, seguimiento continuado en 36 meses de operaciones (LNG, LPG y PC), vías de navegación y esclusas

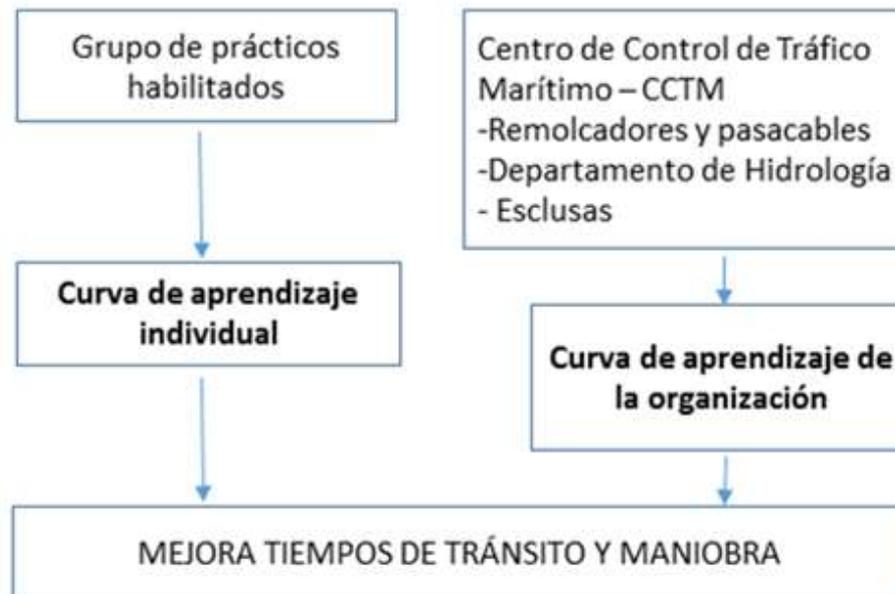
Programa de habilitación de prácticos en el Canal ampliado—Aprendizaje Operacional (AO).

PROGRAMA DE HABILITACIÓN DE PRÁCTICOS CANAL AMPLIADO - APRENDIZAJE OPERACIONAL



Aprendizaje rutinario (AR) relacionado con los tiempos de tránsito y maniobra de buques Neopanamax en el Canal ampliado

APRENDIZAJE RUTINARIO (AR) RELACIONADO CON LOS TRÁNSITOS Y MANIOBRAS DE BUQUES NEOPANAMAX



Componentes principales del Canal existente y ampliado; esclusas, canales de navegación , lagos y vías de navegación.

SECTION	Common to both				Previous Canal			Expanded Canal	
LOCKS					Gatún	Pedro Miguel	Miraflores	Cocolí	Agua Clara
NAVIGATION CHANNELS (72 KM)	Pacific channel	Gatún Lake channel	Culebra Cut channel	Atlantic Ocean channel					
LAKES	Gatún				Miraflores				
DISTANCE (KM)	1.3	45.8	12.7	3.2				5.8	3.2

Relación de espacios/actividad, y la relación con las curvas de aprendizaje. Grado de influencia sobre el tiempo en tránsito

Espacio-actividad	Curva de aprendizaje de aplicación	Grado de influencia sobre el TET	Referencia bibliográfica de aplicación
CANALES DE MAR (Pacífico y Atlántico)	<ul style="list-style-type: none"> -Aprendizaje individual pilotos -Aprendizaje organización -CCTM 	Bajo	(Carral et al, 2019 JMST)
ESCLUSAS (Cocolí y Aguas Claras)	<ul style="list-style-type: none"> -Aprendizaje individual pilotos -Aprendizaje organización -Remolcadores -Amarradores y Pasacables -Dept. Hidrología - Esclusas 	Muy Alto	(Carral et al, 2017 –JON)
VIAS NAVEGABLES (Corte Culebra y Lago Gatún)	<ul style="list-style-type: none"> -Aprendizaje individual pilotos -Aprendizaje organización -Remolcadores -CCTM 	Alto	(Carral et al, 2019-JMST)

CONTROL ESTADÍSTICO DE LA CALIDAD

- Se utilizan herramientas de control de procesos estadísticos, como son los **cuadros de control de calidad**, para identificar posibles patrones de aprendizaje en el tiempo de tránsito, l
- La **variable crítica para la calidad (CTQ)** es el tiempo de tránsito general a través del Canal.
- En cualquier caso antes es necesario identificar los factores que influyen en el tiempo en tránsito

NUEVO TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

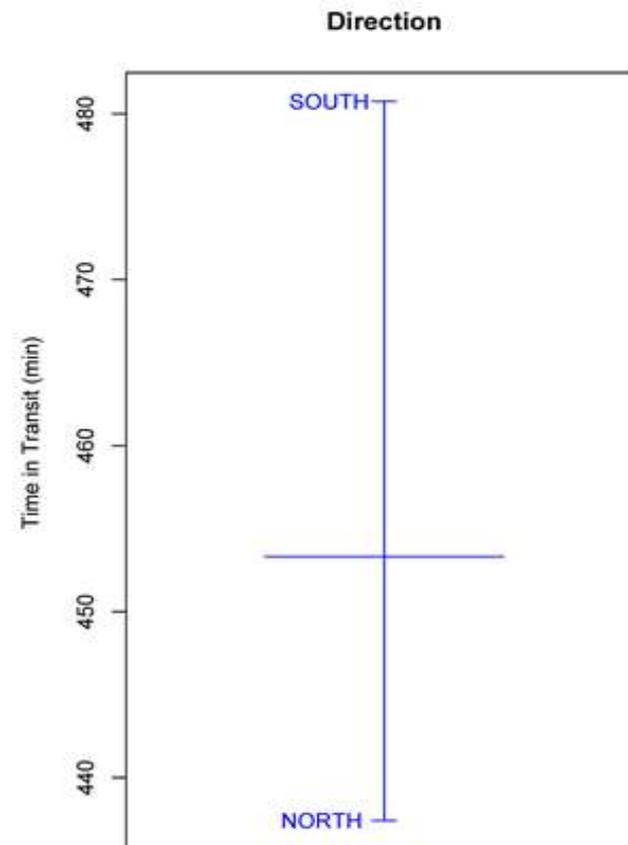
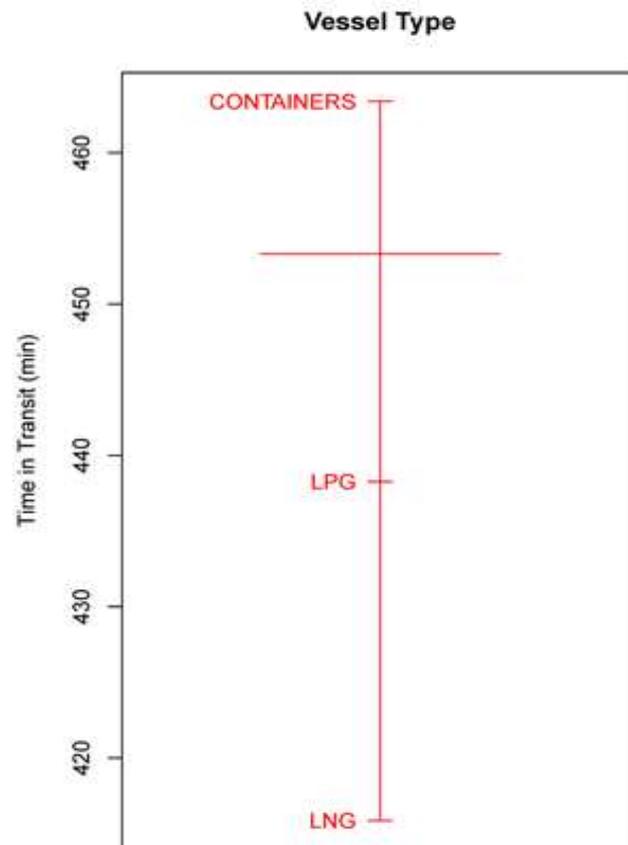
Tránsitos Neo-panamax entre 06/2016 y el 10/2017
Fechas de toma de datos 7/2016, 9/2016, 10/2016,
11/2016, 5/2017 y 10/2017

Correspondientes a 194 tránsitos norte y 115 sur.

145 PC
56 LPG
7 LNG
8 Bc
11 otros

Software estadístico R

Efecto del buque y la dirección sobre el tiempo de tránsito



ANOVA. La Tabla muestra que la dirección y el tipo de buque afectan significativamente al tiempo en tránsito (valores de $p < 0.05$)

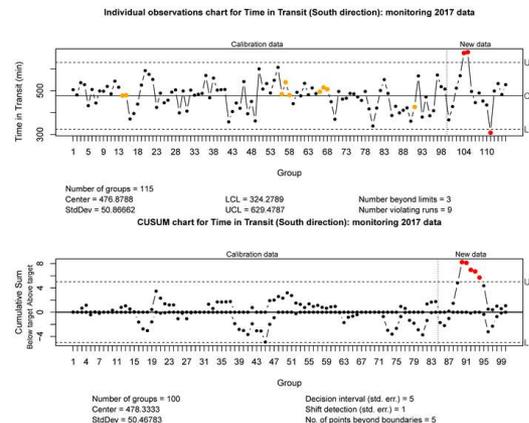
	Sum of Squares	Degrees of freedom	F statistic	p-value of F test
Direction	169211	1	39.474	0.000000001124
Vessel Type	101612	2	11.852	0.000010963409
Direction and Vessel Type interaction	3986	2	0.465	0.6286
Residuals	132885 6	310		

CUADRO DE CONTROL DE CALIDAD, VARIABLE CRÍTICA, TABLA DE CONTROL CUSUM

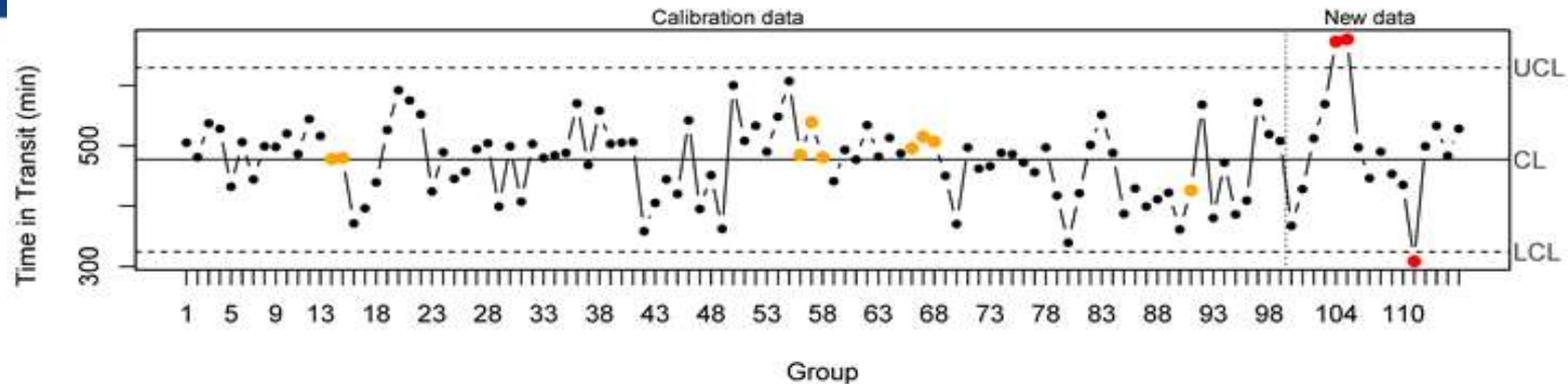
Cuadro de control para mediciones individuales de la variable crítica para la calidad (CTQ) tiempo de tránsito (última muestra)

Tabla de control CUSUM (sumas acumulativas que incorporan toda la información), correspondientes a los tiempos de tránsito en direcciones Norte y Sur.

Los límites de control (CL, UCL y LCL) se estiman asumiendo una distribución normal a partir de la muestra de calibración compuesta por las mediciones obtenidas en 2016.



Individual observations chart for Time in Transit (South direction): monitoring 2017 data

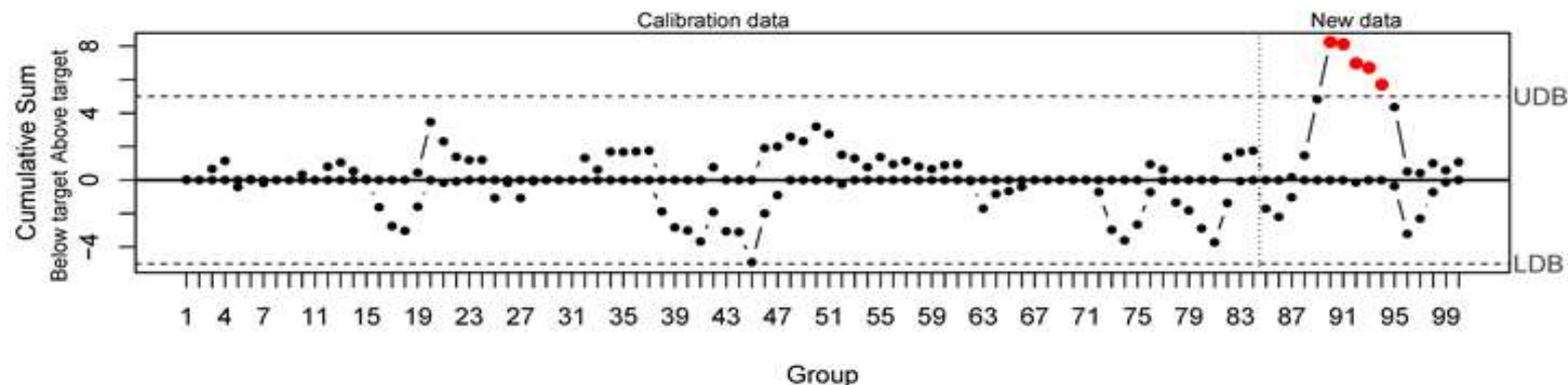


Number of groups = 115
Center = 476.8788
StdDev = 50.86662

LCL = 324.2789
UCL = 629.4787

Number beyond limits = 3
Number violating runs = 9

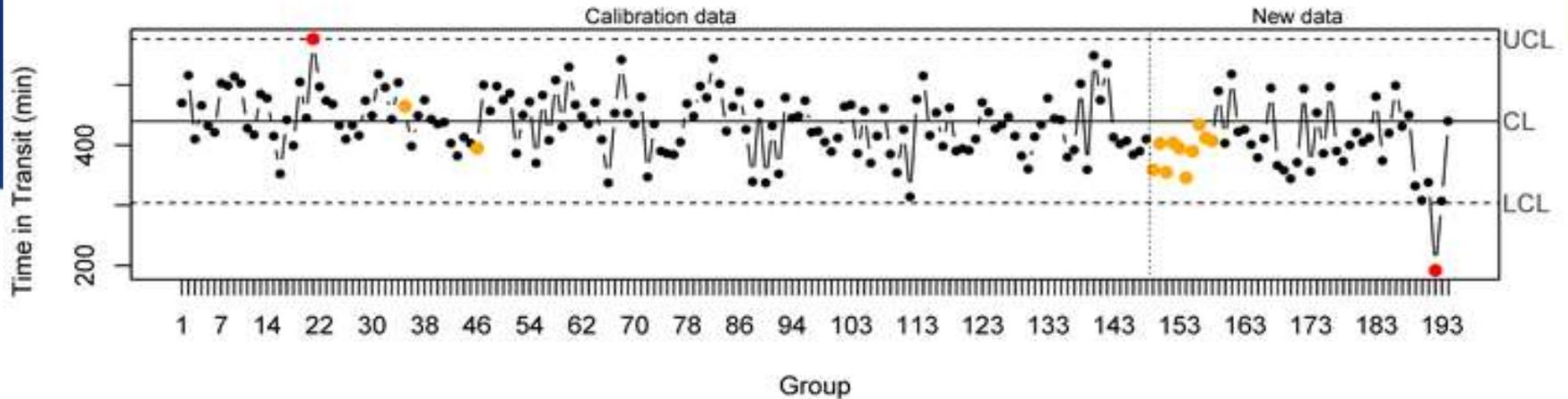
CUSUM chart for Time in Transit (South direction): monitoring 2017 data



Number of groups = 100
Center = 478.3333
StdDev = 50.46783

Decision interval (std. err.) = 5
Shift detection (std. err.) = 1
No. of points beyond boundaries = 5

Individual observations chart for Time in Transit (North direction): monitoring 2017 data

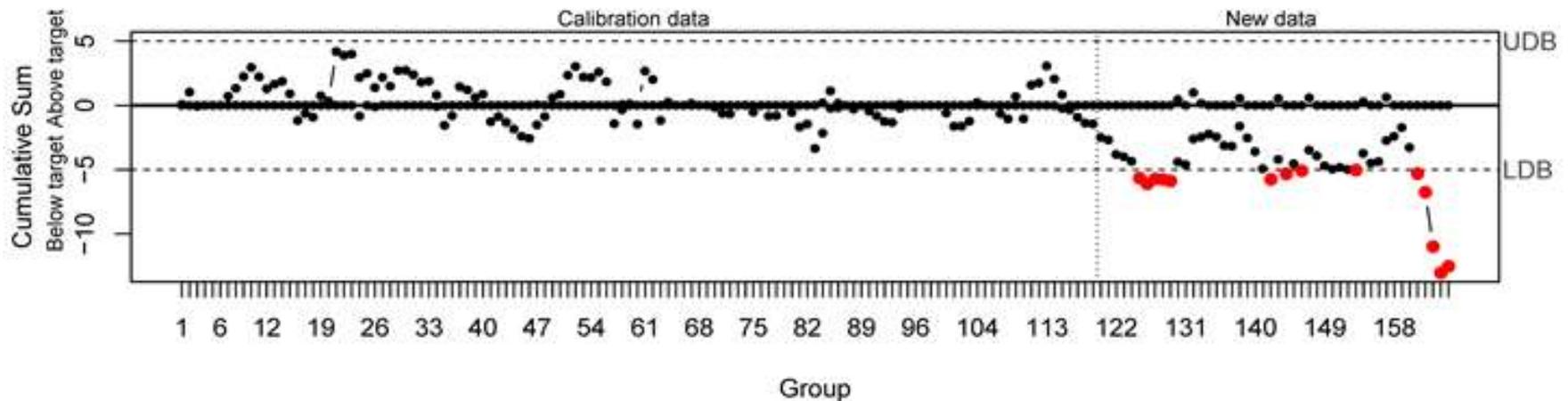


Number of groups = 194
 Center = 439.8243
 StdDev = 45.42384

LCL = 303.5528
 UCL = 576.0959

Number beyond limits = 2
 Number violating runs = 12

CUSUM chart for Time in Transit (North direction): monitoring 2017 data



Number of groups = 165
 Center = 439.8739
 StdDev = 52.42517

Decision interval (std. err.) = 5
 Shift detection (std. err.) = 1
 No. of points beyond boundaries = 14

CONTROL ESTADÍSTICO DE CALIDAD

- Los puntos amarillo y rojo indican que el proceso ha cambiado con respecto a la muestra de calibración (observaciones obtenidas en 2016) a partir de la cual se calculan los límites de control natural superior e inferior.
- Los puntos amarillos corresponden a tránsitos (más de seis puntos en un lado de la línea central) y los rojos indican que el punto está fuera de los límites de control.
- Al observar los datos nuevos correspondiente a las medidas obtenidas durante 2017, los gráficos muestran que se ha identificado un patrón de aprendizaje para el tiempo de tránsito correspondiente a la dirección Norte, mientras que no se observa una curva de aprendizaje para la dirección Sur.
- Es interesante observar que los patrones detectados para la dirección Norte se identifican en las sumas acumulativas negativas del gráfico CUSUM, es decir, el tiempo en tránsito está disminuyendo con respecto al tiempo transcurrido desde la apertura del CP ampliado.
- El cambio levemente gradual en el proceso de tránsito se puede observar de una manera más adecuada por medio de la tabla CUSUM.

MODELO DE REGRESIÓN MULTIVARIANTE

- El siguiente paso es **modelar la relación entre el tiempo en tránsito (CTQ) y las variables independientes**. Teniendo en cuenta la naturaleza de los efectos de las variables sobre la respuesta, **se aplica un modelo de regresión multivariante**.
- ANOVA demostró que la **dirección y el tipo de buque** deben incluirse en el modelo.
- Además son potenciales variables las dimensiones del buque, por lo que también se incluye la **eslora (LOA)**.
- Finalmente, el **tiempo transcurrido desde la apertura** de la PC ampliada se incluye teniendo en cuenta que el objetivo de este trabajo es modelar el efecto de aprendizaje de la PC.

Modelo matemático usado para aproximar la relación de dependencia entre la variable tiempo de tránsito y las variables independientes. Análisis de la varianza basado en la distribución t - student

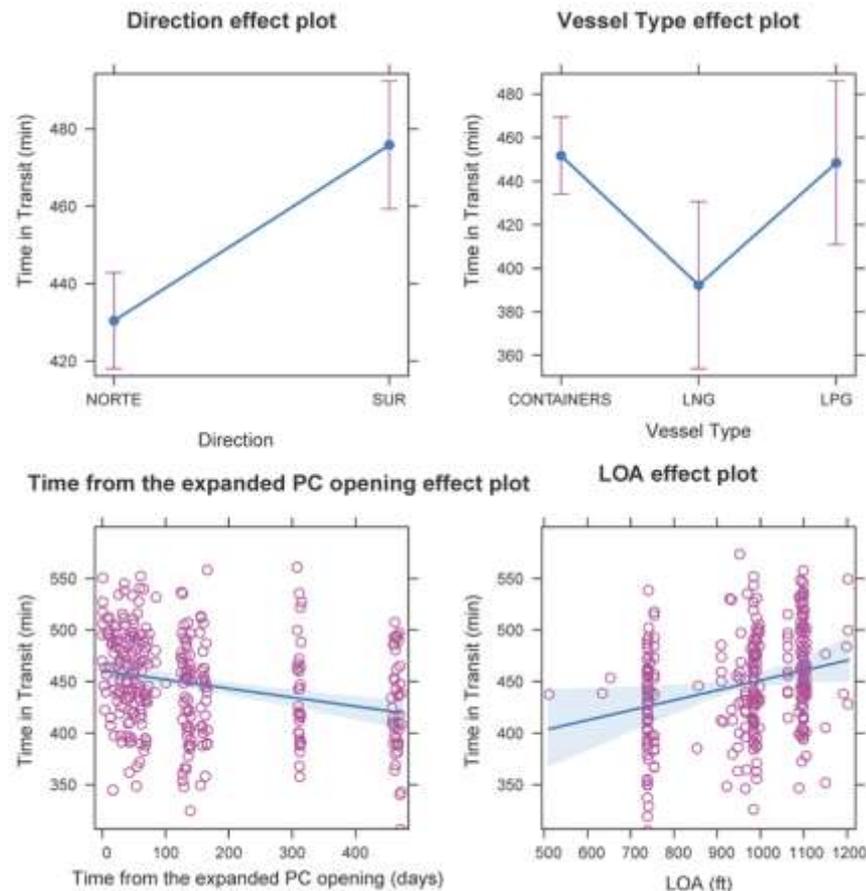
	Estimates	Standard error	t value	p-value of t test
(Intercept)	356.4	44.58	7.995	2.98e-14
Direction[SOUTH]	45.43	5.842	7.776	1.27e-13
Vessel Type[LNG]	-5.952	11.95	-4.980	1.09e-06
Vessel Type[LPG]	-3.315	14.19	-0.234	0.8154
Time from the expanded PC opening	-0.086	0.019	-4.631	5.47e-06
LOA	0.097	0.042	2.274	0.0237

La estimación del modelo es:

- x1 tiempo transcurrido desde la apertura,
- x2 eslora- LOA,
- x3 variable dicotómica dirección Sur,
- x4 tipo de buque LNG,
- x5 tipo de buque LPG.

- $\hat{y} = 356.4 - 0.086x_1 + 0.097x_2 + 45.43x_3 - 5.952x_4 - 3.315x_5$, with $R^2 = 0.32$,

Intervalos de confianza simultáneos para varios factores. El procedimiento de Hotelling-Scheffé determina la banda de confianza para toda la recta de regresión.

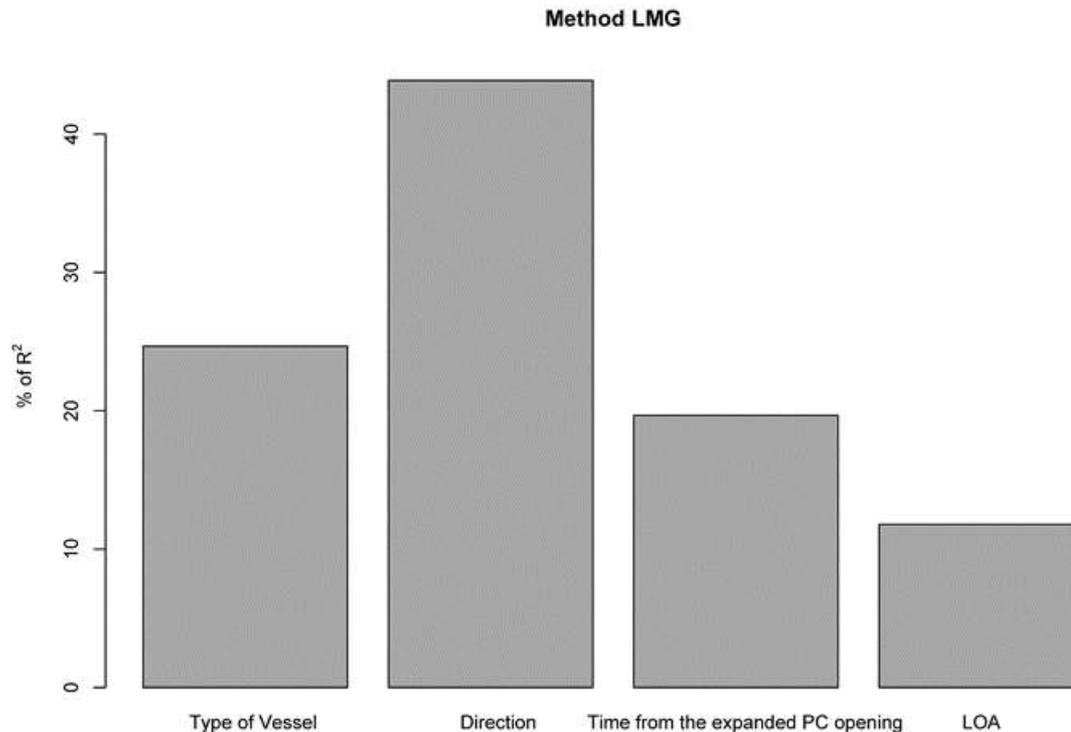


CALIDAD DEL MODELO PROPUESTO I

- La **variabilidad explicada** del modelo representa el 32% del total.
- La **variabilidad no explicada** puede estar relacionada con otras variables que no se miden en este estudio, como las **variables meteorológicas, las corrientes, las diferentes habilidades de los pilotos de PC**, entre otras.
- En cualquier caso, el objetivo de este trabajo es **modelar la curva de aprendizaje** y esto se ha logrado utilizando este modelo.
- Es decir, por cada día adicional transcurrido desde la apertura del Canal ampliado, **el tiempo de tránsito se ha reducido de forma constante en 0.086 minutos**.
- Por lo tanto, **los planes de aprendizaje de ACP (Autoridad del Canal)** han proporcionado resultados positivos.

Importancia relativa de cada covariable que predice el resultado final de la variable respuesta “tiempo de tránsito” en términos de porcentaje del cuadrado del coef. De correlación de Pearson. Métrica LMG

Relative importances of predictors for Time in Transit



$R^2 = 32\%$, metrics are normalized to sum 100%.

CALIDAD DEL MODELO PROPUESTO II

- Además se pueden observar los efectos de la **eslora** (el tiempo en tránsito aumenta 0.097 min por cada pie de adición), **el tipo de barco y la dirección**.
- Finalmente, **la contribución del efecto de aprendizaje a la variabilidad explicada por el modelo es aproximadamente el 20%**, como lo muestra el estudio de contribución R2
- Teniendo en cuenta los planes de aprendizaje continuo implementados por la ACP y la experiencia cada vez mayor de los pilotos y personal restante, **se espera una disminución continua del tiempo de tránsito**.

CONCLUSIONES

- Se han introducido las **curvas de aprendizaje del pilotaje** y se considera posible su estimación.
- Se puede hacer teniendo en cuenta que el proceso de **pilotaje de CP es un caso especial** del campo del transporte marítimo donde el servicio / producto final es el resultado de maniobras repetitivas.
- En este estudio, la **variable que define la calidad de un tránsito es el tiempo de tránsito** de cada buque.
- Se han aplicado **técnicas estadísticas de control de calidad** al tiempo de tránsito de un buque (compuesto por el tiempo de esclusaje y el tiempo empleado para cruzar el lago Gatún y el Corte Culebra) para **identificar posibles patrones de aprendizaje** y, además, para estimar los **modelos de regresión** estadística que mejor los expliquen.
- Se realizó un estudio **ANOVA** para identificar de qué variables depende el tiempo en tránsito. Como resultado, hemos identificado que el **tipo de buque y la dirección de tránsito** a través de la CP afectan significativamente.

- Los **patrones de aprendizaje se han identificado mediante cuadros de control de calidad y de control CUSUM**. El tiempo de tránsito disminuye ligeramente si las mediciones observadas en
- Esos patrones se identifican más claramente mediante el uso de los cuadros de control de CUSUM, **por lo que el cambio del proceso es pequeño** y gradual.
- **Se ha identificado un patrón de aprendizaje cuando la dirección de tránsito es de Sur a Norte, es decir, de Pacífico a Atlántico**. Sin embargo, no hay una curva de aprendizaje clara cuando se estudia la forma de tránsito de Norte a Sur.
- Se ha estimado que los **modelos de regresión lineal multivariante explican la variación temporal en el tiempo del tránsito** (expresado como los días transcurridos desde la apertura del Canal ampliado).
- Además, el **tipo de buque (LNG, LPG y contenedores) y la dirección de tránsito se incluyen en el modelo** debido a que influyen sobre la variable respuesta - tiempo en tránsito.
- También es importante destacar que **el modelo multivariante explica el 32% del tiempo total en la variabilidad del tránsito, donde el efecto de aprendizaje representa el 20%**.
- La **variabilidad no explicada podría estar relacionada con causas estacionales y meteorológicas, además de las diferentes habilidades de los pilotos**.



Colombia
mar 2019