

# Avaluació i perspectives futures de l'efecte del canvi climàtic sobre el Canal de Panamà

Treball Final de Grau



Facultat de Nàutica de Barcelona  
Universitat Politècnica de Catalunya

Treball realitzat per:  
**ORIOLO MORENO MONTEYS**

Dirigit per:  
**XAVIER MARTINEZ DE OSÉS**

Grau en Nàutica i Transport Marítim

Barcelona, 30 de maig de 2020

Departament de Ciències i Enginyeria Nàutica



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA  
BARCELONATECH  
Facultat de Nàutica de Barcelona







## Agraïments

M'agradaria donar les gràcies a totes aquelles persones que m'han donat suport mentre estava realitzant aquest treball. Especial menció al meu tutor Xavier Martínez de Osés, que m'ha ajudat en tot moment tot i la complicada situació que s'ha viscut mentre l'estava redactant.



## Resum

El canal de Panamà es podria definir com un dels nodes del transport marítim de mercaderies de llarga distància més importants a nivell mundial, ja que permet un gran trànsit diari d'embarcacions que realitzen rutes entre continents. Des de la seva construcció ha tingut una gran influència en l'evolució del transport marítim en aspectes que van des de la planificació de les rutes fins al disseny de les embarcacions.

Tot i això, en els últims anys el canvi climàtic ha començat a afectar notablement el clima a nivell mundial, el que ha fet que sigui necessari replantejar el futur de les instal·lacions que depenen de medis naturals per funcionar, i el canal és una d'elles.

Aquest TFG neix amb la idea d'estudiar de manera específica com el canvi climàtic afectarà el canal, quan tardarà a fer-ho i quines mesures es poden prendre per evitar-ho.

## **Abstract**

Panama Canal could be defined as one of the most important points of the long distance maritime transport, due to the big daily traffic of ships that sail between continents. Since its construction it has influenced a lot of aspects of the maritime transport, like the planning of commercial routes or the design of new vessels.

However, in the last years the climate change has started to affect noticeably the weather worldwide, making necessary a rethinking of the future of the installations that depend on natural elements, and the canal is one of them.

This end-of-degree project is born from the idea of making a study of how the climate change will affect the functioning of the canal, how long will it take until we see this changes and how it can be prevented.



# TAULA DE CONTINGUTS

<b>AGRAÏMENTS</b> .....	<b>III</b>
<b>RESUM</b> .....	<b>V</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>VI</b>
<b>TAULA DE CONTINGUTS</b> .....	<b>VII</b>
<b>LLISTAT DE FIGURES</b> .....	<b>IX</b>
<b>LLISTAT DE TAULES</b> .....	<b>XI</b>
<b>INTRODUCCIÓ</b> .....	<b>1</b>
<b>BLOC 1: HISTÒRIA I FUNCIONAMENT DEL CANAL</b> .....	<b>1</b>
<b>1.1 HISTÒRIA DEL CANAL</b> .....	<b>1</b>
1.1.1 INTRODUCCIÓ .....	1
1.1.2 PRIMERES RUTES.....	1
1.1.3 CONSTRUCCIÓ: EL PROJECTE FRANCÈS .....	3
1.1.4 CONSTRUCCIÓ: EL PROJECTE AMERICÀ .....	5
<b>1.2 CARACTERÍSTIQUES I DIFERENTS PARTS DEL CANAL ANTIC</b> .....	<b>6</b>
1.2.1 LES ENCLUSES.....	6
1.2.2 COMPORTES .....	9
1.2.3 LOCOMOTORES O MULES.....	10
1.2.4 CARACTERÍSTIQUES DE SEGURETAT .....	11
1.2.5 CONTROLS.....	13
<b>1.3 PROCEDIMENT PER PASSAR PEL CANAL</b> .....	<b>13</b>
1.3.1 ASSIGNACIÓ D'UN PRÀCTIC .....	13
1.3.2 AJUDA DELS REMOLCADORS .....	14
1.3.3 ENTRADA A L'ESTRUCTURA DEL CANAL .....	15
1.3.4 L'ENCLUSA DE GATÚN.....	16
1.3.5 EL LLAC DE GATÚN .....	17
1.3.6 L'ENCLUSA DE PEDRO MIGUEL .....	18
1.3.7 EL LLAC DE MIRAFLORES.....	19
1.3.8 L'ENCLUSA DE MIRAFLORES .....	19
1.3.9 ENTRADA AL PACÍFIC .....	20
<b>1.4 ECONOMIA DEL CANAL</b> .....	<b>22</b>

1.4.1	IMPACTE .....	22
1.4.2	VAIXELLS PANAMAX .....	24
1.4.3	VAIXELLS POST-PANAMAX .....	25
<b>1.5</b>	<b>AMPLIACIÓ DEL CANAL.....</b>	<b>25</b>
1.5.1	NOVES ENCLUSES.....	25
1.5.2	TINES DE REUTILITZACIÓ .....	27
1.5.3	CONSEQÜÈNCIES.....	28
<b>BLOC 2: CLIMATOLOGIA I DISPONIBILITAT D'AIGUA.....</b>		<b>29</b>
<b>2.1</b>	<b>CLIMA DE LA ZONA DEL CANAL.....</b>	<b>29</b>
2.1.1	ZONA DE CONVERGÈNCIA INTERTROPICAL (ZCIT) .....	29
2.1.2	CLASSIFICACIÓ DE LES REGIONS DEL TERRITORI EN FUNCIÓ DE LA PLUJA .....	30
<b>2.2</b>	<b>PRINCIPALS APORTADORS D'AIGUA AL CANAL .....</b>	<b>35</b>
2.2.1	LLAC DE GATÚN.....	35
2.2.2	LAGO DE ALAJUELA .....	36
2.2.3	RIU CHAGRES .....	36
<b>2.3</b>	<b>ESTUDI DE L'AIGUA DISPONIBLE .....</b>	<b>37</b>
<b>2.4</b>	<b>ALTRES FACTORS QUE AFECTEN LA QUANTITAT D'AIGUA DISPONIBLE.....</b>	<b>42</b>
2.4.1	EL NIÑO.....	42
2.4.2	TEMPESTES TROPICALS.....	44
2.4.3	RELACIÓ ENTRE ENSO I LES TEMPESTES TROPICALS .....	44
<b>2.5</b>	<b>RESTRICCIONS I MESURES PER ESTALVIAR AIGUA .....</b>	<b>45</b>
<b>2.6</b>	<b>POSSIBLES MESURES PER RECICLAR L'AIGUA UTILITZADA .....</b>	<b>47</b>
<b>BLOC 3: ALTERNATIVES PROPOSADES .....</b>		<b>53</b>
<b>3.1</b>	<b>RECONDUIR L'AIGUA UTILITZADA AL LLAC DE GATÚN .....</b>	<b>53</b>
3.1.1	AVANTATGES .....	55
3.1.2	INCONVENIENT.....	55
<b>3.2</b>	<b>OMPLIR EL LLAC DE GATÚN AMB AIGUA DE MAR.....</b>	<b>56</b>
3.2.1	AVANTATGES .....	56
3.2.2	INCONVENIENT.....	58
<b>3.3</b>	<b>PREVISIÓ DE COSTOS.....</b>	<b>58</b>
<b>CONCLUSIONS.....</b>		<b>63</b>
<b>BIBLIOGRAFIA .....</b>		<b>65</b>

## Llistat de Figures

**Figura 1:** Ferrocarril que transportava mercaderies entre el mar del Carib i l'oceà Pacífic a través de l'istme de Panamà – Font: [www.panamaviejaescuela.com](http://www.panamaviejaescuela.com)

**Figura 2:** Treballadors de la construcció del canal – Font: [www.supercurioso.com](http://www.supercurioso.com)

**Figura 3:** Construcció de les parets de les encluses – Font: [www.todocuba.com](http://www.todocuba.com)

**Figura 4:** Vaixell a vapor Ancón, oficialment el primer en recórrer tot el canal el 15 d'Agost de 1914 – Font: [www.tourhistoria.com](http://www.tourhistoria.com)

**Figura 5:** Esquema encluses del canal – Font: [docplayer.es/20827641-Diseno-y-construccion-del-tercer-juego-de-esclusas-canal-de-panama.html](http://docplayer.es/20827641-Diseno-y-construccion-del-tercer-juego-de-esclusas-canal-de-panama.html)

**Figura 6:** Enclusa de Gatún – Font: [wikipedia.com](http://wikipedia.com)

**Figura 7:** Enclusa de Miraflores – Font: [miguipanamama.com](http://miguipanamama.com)

**Figura 8:** Comportes enclusa de Gatún – Font: [wikimedia.com](http://wikimedia.com)

**Figura 9:** Locomotores del canal – Font: [iims.org.uk](http://iims.org.uk)

**Figura 10:** Comportes de l'enclusa de Miraflores – Font: [es-centralamerica-photo.com](http://es-centralamerica-photo.com)

**Figura 11:** Sala de controls de les encluses – Font: [tvn-2.com](http://tvn-2.com)

**Figura 12:** Pràctic pujant a bord d'un vaixell – Font: [elcapitalfinanciero.com](http://elcapitalfinanciero.com)

**Figura 13:** Il·lustració de remolcadors ajudant a mantenir el rumb d'un vaixell – Font: [youtube.com](http://youtube.com)

**Figura 14:** Il·lustració de un vaixell escortat per remolcadors entrant a l'estructura del canal – Font: [youtube.com](http://youtube.com)

**Figura 15:** Fotografia d'una locomotora ajudant a un vaixell – Font: [pinterest.co.uk](http://pinterest.co.uk)

**Figura 16:** Il·lustracions que mostren el funcionament de l'enclusa de Gatún – Font: [youtube.com](http://youtube.com)

**Figura 17:** Fotografia d'un vaixell navegant pel Corte Culebra – Font: [panamacanalpanama.com](http://panamacanalpanama.com)

**Figura 18:** Il·lustració del funcionament de l'enclusa de Pedro Miguel – Font: [youtube.com](http://youtube.com)

**Figura 19:** Fotografia que mostra l'enclusa de Pedro Miguel, amb el llac de Miraflores al fons – Font: [tripadvisor.com](http://tripadvisor.com)

**Figura 20:** Il·lustració del funcionament de l'enclusa de Miraflores – Font: [youtube.com](http://youtube.com)

**Figura 21:** Il·lustració d'un vaixell sortint del canal cap a l'oceà Pacífic – Font: [youtube.com](http://youtube.com)

**Figura 22:** Mapa del Canal de Panamà, identificant els punts més importants - Font: [wikipedia.org](http://wikipedia.org)

**Figura 23:** Gràfica que ens mostra les tonelades de mercaderies transportades pel canal entre 1917 i 2009 – Font: [idealista.com](http://idealista.com)

**Figura 24:** Il·lustració d'una de les càmeres del canal antic – Font: [eoi.es](http://eoi.es)

**Figura 25:** Il·lustració de les càmeres del canal ampliat – Font: [eoi.es](http://eoi.es)

**Figura 26:** Il·lustració d'una de les encluses del canal ampliat – Font: [ampliaciondelcanaldepanama.blogspot.com](http://ampliaciondelcanaldepanama.blogspot.com)

**Figura 27:** Fotografia aèria on es veuen les encluses de Gatún i Agua Clara – Font: [humiclima.com](http://humiclima.com)

**Figura 28:** Il·lustració que mostra la ZCIT durant l'estiu austral i l'estiu boreal – Font: [wikipedia.org](http://wikipedia.org)

**Figura 29:** Mapa que mostra les 6 regions climàtiques de Panamà – Font: [cathalac.int](http://cathalac.int)

**Figura 30:** Gràfica que mostra les mitjanes mensuals de precipitacions de la Regió del Carib Occidental entre el 1981 i el 2014 – Font: [cathalac.int](http://cathalac.int)

**Figura 31:** Gràfica que mostra les mitjanes mensuals de precipitacions de la Regió del Pacífic Occidental entre el 1981 i el 2014 – Font: [cathalac.int](http://cathalac.int)

**Figura 32:** Gràfica que mostra les mitjanes mensuals de precipitacions de la Regió del Pacífic Central entre el 1981 i el 2014 – Font: [cathalac.int](http://cathalac.int)

**Figura 33:** Gràfica que mostra les mitjanes mensuals de precipitacions de la Regió Central entre el 1981 i el 2014 – Font: [cathalac.int](http://cathalac.int)

**Figura 34:** Gràfica que mostra les mitjanes mensuals de precipitacions de la Regió del Pacífic Oriental entre el 1981 i el 2014 – Font: [cathalac.int](http://cathalac.int)

**Figura 35:** Gràfica que mostra les mitjanes mensuals de precipitacions de la Regió del Carib Oriental entre el 1981 i el 2014 – Font: [cathalac.int](http://cathalac.int)

**Figura 36:** Gràfica que compara la mitjana anual de cabal que arriba al Llac d'Alajuela amb la mitjana històrica (comptabilitzada a partir del 1934) – Font: Pròpia

**Figura 37:** Gràfica que compara la mitjana anual de cabal que arriba al Llac de Gatún amb la mitjana històrica (comptabilitzada a partir del 1934) – Font: Pròpia

**Figura 38:** Gràfica que compara la mitjana anual de cabal que arriba a la conca hidrogràfica del Canal de Panamà amb la mitjana històrica (comptabilitzada a partir del 1934) – Font: Pròpia

**Figura 39:** Gràfica que ens mostra la previsió del fenomen de El Niño i La Niña durant la temporada de tempestes tropicals del 2020 – Font: IRI (International Research Institute of Climate and Society).

**Figura 40:** Distància que hauria de tenir el conducte que transporti l'aigua des del riu Bayano fins al Llac d'Alajuela – Font: Pròpia

**Figura 41:** Fotografia de la planta dessaladora del Prat de Llobregat – Font: [atl.cat](http://atl.cat)

## Llistat de Taules

**Taula 1:** Mitjana històrica (1981-2014) de dies de pluja mensuals en funció de la regió climàtica – Font: catalac.int

**Taula 2:** Comparació de cabal anual amb el cabal històric d'aigua que arriba al llac d'Alajuela – Font: Pròpia.

**Taula 3:** Comparació de cabal anual amb el cabal històric d'aigua que arriba al llac de Gatún – Font: Pròpia.

**Taula 4:** Comparació de cabal anual amb el cabal històric d'aigua que arriba a la conca hidrogràfica del Canal de Panamà – Font: Pròpia.

**Taula 5:** Temperatures mensuals i anuals de la conca hidrogràfica del Canal de Panamà entre els anys 2011 i 2019 – Font: Pròpia.

**Taula 6:** Anys en que s'ha produït el fenomen El Niño, i intensitat que ha tingut – Font: Pròpia



## Introducció

L'objectiu principal d'aquest treball té relació en l'estudi de l'efecte que el canvi climàtic pugui arribar a tenir en el futur funcionament d'un dels nodes més importants pel transport marítim, el canal de Panamà; estudiant possibles mesures per a evitar-lo. Per aconseguir-ho, m'he proposat 3 objectius: Conèixer amb profunditat el funcionament del canal, estudiar la situació climàtica de la zona i proposar una possible solució.

Per fer-ho he estructurat el treball en tres blocs principals, que ens serviran per analitzar aquest problema i poder trobar una solució realista.

El primer bloc es podria definir com la part més tècnica del treball. Al principi hi ha un petit resum de la història del canal, on es parla de tots els motius que van impulsar la seva construcció, els governs que es van implicar en el projecte i el procés que es va dur a terme per poder-lo realitzar.

A continuació he fet una descripció de tots els diferents elements que formen el canal, explicant com es van construir, les seves característiques i el seu funcionament, per després explicar detalladament el procés que fa una embarcació per creuar el canal des de l'oceà Atlàntic fins al Pacífic.

Finalment es fa un breu resum de l'economia del canal, explicant com la mida de les encluses ha arribat a afectar les mides de les embarcacions i els motius que van impulsar a fer una ampliació per permetre el pas d'embarcacions de mides superiors.

En el segon bloc es parla més concretament de com s'aconsegueix l'aigua que utilitza el canal per funcionar, i si en un futur n'hi haurà suficient. Per fer-ho primer fem una petita introducció del clima de Panamà, parlant de la zona on es troba i la quantitat de precipitacions que hi ha en funció del mes de l'any.

Després veiem els principals llacs on s'emmagatzema l'aigua que s'utilitza per fer funcionar el canal, i fem un petit estudi dels últims anys per veure si la quantitat d'aigua és suficient o si tindrem un dèficit. També es parla d'altres factors que poden interferir en l'arribada d'aigua a aquests llacs, i les mesures que es prenen en períodes de sequera per intentar reduir al màxim el consum. Finalment, veiem les diferents opcions que s'estan tenint en compte per aconseguir tenir més aigua en un futur, veient els inconvenients que podria tenir la realització d'alguna d'elles.

Per acabar, en el tercer bloc, proposo dues alternatives a les opcions comentades anteriorment, les quals podrien solucionar el problema del dèficit d'aigua. D'aquesta manera a més de la part de recerca també hi ha un toc personal en aquest treball de fi de grau.





# BLOC 1: HISTÒRIA I FUNCIONAMENT DEL CANAL

## 1.1 HISTÒRIA DEL CANAL

### 1.1.1 Introducció

El segle XIX va ser una de les èpoques amb més millores i avanços tècnics i tecnològics de la història, que permetien construir aparells els quals anys abans ningú s'havia imaginat que mai podrien existir, com ara el telèfon, el vehicle elèctric o la locomotora. A part d'aquests invents, també va millorar exponencialment el sector de la construcció, fent possible dissenyar i construir estructures molt superiors a les que hi havia fins aleshores.

Una d'aquestes estructures, la qual encara avui en dia es considera de les millors i més espectaculars de l'era tecnològica, és el Canal de Panamà. Aquest canal permet que els vaixells passin del mar del Carib a l'Oceà Pacífic i viceversa, travessant Amèrica Central. D'aquesta manera no cal donar la volta per tot el continent, el que suposaria un gran augment dels costos del viatge.

Com es pot deduir, la indústria naviliera sempre ha estat relacionada amb aquest canal, ja que per la seva localització és clau a l'hora de traçar rutes comercials. Per tant, tot el funcionament del canal va lligat a com evolucionen els vaixells, quines són les seves dimensions o la càrrega que porten. A més, passar pel canal els hi suposa un estalvi de diners i de temps, cosa que els hi interessa molt perquè avui en dia el transport en general és molt ràpid i qualsevol tipus de demora els hi suposa pèrdues econòmiques.

### 1.1.2 Primeres rutes

Ja abans de l'arribada dels europeus, l'istme de Panamà ja era utilitzat pels natius americans per transportar mercaderies del Pacífic al mar del Carib. És per això que ja havien construït camins i rutes que facilitessin aquest transport.

Des de l'arribada dels espanyols al segle XV aquestes rutes no van fer res més que millorar. Colón ja va navegar per Centre-Amèrica buscant una ruta de pas, però no va ser fins el 1514 quan l'explorador espanyol Vasco Núñez de Balboa va construir una ruta que permetia transportar vaixells des de Santa Maria la Antigua del Darien, a la costa del mar del Carib, fins a San Miguel, en el Pacífic. Tot i això, aquest recorregut que feia uns 55 kilòmetres va ser abandonat perquè no sortia a compte transportar tot el vaixell sencer al llarg de tanta distància.

Al 1515, el capità Antonio Tello de Guzmán va descobrir un dels camins utilitzats pels natius que anava des del golf de Panamà, al Pacífic, fins al mar del Carib. Aquest camí es va pavimentar i millorar, permetent el transport de mercaderies de manera relativament còmode. Es va arribar a convertir en el camí real, i

s'utilitzava bàsicament per transportar l'or fins a la ciutat de Portobelo i des d'allà enviar-lo a Espanya. D'aquesta manera, aquest camí es va convertir en la primera gran ruta que travessava l'istme.

Anys més tard, al 1520, Fernando de Magallanes va trobar un pas que permetia el pas entre els dos oceans, i el va anomenar Estret de Magallanes. Tot i això, la perillositat que tenia aquesta travessia va fer que sorgís la necessitat de trobar altres rutes que permetessin no haver de navegar fins gairebé la punta més meridional del continent americà.

Per tant, al 1524 el rei Carles I va suggerir excavar un canal per fer els viatges més curts i a més poder evitar el Cap d'Hornos, sobretot per la seva perillositat, ja que les condicions meteorològiques, havien provocat la pèrdua de diversos vaixells amb carregaments d'or en aquella zona.

Es van fer diversos projectes, però la tecnologia de l'època i la inestabilitat política ho va fer inviable. No va ser fins 1533 quan Gaspar de Espinosa, un dels colons més rics i influents de Panamà va suggerir al Consell de Índies la creació d'un pla alternatiu. La seva idea era fer un camí des de la ciutat de Panamà fins a la ciutat de Cruces, situada al riu Chagres. D'aquesta manera, els vaixells arribarien a Panamà, portarien la càrrega pel camí, i a través del riu arribarien al mar del Carib.

Encara que Espinosa va morir abans de la construcció del seu projecte, el camí es va realitzar, anomenant-se camí de las Cruces. Aquesta construcció va fer que la zona s'enriquís gràcies al trànsit de vaixells, cosa que afavoria el comerç i l'intercanvi i millorava la qualitat de vida de la gent que hi vivia. Un dels exemples és la famosa Feria de Portobelo, que es va dur a terme durant segles.

Anys més tard, al 1550, Antonio Galvao, un navegant portuguès, va pensar que un canal que creués tot l'istme i que desemboqués directament a l'altre oceà seria molt millor. Tot i això, al principi la corona espanyola no l'hi va donar importància, i quan finalment ho va fer se'ls hi va aconsellar que desestimessin la proposta perquè la diferència d'altura dels oceans podria danyar les terres que posseïen els espanyols.

Anys més tard van arribar els escocesos amb la intenció de establir una colònia i tirar endavant un projecte que comunicés els dos oceans, però el bloqueig dels espanyols, les malalties i la mala planificació va fer que la majoria morissin i abandonessin el projecte.

Cap a principis del Segle XIX, es va decidir que el camí de Las Cruces no era suficient per abraçar tot el comerç de la zona, i es va veure la necessitat de construir un mètode més ràpid i menys costós pel transport a través de l'istme. Com que la construcció del canal encara era inviable, es va decidir construir un ferrocarril.

El projecte es va construir entre 1850 i 1855, i anava des de Colón, al Carib, fins a Panamà, al Pacífic. El tram tenia 75 km de longitud, i va representar una obra mestra d'enginyeria per l'època. Tot i això, les difícils condicions van fer que més de 10.000 persones morissin en la construcció, la majoria per malalties.

Aquest ferrocarril va transportar un gran volum de càrrega, sobretot minerals, i va resultar clau en la primera construcció del canal, ja que també va transportar gran part dels materials utilitzats.

No va ser fins al S.XIX quan es va començar a donar prioritat a escala mundial per construir un canal, el qual es va decidir que fos a Nicaragua perquè l'altura semblant dels dos oceans n'afavoria la construcció. Tot i això, per causes i desacords polítics no es va tirar endavant, encara que en l'actualitat s'ha tornat a donar importància al projecte.

La següent opció era que el canal passés per Panamà, i va ser l'enginyer Ferdinand de Lesseps qui va fer el primer projecte d'excavació del canal de com el coneixem avui en dia. A més, cap a finals del segle XIX el projecte ja era tecnològicament viable, i les pressions comercials van fer que encara s'hi donés més importància.



FIGURA 1

### 1.1.3 Construcció: El projecte francès

El primer pas per realitzar la construcció el van donar els francesos, als quals la República de la Nueva Granada, l'actual Colòmbia, els hi va donar una concessió al 1839 per establir una línia de comunicació des de la ciutat de Panamà fins a qualsevol punt de la costa atlàntica.

França va realitzar uns estudis del terreny per veure si la construcció es podia dur a terme, i els resultats van ser suficientment bons com perquè el primer ministre, en aquella època Guizot, enviés un oficial anomenat Napoleón Garella per verificar-ho. Tot i els bons auguris, Napoleón va decidir que la dificultat era excessiva i que el més probable era que l'empresa fracassés, el que va fer que el govern es desinteressés pel projecte i que l'empresa que l'havia de dur a terme renunciés.

Tot i això, el projecte es va mantenir a l'aire durant uns anys, i entre 1850 i 1875 es van fer diversos estudis buscant la ruta òptima on construir el canal. Però no va ser fins 1879 quan el francès Ferdinand de Lesseps,

arquitecte del canal de Suez, va presentar a la Societat Geogràfica Francesa un projecte que unia l'oceà Pacífic amb l'oceà Atlàntic a través de l'istme de Panamà mitjançant un canal interoceànic sense encluses.

El projecte es va acceptar, i es van comprar els drets de concessió necessaris per la construcció del canal per una xifra de 600 milions de francs. Es va fundar una companyia, la Compagnie Universelle du Canal Interoceanique de Panama, amb l'objectiu de recaptar fons per poder dur a terme el projecte.

Lesseps va viatjar a Panamà al 1879 per començar les obres, però no van començar fins el 1881 després que els Nord-americans comunicessin que s'oposarien a la construcció del projecte.



FIGURA 2

Els treballadors es van haver d'enfrontar a nombroses dificultats que feien que la duresa de la feina augmentés exponencialment, com el terreny accidentat, les epidèmies de malària o febre groga i les dures condicions climatològiques. Tot això va suposar que nombrosos treballadors morissin mentre es portava a terme la construcció.

Totes aquestes adversitats van fer que les obres s'endarrerissin, i Lesseps va haver de demanar ajuda a petits inversors que van subornar a la premsa, ministres i parlamentaris perquè no els hi retiressin el finançament públic. Tota aquesta corrupció es va acabar descobrint, i el cas es va anomenar *escàndol de Panamà*.

La situació es va donar a conèixer, i Gustave Eiffel, gran arquitecte de l'època, va recomanar l'ús d'encluses per adaptar l'obra al relleu de la regió. Tot i que la idea era no utilitzar encluses, es van trobar que el massís de la Culebra obligava a excavar una trinxera molt profunda en un terreny costós, i per tant van decidir que implementarien les encluses al disseny inicial.

Això va fer que l'empresa s'estalviés molts diners, i cap al 1886 les obres avançaven satisfactòriament. Tot i això, diversos factors es van posar en contra seu, trencant la bona dinàmica que portaven. Per començar, hi va haver un terratrèmol que va fer que es paralizessin les obres durant un temps, ja que el ferrocarril va quedar inoperatiu. A més, els opositors de Lesseps van anar agafant força, i els dubtes sobre l'èxit de l'empresa es van anar escampant per França. Això va suposar un cop molt dur, ja que al 1888 els diners

públics es van acabar, i això va suposar la paralització total de l'obra. Lesseps es va veure obligat a abandonar el projecte, cosa que va resultar el final del que s'havia anomenat canal francès.

Després de la fallida de Lesseps al 1889, el comandament de la construcció el va assumir Philippe-Jean Bunau-Varilla, però sense suport econòmic es va acabar dirigint al govern d'Estats Units, disposat a vendre els drets d'exploració i construcció del canal i el seu control absolut.

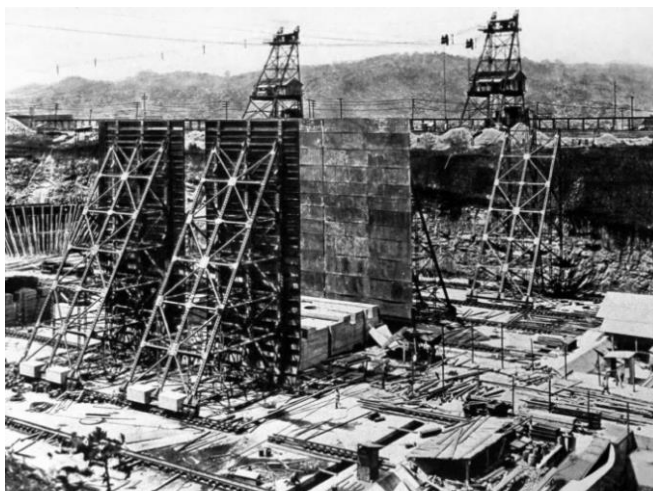


FIGURA 3

#### 1.1.4 Construcció: El projecte americà

Estats Units, en aquella època necessitava una ruta a través d'Amèrica Central pel transport de mercaderies que fos ràpida i sobretot segura, ja que es transportaven grans quantitats de minerals. Un d'aquests minerals i el més preuat era l'or, ja que en l'anomenada "febre de l'or" milers d'estatunidencs es van desplaçar fins aquella zona buscant-ne. A més, s'estalviaven donar la volta al continent, cosa que suposava un viatge de més de 12000 milles i passar pel Cab d'Hornos, conegut pel seu alt nivell de perillositat.

És per això que des del primer moment es van mostrar molt interessats amb l'oferta, i el president Roosevelt va fer que es votés al senat si construir una ruta que passés per Panamà o una altra a través de Nicaragua. La votació va estar molt igualada, però es va acabar decantant per Panamà.

La operació es va validar mitjançant el tractat Hay-Bunau-Varilla, el qual es va firmar el 18 de novembre de 1903, just després de la revolució que va acabar separant Panamà de Colòmbia.

Aquest tractat concedia a Estats Units els drets del canal a perpetuïtat, més 8 kilòmetres a cada banda. Estats Units va haver de pagar una suma de 10 milions de dòlars a Panamà, i una renda anual de 250.000 dòlars. Les obres es van continuar, però igual que els francesos es van trobar amb nombroses dificultats.

Per començar, les epidèmies van fer que molts treballadors morissin, i encara que es va intentar que es vacunessin abans d'arribar a Panamà, la sol·licitud va ser denegada. A més, es va intentar que tinguessin habitatges còmodes mentre durava la construcció, cosa que va suposar una gran despesa. Tot i això, els americans van saber afrontar les dificultats i van tirar endavant el projecte.

Les obres es van poder finalitzar, i el 7 de gener de 1914 la grua flotant Alexander La Valle va creuar el canal completament. Tot i això, no va ser fins el 15 d'agost d'aquell mateix any quan es va inaugurar oficialment amb el nom de Canal de Panamà. Des d'aquell dia s'iniciaven les operacions les 24 hores del dia, per poder abraçar la gran demanda de vaixells que volien passar-hi.



FIGURA 4

## 1.2 CARACTERÍSTIQUES I DIFERENTS PARTS DEL CANAL ANTIC

### 1.2.1 Les encluses

Al llarg del canal hi ha 3 conjunts d'encluses, dividits en 6 etapes. Des del Pacífic fins al Ilac de Gatún, tenim dos etapes a l'enclusa de Miraflores i una a la de Pedro Miguel, mentre que de l'Atlàntic al Ilac n'hi ha tres a l'enclusa de Gatún. Aquests sistemes al estar formats per 2 càmeres paral·leles, permeten el pas de 2 vaixells alhora. Els vaixells no necessàriament han d'anar en la mateixa direcció; pot estar un pujant i l'altre baixant. Tot i això, a la pràctica els vaixells de grans dimensions no es poden creuar amb seguretat en el Corte de la Culebra, i per tant s'intenten evitar aquestes situacions.

Les càmeres tenen una amplada de 33,5 metres, i una longitud de 320. Tot i això, la longitud útil és de 305 metres. Aquestes mesures són les que en coneixen com a Panamax, que és la dimensió màxima que pot tenir una embarcació per cabre a l'enclusa. La elevació total de les tres etapes de l'enclusa de Gatún és de 25,9 metres, mentre que per l'altra banda les dos etapes de l'enclusa de Miraflores pugen un total de 16,5 metres i la de Pedro Miguel 9,5 metres, sumant els gairebé 26 metres totals que cal pujar.

Tot i això, degut a les fortes mareas de l'oceà Pacífic, l'elevació de l'enclusa de Miraflores pot variar des dels 13,1 metres fins els 19,7. Per la banda de l'Atlàntic, les variacions per la marea són molt dèbils i no es tenen en compte.

Aquestes càmeres estan formades a partir de formigó armat. Les parets laterals tenen una grossor de entre 13,7 i 15,2 metres per la part de baix, i es van afinant fins a arribar als 2,4 de la part de dalt on es

requereix menys resistència. Les parets del centre, que separen les càmeres, tenen 18,3 metres d'espessor uniformes.

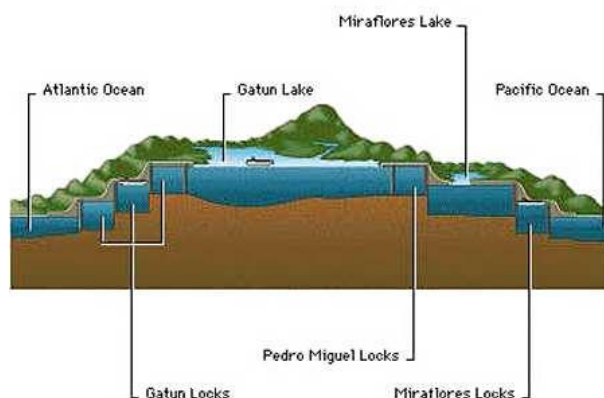


FIGURA 5

Al seu moment, aquestes encluses van ser considerades com una de les obres d'enginyeria més impressionants de l'època, ja que no hi havia cap construcció de les mateixes característiques fins que es va fer la represa Hoover, construïda a la dècada del 1930.

El procés de construcció de les encluses va començar amb la de Gatún, el 24 d'agost de 1909. Es va construir en un turó en un costat del llac, després d'haver excavat 3.800.000 m<sup>3</sup> de terra i roca, i es van necessitar 1.564.400 m<sup>3</sup> de formigó armat.

La gran quantitat de material utilitzat en el procediment de construcció de les encluses va fer que es necessitessin grans esplanades de terra per poder manipular la pedra i el ciment. En el cas de l'enclusa de Gatún, la pedra procedia de la ciutat de Portobelo, mentre que per les encluses de la banda l'oceà Pacífic s'utilitzava pedra que s'havia extret d'un turó dels voltants anomenat Ancón.

Per transportar el formigó des de Portobelo fins a Gatún, es va construir una mena de funicular de càrrega. Aquest funicular constava de torres de 26 metres d'altura i cables d'acer de 6 cm de diàmetre, i podien transportar fins a 6 tones de formigó armat juntes. A més, es va construir una xarxa de ferrocarrils elèctrics que portaven material com pedra, sorra o ciment des dels ports fins als mescladors de formigó. Des d'aquests mescladors, amb un altre tren, es portaven uns recipients que podien portar un total de 12 tones fins als funiculars, els quals els portaven fins a l'obra.

En el cas de les encluses de Pedro Miguel i Miraflores no es va necessitar tanta infraestructura, ja que eren més petites i no tant complexes, però igualment utilitzaven un sistema semblant format per grues i locomotores que funcionaven amb vapor.

Per mollejar el formigó es va utilitzar la tècnica de l'encofrat, consistent en posar-lo dins unes estructures semblant a uns motlles que li donen forma mentre aquest s'asseca. Normalment es fan amb fusta, però les grans dimensions dels blocs va fer que aquests motlles fossin més grans i resistents que els convencionals.

Aquests motlles consistien en unes torres, una davant de l'altra, amb les fulles verticals d'uns 19 cm de gruixària. Aquestes fulles estaven instal·lades sobre uns carrils que permetien que una vegada un bloc estava sec, es movia el mateix motlle i s'utilitzava per fer un altre bloc. D'aquesta manera es podien construir les parets de les encluses en diferents seccions.

Aquests motlles eren fets d'acer i eren plegables, per facilitar-ne el transport fins a la zona on s'hagués de fer la següent secció. Cada una de les seccions construïda feia 23,8 metres d'altura i 11 metres de base quadrada.

També s'utilitzaven motlles per fer els orificis o desaigües que deixaven passar l'aigua, i se'n van utilitzar un total de 33 pels orificis centrals i del flanc i 100 més pels desaigües laterals.

Les primeres encluses en ser acabades van ser les del Pacífic; primer la de Pedro Miguel al 1911 i després la de Miraflores al 1913. Més tard, a finals del 1913 es va acabar la de Gatún, amb el primer assaig exitós per part del remolcador d'altura Gatún, tot i que les vàlvules es van controlar manualment ja que encara no n'havia acabat de construir completament la sala de control de l'enclusa.

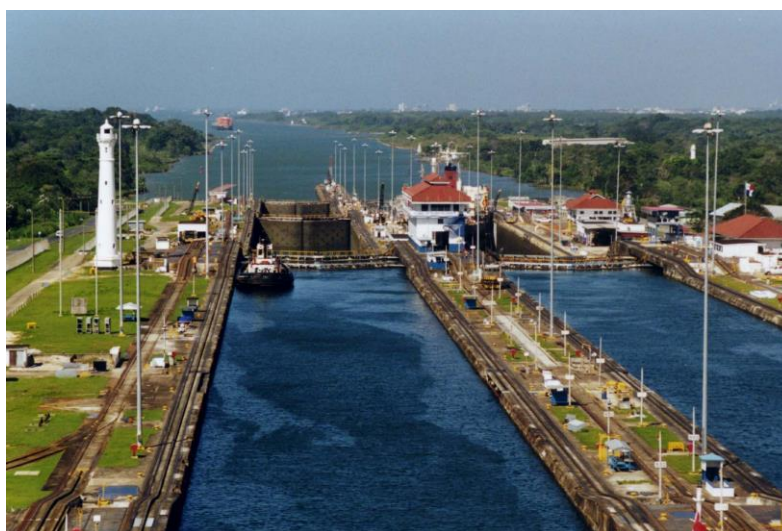


FIGURA 6

Cada càmera requereix un volum de 101.000 m<sup>3</sup> d'aigua per què s'ompli completament. Aquesta mateixa quantitat és la que es necessita drenar perquè la càmera torni a baixar. A les parets dels costats i del centre es troben tres grans orificis encarregats de portar l'aigua del llac a la càmera, i de la càmera a la



càmera inferior o al mar. Cada un d'aquests orificis té un diàmetre de 6,71 metres a l'entrada i 5,49 metres a la sortida.

A part d'aquests orificis, a cada càmera hi ha 14 embornals, 7 a la paret lateral i 7 a la paret central. L'aigua es mou per gravetat, i es controla mitjançant unes vàlvules instal·lades en els embornals. Cada embornal es controla de manera totalment independent als altres. Una càmera tarda uns 8 minuts en omplir-se completament, durant els quals es produeixen grans turbulències.



FIGURA 7

### 1.2.2 Comportes

Les comportes que separen les diferents càmeres han de suportar un considerable pes d'aigua, i han de ser robustes i fiables per tal d'evitar qualsevol tipus d'accident. Qualsevol error en una comporta podria provocar una fatal inundació canal avall, amb les conseqüències que això podria suposar.

Aquestes comportes tenen unes grans dimensions, d'entre 14 i 25 metres d'altura depenent de la situació. Les més altes es troben a l'enclusa de Miraflores, ja que és on es troben les mareas més pronunciades i per tant es necessita que aguantin més aigua.

Cada comporta està formada per dos fulles paral·leles, de 19,8 metres cada una. Tenen una forma de V, amb el vèrtex situat contracorrent per poder exercir més força i aguantar millor el pes. Les fulles més pesades arriben a les 662 tones, i les frontisses pesen cada una 16,7 tones.

Al principi, aquestes comportes funcionaven mitjançant un gran rodet impulsor, que funcionava gràcies a un motor elèctric. Aquest rodet anava connectat a una biela enganxada al centre de la porta, i d'aquesta manera mitjançant el motor la porta s'obria i es tancava.

Després de 84 anys fent servir aquest sistema, al 1998 els rodetes van ser substituïts per puntals hidràulics. Actualment, les portes són buides per dins, com el buc d'un vaixell, i es mouen mitjançant dos motors de 25 cavalls, suficients per moure cada fulla de la comporta. En cas de que un motor d'aquests fallés, l'altre encara seria capaç de tancar la comporta a velocitat reduïda, el que fa que incrementi la seguretat.

Cada càmera també conté una comporta auxiliar de les mateixes característiques que les anteriors, amb l'objectiu de dividir la càmera en dos parts iguals. D'aquesta manera, si s'ha de pujar o baixar una embarcació petita no cal omplir tota la càmera d'aigua.

Originalment, aquest sistema es va fer perquè la majoria de les embarcacions feien menys de 200 metres, i per tant poques vegades havien d'omplir del tot la càmera. Tot i això, avui en dia aquestes comportes s'utilitzen molt poc, ja que la indústria naval ha apostat per vaixells molt més grans que fa uns anys. A més, les embarcacions petites com embarcacions turístiques o remolcadors viatgen en grup, per tant s'ha d'omplir la càmera al complet.



FIGURA 8

### **1.2.3 Locomotores o mules**

Ja quan es va planificar la construcció del canal, es va decidir que per seguretat els vaixells anirien sempre dirigits mentre estiguessin dintre de la càmera de l'enclusa. El sistema encarregat de dirigir les naus serien unes locomotores elèctriques de remolc, també anomenades mules, que estarien situades sobre les

parets laterals de les càmeres. Aquestes locomotores permeten el control lateral i el control de frenada del vaixell, però la força de propulsió la segueix fent la maquinària del propi vaixell.

El procediment a seguir consisteix en que quan un vaixell s'acosta a la càmera, primer s'aixeca fins a l'altura de les locomotores, i aquestes n'agafen el control. En el cas d'un vaixell de grans dimensions, s'utilitzen fins a vuit locomotores, dos per cada banda a l'altura de la proa i dos per cada banda a l'altura de la popa. D'aquesta manera s'assumeix el control de la nau de manera precisa.

Les mules es desplacen sobre uns rails situats a la part superior de les parets de les càmeres. Cada una disposa d'un potent motor, i la porta un conductor que s'encarrega de portar l'embarcació endavant o de retenir-la, sempre mantenint-lo centrat respecte la càmera inclús mentre es desplaça.

Els vaixells gran tenen molt poc marge d'error, ja que només hi ha uns 60 cm d'espai fins a la paret. Això requereix una gran habilitat per part dels operadors encarregats de controlar la nau.

En el cas d'embarcacions més petites, enlloc de les locomotores s'utilitzen uns cables manejats manualment pels operaris de la barca.



FIGURA 9

#### 1.2.4 Característiques de seguretat

La seguretat és molt important, ja que qualsevol error podria resultar catastròfic. Per exemple, si un vaixell xoqués contra una de les comportes d'una enclusa, l'aigua s'escaparia i podria arribar a inundar les terres de més avall, ja que aniria drenant del llac sense res que la frenés.

Per tant, per garantir un nivell més alt de seguretat s'ha fet que totes les comportes de les càmeres superiors de cada enclusa siguin dobles. Per tant, és gairebé impossible que es puguin xafar i deixar escapar l'aigua, ja que a cada tram d'encluses hi ha una comporta extra de seguretat. A més, hi ha unes portes addicionals a 21 metres de les comportes en funcionament, per ser tancades en cas d'emergència.

Originalment també hi havia instal·lades unes cadenes a les encluses que eren desplegades per tal d'evitar que un vaixell perdés el control i arribés a xocar contra la comporta. Una vegada el vaixell havia parat, s'abaixaven fins a l'altura del terra perquè la nau pogués transitar sense problemes. Aquestes cadenes eren suficientment resistents com per frenar completament un vaixell de 10.000 tones.

Tot i això, amb la implementació de les mules aquestes cadenes van començar a resultar obsoletes. Les dimensions dels vaixells van anar creixent, i com que la majoria eren de més de 60.000 tones, les cadenes resultaven inútils. A més, afegint-hi l'alt cost de manteniment es va decidir que es deixarien d'utilitzar. Al 1976 es van començar a retirar, i al 1980 ja s'havien tret completament.

A part d'aquests sistemes, el disseny original de les càmeres també implementava unes barreres de seguretat que es podien desplaçar a través de les encluses des de l'extrem superior de cada paret lateral, construint barreres de balanceig. Aquestes barreres estaven formades per planxes d'acer, les quals baixaven fins el terra i bloquejaven el flux d'aigua. Per comprovar que funcionessin en cas d'emergència, es feien proves mensualment.

Tot i això, al llarg dels últims 30 anys aquestes barreres es van anar substituint per unes de més modernes, amb la ranura de la part inferior més ampla, el que significava que podien aguantar més aigua.

Aquestes més noves també es van anar retirant a finals de la dècada de 1980, i actualment s'han suprimit del tot. Per tant, en l'actualitat ja no hi ha aquest sistema de barreres per casos d'emergència.



FIGURA 10

### 1.2.5 Controls

Com que tot el funcionament del canal funciona de manera elèctrica, el procediment de desplaçar les naus cap amunt o cap avall del canal es pot controlar des d'una sala central de control, situada a la paret superior de l'enclusa. Aquests controls van ser dissenyats des de l'inici de la construcció perquè fossin molt intuïtius, i amb l'objectiu de minimitzar al màxim els possibles errors humans dels operadors.

En aquesta sala hi ha un model complet de l'enclusa, amb tots els elements mòbils que reflecteixen amb precisió l'estat real de les comportes de l'enclusa i les diferents vàlvules. D'aquesta manera l'operador pot veure l'estat real de tots els elements de l'enclusa i saber quin és el següent pas que ha de fer.

A més, en aquests controls hi ha instal·lats uns dispositius mecànics de seguretat que fan que no puguis accionar cap component si un altre està en una posició incorrecta. Per exemple, si la comporta està oberta, l'operari no podrà accionar la vàlvula de drenatge de la càmera perquè aquest sistema li ho impedirà.



FIGURA 11

## 1.3 PROCEDIMENT PER PASSAR PEL CANAL

### 1.3.1 Assignació d'un pràctic

Per creuar el canal de Panamà, amb qualsevol tipus d'embarcació, el primer que cal fer és acostar-se pel carril marcat amb boies vermelles i verdes. És important mantenir un ordre, ja que en aquella zona hi ha una gran acumulació de vaixells que volen crear el canal i si no es respecten les normes podrien haver-hi accidents.

El canal està obert a qualsevol tipus d'embarcació, sigui un veler d'esbarjo o un mercant de una gran eslora. En cas que el vaixell tingui unes dimensions considerables, s'assignarà un pràctic per poder fer tot el tram de manera segura.

En certs casos, si l'embarcació està molt al límit de les màximes dimensions permeses per creuar el canal o es considera d'un alt grau de perillositat, es podrien arribar a assignar dos pràctics enlloc d'un, per poder garantir la seguretat del vaixell i el canal durant la travessia.

Cal pensar que qualsevol error, per petit que sigui, podria causar grans danys a les estructures del canal, suposant uns elevats costos per arreglar-ho. A més, també es podria danyar el vaixell causant de l'accident i altres embarcacions que estiguin gaire a prop seu en aquell moment. Això faria que es paralitzés el trànsit del canal durant un temps, afectant directament al comerç marítim mundial.

Hi ha certs casos en els que es permet que una embarcació de grans dimensions pugui creuar el canal sense l'ajuda d'un pràctic. Quan un capità ha creuat un determinat nombre de vegades el canal, es considera que ja és capaç de fer tot el recorregut sense l'ajuda d'un pràctic, i se l'hi atorga un certificat d'exempció que li permet escollir si sol·licita l'ajut d'un pràctic o no.



FIGURA 12

### **1.3.2 Ajuda dels remolcadors**

Una vegada el vaixell està suficientment a prop del canal, és molt important mantenir un rumb molt precís per tal d'entrar de manera correcta. Com hem dit abans, qualsevol error per mínim que sigui podria causar grans danys i per això s'han implementat el màxim nombre de mesures de seguretat possibles.

L'ajuda dels remolcadors és una altra d'aquestes mesures de seguretat. La seva feina consisteix en ajudar-te a mantenir el rumb correctament, i a fer maniobres complicades en un espai petit les quals el vaixell no podria realitzar per si sol per qüestions de disseny.

El nombre de remolcadors varia depenent les dimensions de l'embarcació i la seva capacitat de maniobra. Hi pot haver des d'embarcacions petites, que no necessiten l'ajut d'un remolcador, fins a embarcacions de grans dimensions a les quals se les hi assignen fins a 4 remolcadors.

EL nombre de remolcadors els determina la direcció del canal, però si el pràctic veu que els que l'hi ha assignat no són suficients, pot requerir que n'hi enviïn més.

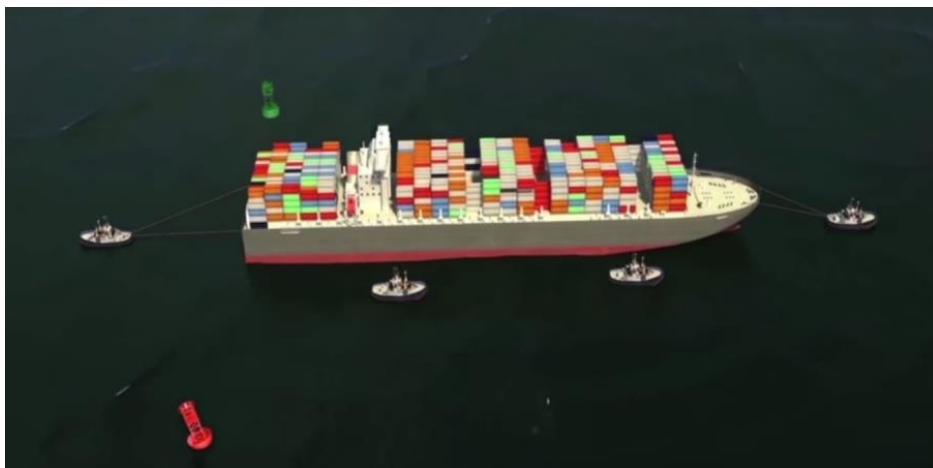


FIGURA 13

### 1.3.3 Entrada a l'estructura del canal

Una vegada ja ha pujat a bord el pràctic i es tenen els remolcadors enganxats, el següent pas consisteix en entrar dins el canal i les seves infraestructures. En cas que s'hagi entrat per la banda de l'Atlàntic, o Mar del Carib, el primer que has de fer és acostar-te a l'enclusa de Gatún, la més gran de les tres.

Durant el recorregut que va des de l'Atlàntic fins a la primera càmera, els remolcadors van deixant anar el vaixell, fins que a l'entrada de la càmera només queden els imprescindibles. Això ho fan bàsicament per qüestions d'espai, ja que el vaixell i els remolcadors no caben en un espai tant reduït. Una vegada arriben a l'enclusa, els remolcadors restants es substitueixen completament les locomotores o mules.



FIGURA 14

Les locomotores tenen un abast màxim d'una enclusa, el que significa que cada cop que una embarcació ha passat l'última càmera, les locomotores la deixen anar i a la següent enclusa l'embarcació s'agafa a unes altres locomotores.

Igual que amb els remolcadors, el nombre de locomotores que s'utilitzen varia del tamany del vaixell. Els més petits no en fan servir cap, mentre que els més grans poden arribar a requerir fins a 8 locomotores. Antigament se'n requerien més, però el fet que n'hagin anant instal·lant cada vegada de més potents ha fet que el seu nombre disminueixi.



FIGURA 15

#### 1.3.4 L'enclusa de Gatún

Si s'entra el canal des de la banda de l'Atlàntic, la primera que es trobarà serà l'enclusa de Gatún. Aquesta enclusa és la més gran, ja que conté tres càmeres i puja les embarcacions des del nivell del mar fins al Lago Gatún, situat uns 26 metres més amunt.

Els 101.000 metres cúbics d'aigua que es necessiten per omplir completament la càmera, arriben mitjançant un sistema de tuberies i vàlvules que s'obren i es tanquen. Com que en omplir una càmera es tarden uns 8 minuts, per pujar l'enclusa de Gatún una embarcació s'ha d'esperar gairebé mitja hora només en esperar que s'omplin les tres càmeres.

El sistema que utilitzen les càmeres per pujar les embarcacions és senzill. Primer la primera càmera baixa el nivell de l'aigua fins el nivell del mar, per tal que l'embarcació hi pugui entrar. Després, una vegada es tanquen les comportes, el nivell de la primera càmera puja mentre el de la segona baixa, fins a arribar al mateix nivell. Una vegada el vaixell està a la segona càmera, el procediment és el mateix: el nivell de la segona puja fins a arribar al de la tercera. Finalment, quan l'embarcació està a la tercera càmera, el nivell puja fins a arribar al del llac de Gatún, i permetre que pugui continuar la travessia.





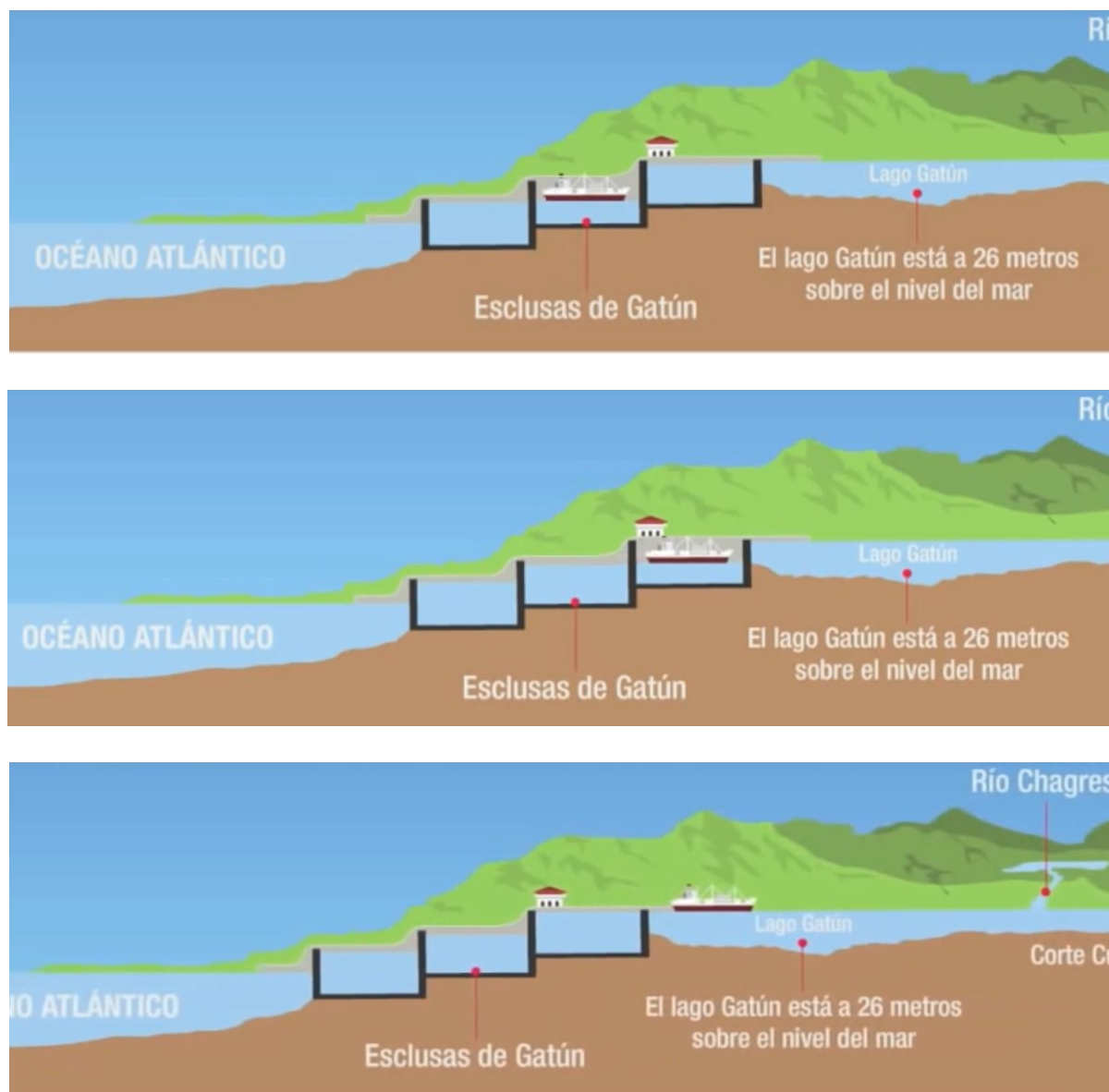


FIGURA 16

### 1.3.5 El llac de Gatún

Una vegada hem pujat les tres etapes de l'enclusa de Gatún, s'arriba al llac. Aquest llac navegable permet que els vaixells circulin per anar des de les encluses de la banda del Pacífic fins a les de la banda de l'Atlàntic, o al revés.

Aquest llac es va crear de forma artificial, inundant una gran superfície de terra amb l'aigua del riu Chagres. Per fer-ho, es va construir una gran presa anomenada represa de Gatún, la qual va ser la més gran del moment. Un dels inconvenients de ser artificial és que les petites muntanyes que hi havia en aquell moment es van convertir en illes, el que fa que només es pugui circular per una ruta perfectament establerta per tal de evitar qualsevol tipus de problema.

Els vaixells han de navegar un total de 33 quilòmetres per aquest llac, fins a arribar a l'anomenat Corte Culebra. El Corte Culebra és una vall artificial de uns 13 quilòmetres que va ser excavada durant la construcció del canal, i uneix el llac de Gatún amb l'enclusa de Pedro Miguel. Es considera un dels trams més perillosos a l'hora de creuar el canal, ja que és molt estret i transitat i dues embarcacions de grans dimensions que estiguin navegant en sentits contraris podrien arribar a tenir problemes a l'hora de creuar-se.

Al principi d'aquest trajecte, quan el vaixell surt de l'enclusa de Gatún, els remolcadors que l'assistien se'n van, i és el propi vaixell que amb la seva propulsió i timó creua tot el llac. Aquests remolcadors marxen per assistir alguna altra embarcació a pujar per l'enclusa de Gatún. Per evitar un excés de tràfic i guanyar temps, utilitzen una ruta alternativa que els permet anar més ràpid. Aquesta ruta és més estreta, però el seu petit tamany els permet fer-la sense dificultat.

Finalment, una vegada s'arriba al Corte Culebra, uns altres remolcadors arriben i t'ajuden a creuar aquesta perillosa zona.



FIGURA 17

### **1.3.6 L'enclusa de Pedro Miguel**

Quan arribes al final del Corte Culebra, el procediment és molt semblant a l'entrada de l'enclusa de Gatún. Un nombre determinat de remolcadors, depenent del tamany i dificultat per maniobrar el vaixell, ajuden a situar el vaixell en la direcció adequada per entrar correctament a la càmera. Una vegada col·locat, només es queden els remolcadors imprescindibles, i amb l'ajuda de les locomotores dels laterals s'entra dins la càmera de l'enclusa.

L'enclusa de Pedro Miguel és la més petita de totes, i està formada per solament una càmera. Aquesta càmera, amb la mateixa tècnica de l'enclusa de Gatún, permet a l'embarcació ascendir o descendir un total de 9,5 metres.



FIGURA 18

### 1.3.7 El llac de Miraflores

Quan s'ha descendit per l'enclusa de Pedro Miguel, es troba un petit llac anomenat llac de Miraflores. Aquest llac és un petit embassament que comunica l'enclusa de Pedro Miguel amb la de Miraflores, i no suposa gaires problemes a l'hora de creuar-lo gràcies a la seva amplitud i poca presència d'illes.



FIGURA 19

### 1.3.8 L'enclusa de Miraflores

L'enclusa de Miraflores és l'últim obstacle que es troba fins a arribar a l'oceà Pacífic. Està formada per dues etapes, que eleven un total de 16,5 metres una embarcació. Tot i això, degut a les pronunciades

marees de l'oceà Pacífic, aquesta altura és variable, i arriba a oscil·lar entre els 13,1 metres quan la marea es extremadament alta i els 19,7 metres quan és extremadament baixa.

Igual que en les altres dues encluses, l'embarcació va guiada per remolcadors i diverses locomotores, per reduir al màxim la probabilitat de tenir problemes i garantir la seguretat.



FIGURA 20

### 1.3.9 Entrada al Pacífic

Quan se surt de l'enclusa de Miraflores, ja s'està situat a les aigües de l'oceà Pacífic. Per continuar el viatge, només cal sortir pel port de Balboa correctament per evitar qualsevol tipus d'incident, ja que és una zona molt transitada per embarcacions que volen entrar i sortir del canal. Abans de sortir del port, el pràctic que ha estat guiant el vaixell desembarcarà per anar a assistir qualsevol altra embarcació. Aleshores, només ens caldrà seguir el dispositiu de separació de tràfic que et portarà fins a una zona allunyada del port, i des d'allà podràs continuar la teva ruta.

El recorregut que he explicat va des del mar del Carib, a la banda de l'Oceà Atlàntic, fins a l'oceà Pacífic. Tot i això el canal es pot fer en les dues direccions sense cap problema, ja que totes les encluses estan preparades per pujar i baixar les embarcacions, i els serveis de remolcadors i locomotores també contemplen que els vaixells vinguin de les dues bandes.

Això requereix un alt nivell d'organització, ja que la gran demanda per passar pel canal fa que tot vagi molt just de temps, i qualsevol incidència retrassaria tots els horaris. Tot es planifica prèviament, i en els centres de control situats en diferents ubicacions del canal es comprova que tot vagi segons l'horari establert i sense cap tipus d'incidència.



FIGURA 21

Aquest és un mapa del canal, amb els noms de les encluses i llacs que s'han anat identificant anteriorment. També hi ha dibuixat el recorregut que segueixen les embarcacions de grans dimensions marcat en vermell i el que segueixen els remolcadors i altres barques de serveis en taronja.

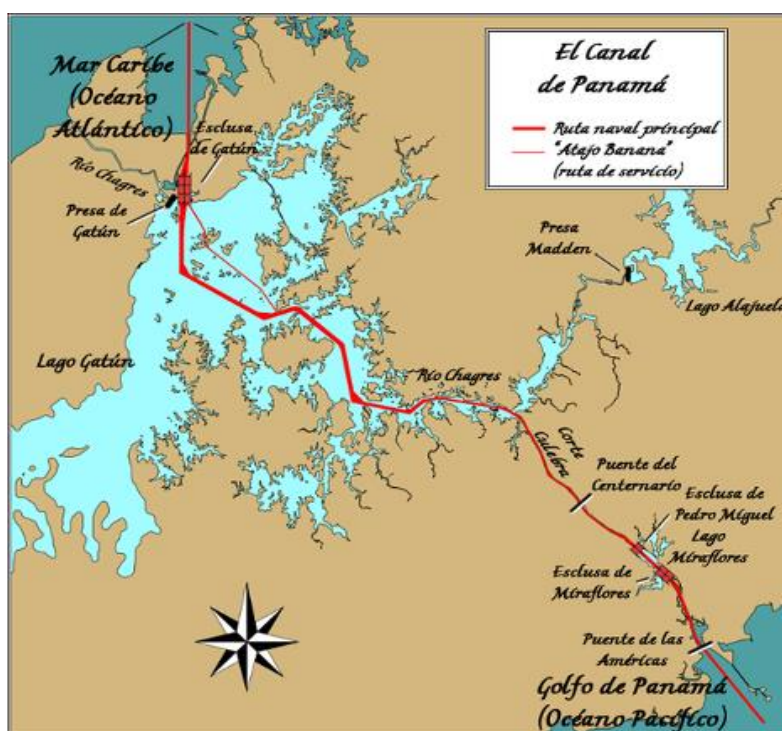


FIGURA 22

## **1.4 ECONOMIA DEL CANAL**

### **1.4.1 Impacte**

El canal de Panamà es podria definir com el motor econòmic del país. És una de les obres d'enginyeria més grans del món, i la més complexa i impressionant de l'època en què es va construir. Es calcula que el canal aporta directament un 6% del PIB del país, però gràcies a les activitats amb les quals està relacionat, sigui en gran part o petita part, arriba a aportar indirectament un 40%.

Quan es va construir, encara que el projecte va ser ideat primer per francesos i després per americans, es van necessitar milers de treballadors que ajudessin a la construcció. Evidentment, la gran majoria d'ells eren panamenys, i encara que rebessin uns salaris molt mínims, eren suficients per ajudar a les seves famílies de la gran pobresa en la que es trobaven.

Una vegada el canal es va acabar, la necessitat de treballadors no va disminuir en absolut. El canal necessita un manteniment exhaustiu per tal de garantir la seguretat dels treballadors i del personal, gent que controli el funcionament de les encluses, les càmeres, les vàlvules i les comportes, operaris que facin funcionar les locomotores, tripulació que porti els remolcadors i amb els coneixements necessaris per ajudar als vaixells a maniobrar, pràctics experts en creuar el canal amb qualsevol tipus d'embarcació que necessiti ajuda. En resum, actualment treballen directament al canal aproximadament 10.000 persones, fent tornos per cobrir les 24 hores de tots els dies de l'any per tal que el trànsit no s'aturi.

Tot i això, l'economia del canal va molt més enllà dels treballadors que hi treballen directament. La construcció d'aquesta obra d'enginyeria ha fet que es desenvolupés exponencialment tota l'economia del país. Per exemple, els ports dels dos extrems del canal han vist la necessitat de remodelar-se gairebé completament per poder donar abast a la gran demanda de serveis dels vaixells que venen d'arreu del món.

Aquests vaixells, per exemple, poden necessitar omplir els tancs de combustible, abastir-se d'aigua i menjar, renovar algun certificat que s'ha caducat... Tot això ho proporcionen els serveis dels ports, i tant la construcció de les infraestructures per garantir-los com el manteniment i administració d'aquests, ha fet que es creessin milers de llocs de treball, alguns temporals però molts definitius.

## TRÁFICO DEL CANAL DE PANAMÁ A LO LARGO DE LA HISTORIA

Millones de toneladas netas del Canal

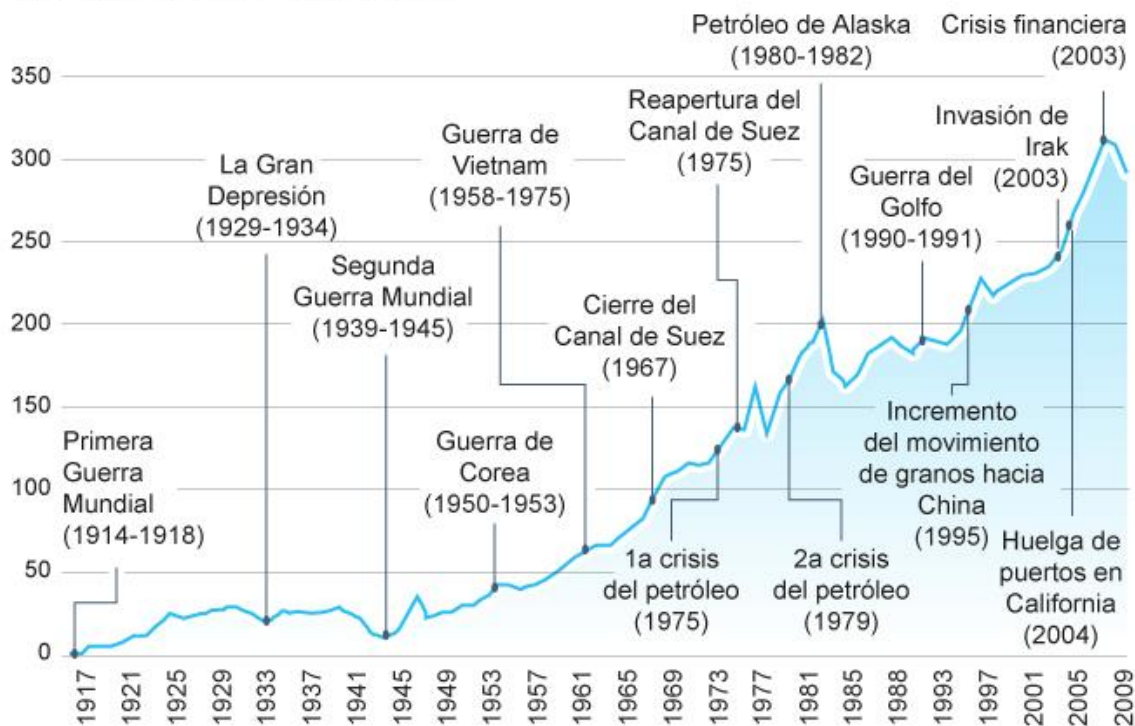


FIGURA 23

Com es pot veure en el gràfic, el tràfic del canal de panamà ha anat augmentant exponencialment, fent que cada vegada es necessités més mà d'obra per fer les ampliacions necessàries i operaris per fer-les funcionar.

Això demostra que cada cert temps, el canal es queda petit, ja que no pot abraçar tota la demanda, i necessita remodelacions. A més, el creixement de les dimensions dels vaixells fan que cada vegada n'hi hagi més que no puguin entrar a les càmeres de les encluses, i que per tant no puguin passar pel canal. Això suposa un problema, tant pels propis vaixells com pel canal, ja que les dues part estan perdent diners.

Actualment, un 30% de les embarcacions de la flota mundial són massa grans per passar pel canal, i es calcula que en uns pocs anys aquest nombre augmentarà fins el 40%. Per tant, en algun moment les navilieres hauran de decidir si apostar per embarcacions més grans o per vaixells que puguin passar pel canal.

### 1.4.2 Vaixells Panamax

Fins fa aproximadament dues dècades, la gran majoria de grans vaixells que es construïen s'anomenaven Panamax, i no superaven les dimensions màximes que permetien les càmeres de les encluses del canal de Panamà.

Aquestes dimensions eren 294,1 metres d'eslora, 32'3 metres de mànega, 12 metres de calat mesurat en aigua dolça tropical i 57,9 metres de calat aeri. Tot i això, es permetien que fossin una mica més grans, però llavors només podien passar pel canal en un moment concret. Per exemple, es podia superar una mica el calat aeri màxim permès si es feia passar l'embarcació durant la baixamar, o es podia superar la mànega màxima si aquesta sobresortia per sobre els murs.

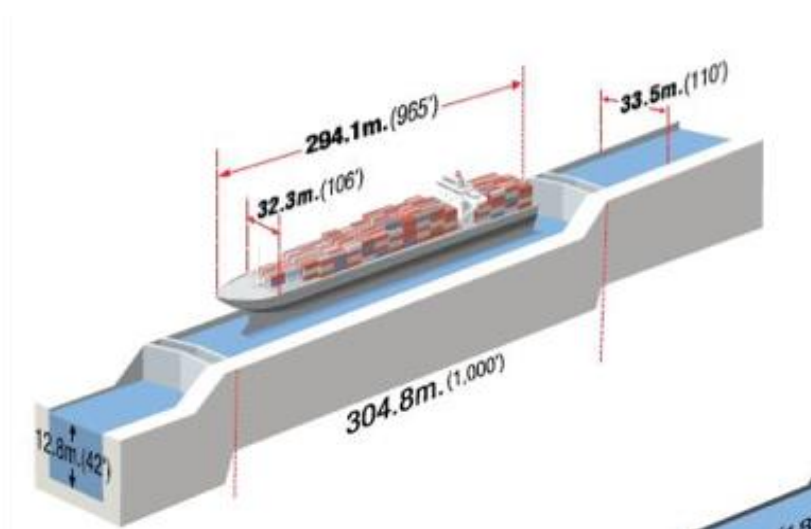


FIGURA 24

La construcció dels portacontenidors Panamax semblava ideal, ja que permetia carregar un gran tonatge, fossin petrolers, gasers, portacontenidors, transport de granel... I alhora creuar el canal de Panamà, que et permetia estalviar-te milers d'euros que costaria vorejar el continent pel Cap d'Hornos.

A part de la qüestió econòmica, també hi havia l'avantatge del temps. Vorejar el Cap d'Hornos, suposa uns 10 dies de navegació, en ocasions més i tot. A més, a part del llarg recorregut que cal fer, s'hi ha de sumar la perillositat, ja que és una ruta amb moltes dificultats. És un lloc on hi solen haver forts vents, fortes corrents, i sovint la presència d'algun iceberg. En canvi, passar pel canal suposa una mitjana de 27 hores, tenint en compte les 8 hores que es tarda dins les instal·lacions i el temps previ que cal esperar mentre arriba el pràctic, embarca, els diferents remolcadors s'enganxen i porten a lloc...

Per tant, quan una companyia planificava les rutes comercials per les seves embarcacions, tenien en compte si els hi sortia rentable superar les dimensions Panamax, ja que a la llarga no poder passar per el canal els hi suposaria una pèrdua important de diners.



### 1.4.3 Vaixells Post-Panamax

A partir de l'any 1990 certes companyies navilieres van decidir apostar per embarcacions més grans, que superaven amb escreix les dimensions de les càmeres de les encluses del canal, anomenats Post-Panamax. Aquests vaixells solien ser súper petroliers i grans portacontenidors moderns, però es van anar popularitzant entre embarcacions que transportaven altres tipus de mercaderies.

La construcció de vaixells Post-Panamax va anar creixent, ja que les empreses navilieres van decidir que els hi sortia més a compte transportar mercaderies en embarcacions més grans, sabent que haurien de recórrer més distància perquè no podrien passar pel canal de Panamà entre d'altres, i tardarien més temps en fer cada viatge.

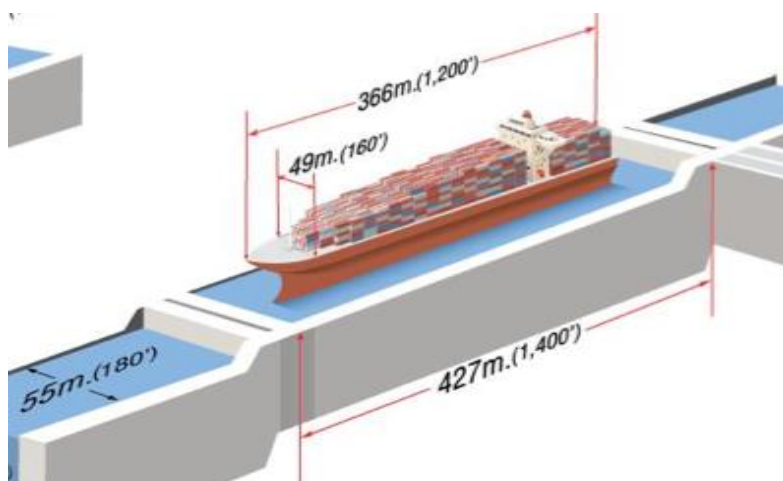


FIGURA 25

Les dimensions aproximades d'aquests vaixells Post-Panamax eren uns 366 metres d'eslora, 49 metres de mànega i 15 metres de calat, i tot i que eren més grans que molts vaixells de l'època, podien entrar en la gran majoria de ports comercials.

Per tant, no poder creuar alguns canals no els hi suposava un gran problema, ja que ho podien afrontar sempre que poguessin permetre's econòmicament fer rutes més llargues i tardar més temps.

## 1.5 AMPLIACIÓ DEL CANAL

### 1.5.1 Noves encluses

Des de llavors, la construcció d'aquestes embarcacions superiors a les mides de les encluses del canal va anar creixent, fent que la directiva del canal es plantejés fer una ampliació del mateix, per tal que aquest tipus d'embarcacions de grans dimensions (Post-Panamax) també hi poguessin passar.

Per veure si aquesta reforma els hi sortiria a compte i saber si podrien recuperar la inversió, es van fer diversos estudis, i es va veure que el canal arribaria al màxim de les seves possibilitats cap a l'any 2009. Des de llavors, la demanda dels vaixells per passar-hi decreixeria, ja que la indústria naviliera estava apostant per construir embarcacions més grans que farien altres rutes perquè no podrien passar pel canal. Veient aquests resultats, es va decidir tirar endavant el projecte mitjançant un referèndum al país de Panamà l'any 2006.



FIGURA 26

El projecte consistia en dues encluses noves, una a la banda de l'Atlàntic, anomenada enclusa de Agua Clara i una a la banda del Pacífic, anomenada enclusa de Cocolí. Aquestes dues encluses són exclusives pels vaixells de dimensions Post-Panamax, i substitueixen les de Gatún, Pedro Miguel i Miraflores. Els dos jocs d'encluses contenen 3 cambres, cada una de 426 metres de llarg, 54 metres d'ample i 18 metres de profunditat. Al tenir una major capacitat d'aigua, es necessitarien comportes més grans i resistents per aguantar-ne el pes, i locomotores més potents per poder ajudar a mantenir la posició a una embarcació tan gran.

Les obres van començar el 3 de setembre de 2007, i després de diversos mesos de retràs per problemes entre la mà d'obra i l'empresa, es van finalitzar el 26 de juny del 2016. El cost total, segons les autoritats del canal va ser d'aproximadament 5.250 milions de dòlars.

### 1.5.2 Tines de reutilització

En la construcció de les noves encluses pels vaixells Post-Panamax (Agua Clara i Cocolí) ja es va començar a tenir en compte que el dèficit d'aigua podria ser un problema en un futur proper, i es va decidir implementar un mètode per poder reutilitzar d'alguna manera l'aigua que s'utilitzava per elevar i descendir les embarcacions.

Aquest mètode va ser les tines de reciclatge, uns dipòsits construïts al costat de les encluses que permetien guardar grans quantitats d'aigua. Fins ara, quan les encluses s'omplien amb l'aigua del llac, després es buidaven cap a l'enclusa del nivell inferior per elevar el següent vaixell, i després aquesta aigua baixava cap al mar, sense poder-se reutilitzar de cap manera.

D'aquesta manera, l'aigua no es deixa que es perdi cap avall fins a arribar al mar, sinó que es bombeja cap a la tina del costat de l'enclusa, i quan es necessita tornar a pujar el nivell de la càmera, s'utilitza aquesta aigua i no la del llac.

En total tenim 3 tines de reutilització per cada càmera de l'enclusa. Per tant, tenint en compte que hi ha dues encluses amb tres càmeres cada una, s'han hagut de construir 9 tines per enclusa, 18 en total.

Tot i que és una bona manera de reutilitzar aigua, aquestes tines només permeten estalviar el 60% de l'aigua utilitzada. A més quan tenim marea baixa a l'oceà Pacífic, que fa que la diferència d'alçada sigui superior a la normal i per tant s'hagi d'utilitzar més aigua, l'aigua estalviada es redueix al 50%.

Això ens fa veure que encara que és una solució a curt termini i que permet reutilitzar grans quantitats d'aigua, no serviria en cas d'un gran dèficit d'aigua del llac de Gatún.



FIGURA 27

### **1.5.3 Conseqüències**

La construcció d'aquest tercer joc d'encluses que permetien el pas de vaixells de dimensions Post-Panamax va resultar beneficiosa pel canal, ja que la demanda va augmentar moltíssim i per tant els ingressos.

Tot i això, la inauguració d'aquest nou joc d'encluses al juny del 2016 va afectar molt negativament a les embarcacions de dimensions Panamax. Des del moment en que els vaixells Post-Panamax que poden arribar als 14000 TEU van poder passar pel canal i d'aquesta manera realitzar viatges entre el Pacífic i l'Atlàntic amb molta més freqüència, els vaixells Panamax van començar a deixar de ser útils i a ser apartats de les rutes internacionals per passar a un segon pla.

Això ha quedat demostrat en veure que en només 15 mesos, des del juny de 2016 (quan es va acabar la construcció del tercer joc d'encluses) fins a setembre de 2017, dels 221 vaixells de dimensions Panamax que creuaven el canal habitualment només n'han quedat 47 que mantinguin la mateixa ruta.

Per tant, les empreses propietàries d'aquestes embarcacions s'han vist obligades a buscar noves rutes per poder amortitzar-los, ja que amb els 5000 TEUs dels vaixells Panamax resultava impossible competir amb embarcacions de més de 14000 TEUs que podien fer exactament la mateixa ruta.

Actualment, només el 10% de la flota mundial de vaixells Panamax continuen passant pel canal, mentre que els altres han buscat alternatives que els permetés continuar el negoci. Per exemple molts d'aquests vaixells realitzen viatges entre diferents països asiàtics, o es dediquen al cabotatge. També hi ha uns gran nombre de vaixells Panamax que realitzen operacions al llarg del continent africà.

En general, les embarcacions de dimensions Panamax estan quedant cada vegada més obsolets en el transport marítim de llarga distància, ja que no poden fer front a embarcacions de dimensions tant superiors a ells com els Post-Panamax, o els nous vaixells encara més grans que s'estan construint actualment.

## BLOC 2: CLIMATOLOGIA I DISPONIBILITAT D'AIGUA

### 2.1 CLIMA DE LA ZONA DEL CANAL

#### 2.1.1 Zona de Convergència Intertropical (ZCIT)

Panamà està situat en la Zona de Convergència Intertropical, el que fa que tingui els trets generals del clima tropical: temperatures relativament altes, humitat, precipitacions curtes però intenses o l'afectació del règim dels vents alisis.

Aquesta zona es podria definir com un cinturó de baixes pressions que envolta la Terra en la regió Equatorial i les seves proximitats, format per corrents d'aire ascendents. Aquests corrents es formen a partir dels vents alisis, vents càlids procedents del NE a l'hemisferi Nord i procedents del SE a l'hemisferi Sud que convergeixen a l'Equador tèrmic.

Aquests vents evaporen l'aigua del mar, que també està a una temperatura relativament càlida, fent que el vapor ascendeixi verticalment fins que es troba amb un aire més fred que fa que es condensi, formant un conjunt de núvols. Aquests núvols que es formen gairebé sempre comporten precipitacions, molt típiques de la zona.

En el següent mapa podem veure la posició de la ZCIT segons l'època de l'any. En vermell veiem on es troba durant l'estiu boreal (Juliol), mentre que en blau veiem la seva posició a l'estiu austral (Gener).

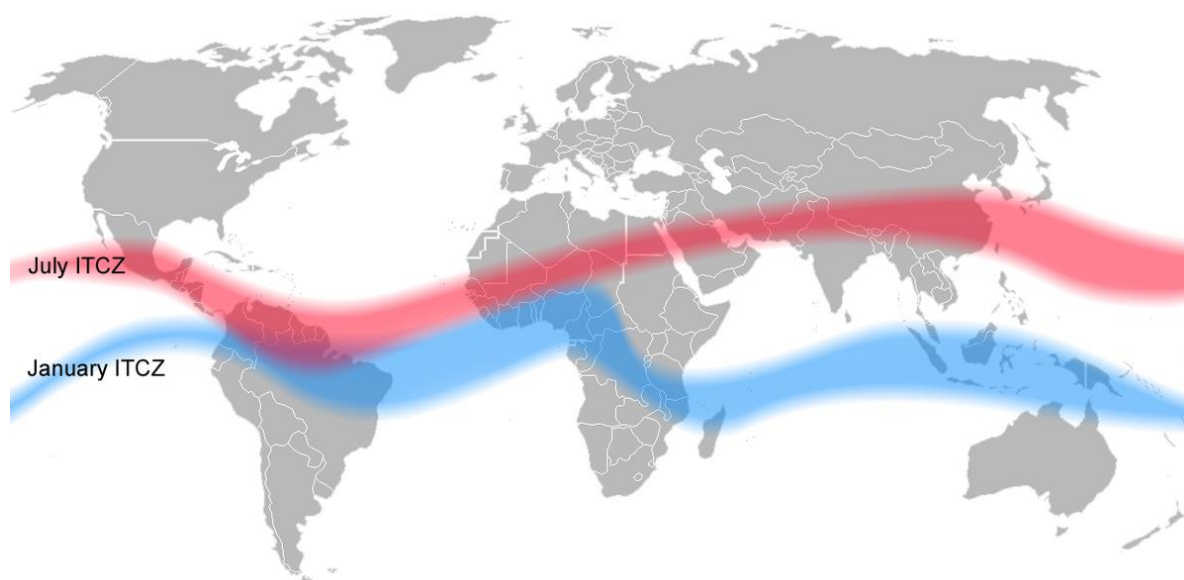


FIGURA 28

Aquesta regió pot anar variant en funció de l'estació en la que ens trobem, arribant als 8° N com a màxim i als 1° N com a mínim. Tot i això, a les zones oceàniques tendeix a tenir una posició més estàtica, situada

una mica al Nord de l'Equador. En aquesta zona les pluges s'intensifiquen amb la insolació solar, degut a que s'evapora més aigua, i disminueixen a mesura que el Sol il·lumina altres latituds.

Els núvols formats per el fenomen dels vents alisis segueixen un patró aproximat que es repeteix diàriament. Durant el matí, amb la calor del Sol, es va evaporant l'aigua, formant cúmuls convectius al migdia. Cap al vespre, quan ja s'ha evaporat aigua durant tot el dia, és quan es solen produir les precipitacions. Aquestes precipitacions tendeixen a ser curtes però molt intenses, situades a una escala petita.

El clima que ens trobem en aquesta Zona de Convergència Intertropical és molt semblant durant tot l'any, amb un clima càlid i humit i precipitacions constants. Per tant, degut a la poca diferència de temperatura que tenim entre tots els mesos de l'any, les estacions no es classifiquen de la manera que fem nosaltres: Primavera, estiu, tardor i hivern. Allà les estacions les classifiquen en funció de les precipitacions, i per tant es diferencien clarament l'estació seca i l'estació humida.

Per tant, per poder estudiar bé el clima de la zona del canal de Panamà farem un petit estudi de com són l'estació plujosa i l'estació seca del país, quina quantitat d'aigua precipita al llarg de l'any i en quins mesos es concentra.

### **2.1.2 Classificació de les regions del territori en funció de la pluja**

Com hem dit abans, Panamà està situat en aquesta Zona de Convergència Intertropical, i com que els climes isoterms gairebé no presenten estacions tèrmiques al llarg de l'any, són les estacions de pluja les que fan que tinguem diferents climes i es puguin distingir diferents estacions al llarg de l'any. Per tant, la millor manera de classificar les regions del país és en funció de la quantitat d'aigua que hi precipita al llarg de l'any.

Després d'avaluar tots els criteris relacionats amb les precipitacions, el *Centro del Agua del Trópico Húmedo para América Latina y el Caribe* (CATHALAC) va determinar diferents regions que presentaven diferències significatives amb els períodes més i menys plujosos de l'any, comptabilitzant els dies de pluja en un mes. Aquesta avaluació es va fer amb els registres de precipitacions dels anys compresos entre el 1981 i el 2014.

Es van comptabilitzar un total de 6 regions, i les van anomenar en funció de la seva ubicació. En el següent mapa es poden veure aquestes regions diferenciades les unes de les altres:

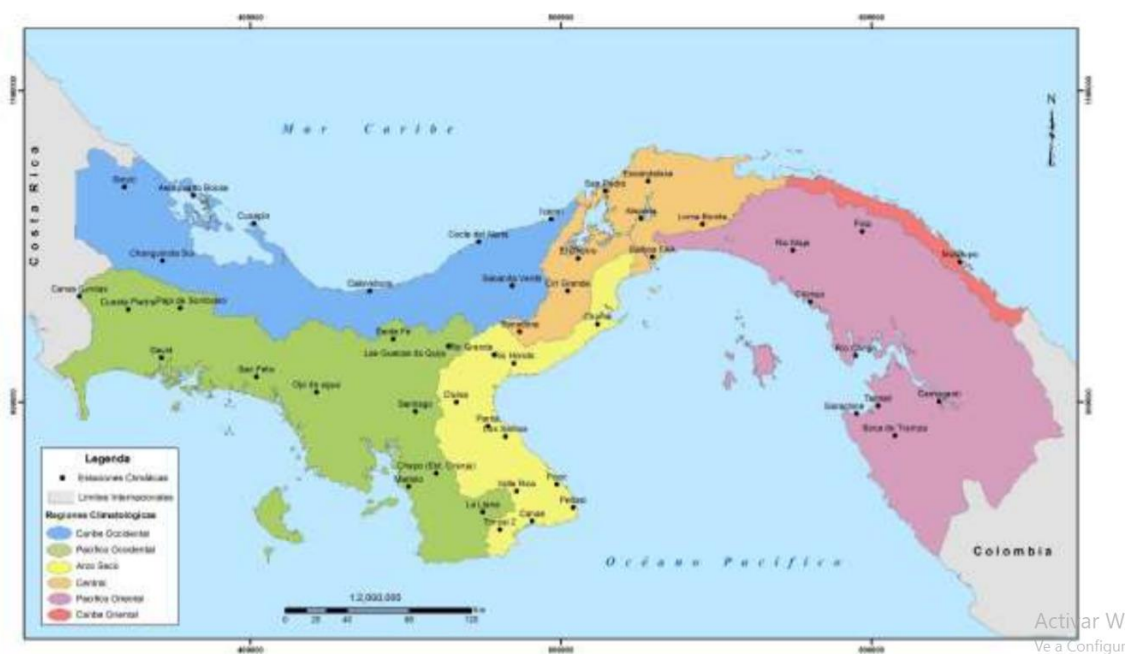


FIGURA 29

Aquestes regions són:

- **Regió Carib Occidental:** Aquesta regió abarca tota la part Caribenya des de Bocas del Toro, un tros de la comarca Ngabe-Bugle, Varaguas i la part de baix de Colón.
- **Regió Pacífic Occidental:** Aquesta regió cobreix Chiriquí, la part interior de la comarca Ngabe-Bugle, l'interior i el Sud de Veraguas, la zona Oest de Herrera i Los Santos.
- **Regió del Pacífic Central:** També coneguda com a Regió Arco Seco, aquesta regió inclou la part Est de Los Santos, Herrera, Sud de Coclé i Sud de la major part de Panamà Oest.
- **Regió Central:** Aquesta regió avarca tota la porció del centre del territori de les províncies de Coclé, Panamà Oest, Panamà metro i la resta de la província de Colón fins la frontera amb la comarca de Guna Yala.
- **Regió Pacífic Oriental:** Aquesta regió està formada per gran part de la província de Panamà Est, comarques de Madugandí, Wargandí, las Emberas Wounaan i Darién.
- **Regió Carib Oriental:** Aquesta regió és només la part que cobreix la comarca Guna Yala.

A continuació, veurem la mitjana de precipitacions mensuals en mm per les regions comentades anteriorment.

**Regió Carib Occidental:** En aquesta regió tots els mesos es poden considerar bastant plujosos, amb entre 300 i 400mm d'aigua precipitada mensualment, tot i que entre febrer i març la mitjana baixa una mica fins a 200mm.



FIGURA 30

**Regió Pacífic Occidental:** En aquesta regió veiem un període poc plujós en els mesos de gener, febrer i març, amb pluges que no superen els 40mm mensuals. Abril i desembre també són mesos poc plujosos, amb mitjanes de entre 100 i 115mm. La resta de mesos són en els que més precipita, acumulant entre 250 i 480mm. Octubre és el més plujós, amb un registre mitjà de 483mm.



FIGURA 31

**Regió Pacífic Central:** En aquesta regió es diferencien perfectament el període sec i el període plujós. Gener, febrer i març són els més secs, amb registres no superiors a 10mm mensuals. Abril i desembre



augmenten una mica, entre 35 i 70mm, i la resta de mesos, clarament l'estació plujosa, els registres es mouen entre 150 i 250mm mensuals, sent octubre el mes més plujós arribant gairebé a 250mm.

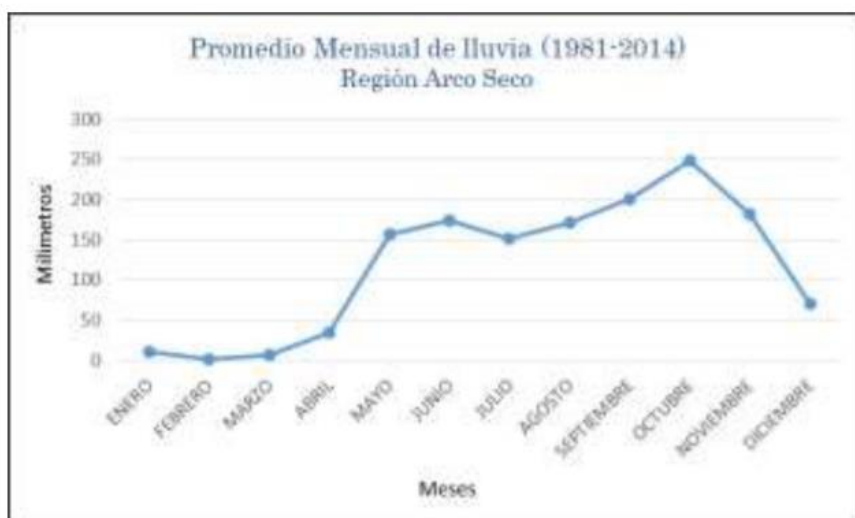


FIGURA 32

**Regió Central:** En aquesta regió, igual que en l'anterior, els tres primers mesos de l'any són els menys plujosos, encara que en aquest cas els registres ronden els 60mm. En la resta de mesos les precipitacions superen els 110mm, i entre maig i novembre es mouen entre els 250 i 350mm.

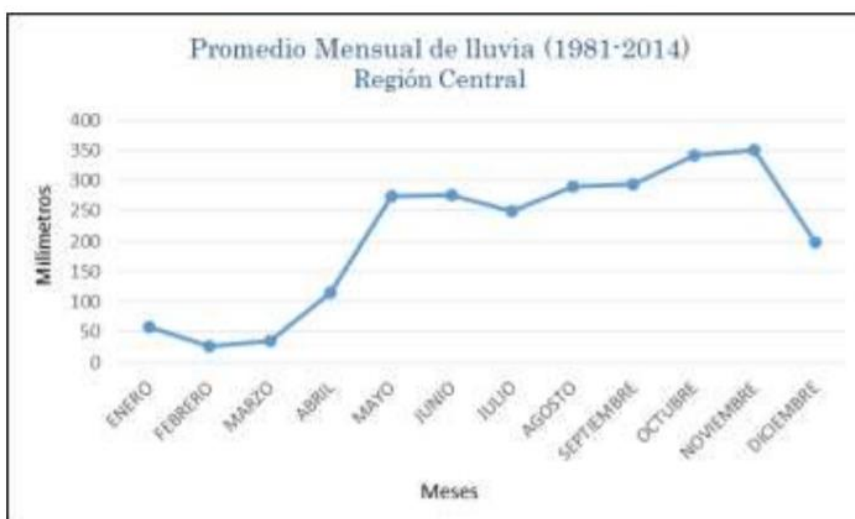


FIGURA 33

**Regió Pacífic Oriental:** Molt similar a la Regió centrat, els tres primers mesos són els menys plujosos, amb registres inferiors a 40mm, seguits d'abril i desembre amb registres entre 100 i 170mm. La resta de mesos superen els 220mm, arribant a un màxim de 310mm a l'octubre. Per tant, veiem com l'època seca és molt curta, ajustant-se als tres primers mesos.

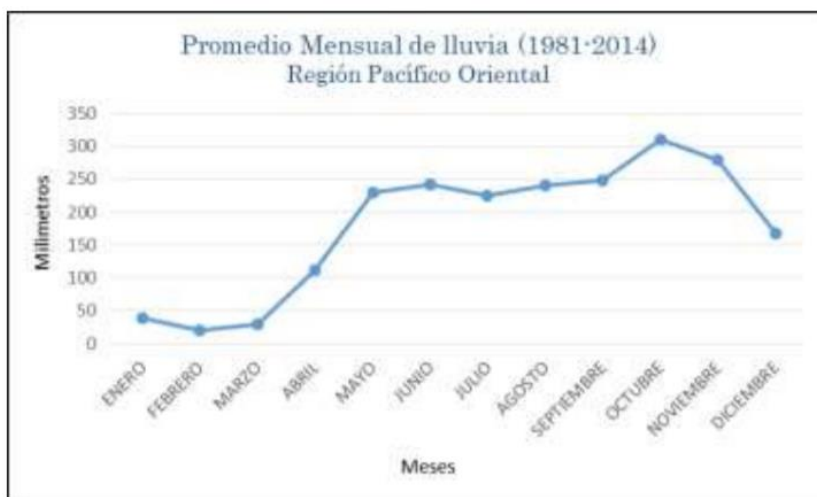


FIGURA 34

**Regió Carib Oriental:** Igual que en els casos anteriors, gener, febrer i març són els mesos més secs amb menys de 40mm mensuals de pluja. La resta de mesos oscil·len entre 100 i 180mm. És la regió amb menys precipitacions al final de l'any.

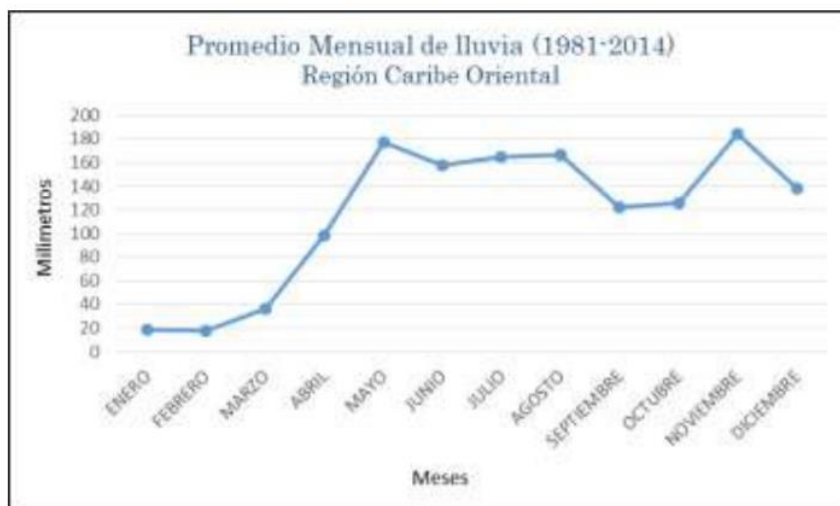


FIGURA 35

Finalment, a la següent taula podem veure la mitjana de dies de pluja per mes.

Región	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Die	TDA
Caribe Occidental	22	19	18	19	22	22	25	23	21	22	23	25	261
Pacifico Occidental	5	4	5	8	18	20	18	20	22	23	20	10	170
Central	7	6	5	9	17	18	18	19	19	21	19	12	168
Pacifico Central	3	2	3	4	13	16	17	17	17	18	16	10	137
Caribe Oriental	5	3	4	5	9	8	8	9	8	7	10	9	157
Pacifico Oriental	6	5	5	9	17	18	18	18	18	20	18	5	85

TAULA 1

Com es pot veure, la regió del Carib Occidental és la que més dies de pluja té anualment, amb relativament poca diferència entre tots els mesos. En canvi, la regió del Pacífic Occidental és la que menys dies té, amb molt pocs dies de pluja en la estació seca.

La regió Central, on es troba situat el Canal, veiem com gairebé plou la meitat dels dies de l'any. Tot i que hi ha una diferència considerable entre l'estació plujosa i la seca, és una zona on arriba molta aigua, el que permet disposar d'aigua per fer funcionar el canal.

## 2.2 PRINCIPALS APORTADORS D'AIGUA AL CANAL

### 2.2.1 Llac de Gatún

Com hem vist abans, el llac de Gatún està situat a la part del mig del canal, i les embarcacions l'utilitzen per passar de les encluses d'un oceà a les de l'altre, recorrent aproximadament 33km. Aquest llac és un llac artificial que es va construir expressament per poder realitzar el projecte del canal. Es va construir entre el 1903 i el 1913, inundant un total de poblacions de la zona que van haver d'anar a viure en un altre lloc del país. La represa que es va construir era un gran projecte d'enginyeria, i durant molts anys tant la represa com el llac artificial van ser els més grans del món.

Aquest llac té una superfície de 436 km<sup>2</sup>, i es caracteritza per tenir una gran quantitat d'illes, ja que la zona que es va inundar tenia molts turons i muntanyes petites que l'aigua mai va poder cobrir.

L'aigua d'aquest llac prové principalment del riu Chagres, encara que també arriben aigües d'altres rius, com el de Gatún, Ciri Grande o Trinidad, i és la peça principal pel funcionament del canal, ja que totes les

encluses s'omplen amb l'aigua que procedeix d'aquest llac. Per tant, si no tinguéssim el llac amb aigua suficient, seria molt complicat bombejar aigua d'algun altre lloc per garantir el bon funcionament de les encluses.

Aquest llac, al ser un lloc on els vaixells naveguen, té unes restriccions molt estrictes sobre el nivell de l'aigua, ja que en cas que el nivell fos inferior al necessari, alguna embarcació podria tocar el terra i quedar varada o tenir algun problema, afectant a la circulació dels altres vaixells del canal.

### **2.2.2 Lago de Alajuela**

El llac de Alajuela és també un llac artificial situat al Nord Est del llac de Gatún, a una altura de 77 metres sobre el nivell del mar, i es va crear a partir del riu Chagres amb l'objectiu de tenir un gran dipòsit d'aigua per quan el llac de Gatún necessités augmentar el nivell. Es va construir a l'any 1935 amb la represa Madden, que inicialment donava nom al llac, tot i que més tard es va canviar.

A part del riu Chagres, també rep aigua d'altres rius de la zona, com el riu de San Miguel, El riu Pequeni o Las Cascadas.

Després d'aquest llac i abans d'arribar al de Gatún hi ha construïda una central hidroelèctrica que permet generar electricitat per abastir a gran part de la zona i sobretot a les instal·lacions del canal.

Es calcula que aquest llac pot arribar a guardar un terç de l'aigua necessària per fer funcionar el canal durant tot un any. Com que no és un llac navegable, les restriccions de nivell no són tant estrictes com les del llac de Gatún, ja que no hi ha perill de que una embarcació pugui quedar varada, o tingui algun tipus de problema.

### **2.2.3 Riu Chagres**

El riu Chagres es el principal afluent del llac de Gatún (passant pel d'Alajuela), ja que és el que més aigua aporta per poder mantenir els nivells necessaris i tenir el canal operatiu. Es calcula que aproximadament el 45% de l'aigua del llac procedeix d'aquest riu, el que el converteix en una peça clau en el funcionament del canal.

Aquest riu neix a la Cordillera de San Blas (Parc Nacional del Chagres, província de Panamà), a 609 metres sobre el nivell del mar. Té una longitud aproximada de 190km, i desemboca al llac de Gatún. Per tant, té la característica poc comuna de ser un riu que desemboca a dos oceans diferents, ja que l'aigua del canal arriba tant a l'oceà Atlàntic com al Pacífic.

Com hem vist fins ara, tot el funcionament del canal depèn al 100% de l'aigua de la zona, ja que serveix tant per omplir les diferents encluses i els vaixells puguin pujar fins al llac de Gatún com per garantir una navegació segura pel llac.

Per tant, en cas que els nivells d'aigua de la zona baixessin, provocaria un mal funcionament del canal, ocasionant pèrdues milionàries o fins i tot el tancament del canal.

El factor que hem de tenir més en compte a l'hora de veure si en un futur els nivells d'aigua seran als esperats és el cabal dels rius que desemboquen al llac de Gatún i de Alajuela, i això depèn gairebé totalment de les precipitacions. Com hem vist abans, tenim una estació seca que dura de gener a abril aproximadament, mentre que la resta dels mesos de l'any formen part de l'estació plujosa.

Tot i que al llarg d'aquests mesos de sequera l'aigua precipitada no arriba a ser suficient per garantir el funcionament del canal, l'aigua que cau en els mesos de l'estació plujosa s'emmagatzema de manera que es pugui utilitzar quan sigui necessària. D'aquesta manera es té aigua suficient tot l'any per poder operar el canal.

Tot i això, al llarg dels últims anys el cabal dels principals rius de la zona ha disminuït notablement, cosa que preocupa molt a les autoritats del canal.

### **2.3 ESTUDI DE L'AIGUA DISPONIBLE**

A continuació veurem unes gràfiques on ens mostren els cabals anuals dels principals rius de la zona, que desemboquen al llac de Gatún i Alajuela. Per fer-ho he utilitzat les dades de la pàgina web oficial del canal, que cada any penja les estadístiques dels cabals de cada riu.

Primer tenim la gràfica que ens mostra el cabal dels rius que desemboquen al llac Alajuela (es considera una superfície de 1026 km<sup>2</sup>), i compara el cabal anual amb el cabal històric de tots els anys anteriors a partir del 1934, veient el percentatge de diferència. El cabal s'ha anat mesurant diàriament mitjançant diferents estacions situades als principals rius: Chagres, Pequeni i Boquerón. Aquesta gràfica està feta a partir de l'any 2011 fins al 2018.

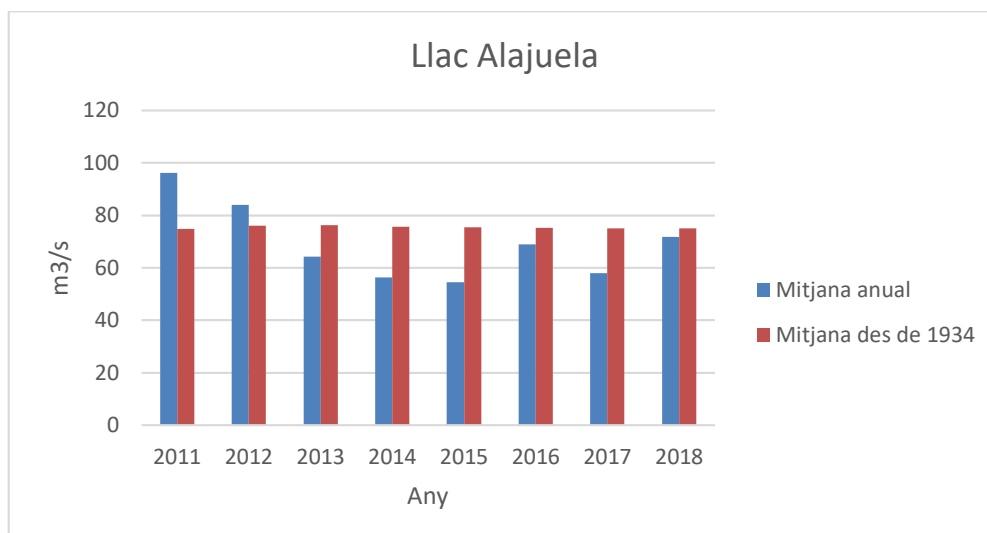


FIGURA 36

Any	Llac Alajuela		
	M. Anual	M. Històrica	Percentatge
2011	96,1	74,9	28%
2012	83,9	76,1	10%
2013	64,3	76,2	-16%
2014	56,3	75,7	-26%
2015	54,6	75,4	-28%
2016	68,9	75,2	-8%
2017	57,9	75,1	-23%
2018	71,8	75	-4%

TAULA 2

Com es pot veure, fins el 2012 els registres de cabal són molt bons, superant els registres històrics amb escreix. Tot i això, a partir del 2013 els nivells de cabal comencen a decreixer de manera preocupant, arribant a percentatges del 28% per sota el registre històric. Al 2018 els nivells es tornen a acostar a la mitja històrica, el que fa pensar que pot ser l'inici d'una tendència més positiva que més tard veurem en detall.

A continuació tenim el cabal dels rius que desemboquen al llac de Gatún, molt més gran que el de Alajuela, amb una àrea de 2312 km<sup>2</sup>. Els rius que s'han tingut en compte són el Gatún, el Trinidad i el Ciri Grande.

El Chagres es considera que també desemboca al llac Gatún, però com que abans passa pel llac de Alajuela no es té en compte, ja que en aquest cas el comptaríem dues vegades.

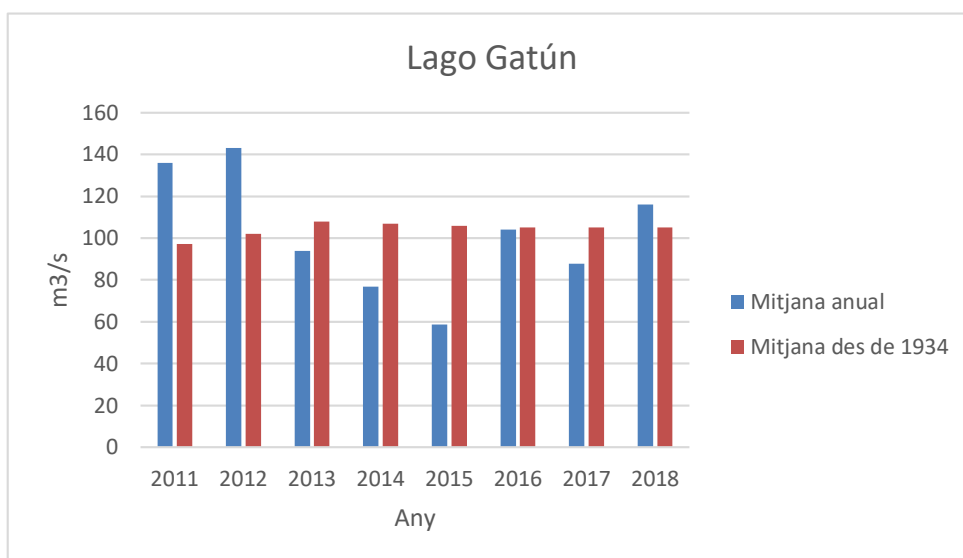


FIGURA 37

Llac Gatún			
Any	M. Anual	M. Històrica	Percentatge
2011	136	97,3	39%
2012	143	102	40%
2013	94	108	-11%
2014	76,8	107	-27%
2015	58,7	106	-46%
2016	104	105	-1%
2017	87,8	105	-18%
2018	116	105	8%

TAULA 3

Com es veu a la gràfica, els cabals anuals són molt semblants als del llac de Alajuela. En els anys 2011 i 2012 els registres del cabal superaven de manera contundent a la mitjana històrica, però després van començar a baixar arribant a descendir fins a un 46% de la mitja. Igual que en el cas anterior, al 2018 la mitja puja una mica i sembla que la tendència comenci a anar a l'alça, cosa que discutirem més tard.

Finalment tenim una gràfica que ens mostra la suma dels cabals de tots els principals rius que arriben al llac de Gatún i Alajuela, conjunt que es considera com a Conca Hidrogràfica del Canal de Panamà. Aquesta

suma és una aproximació bastant exacte del total d'aigua provinent del riu que disposa el canal per poder funcionar. La resta de rius que arriben són de cabals molt inferiors, el que fa que el resultat que hem obtingut no sigui gaire diferent de la realitat.

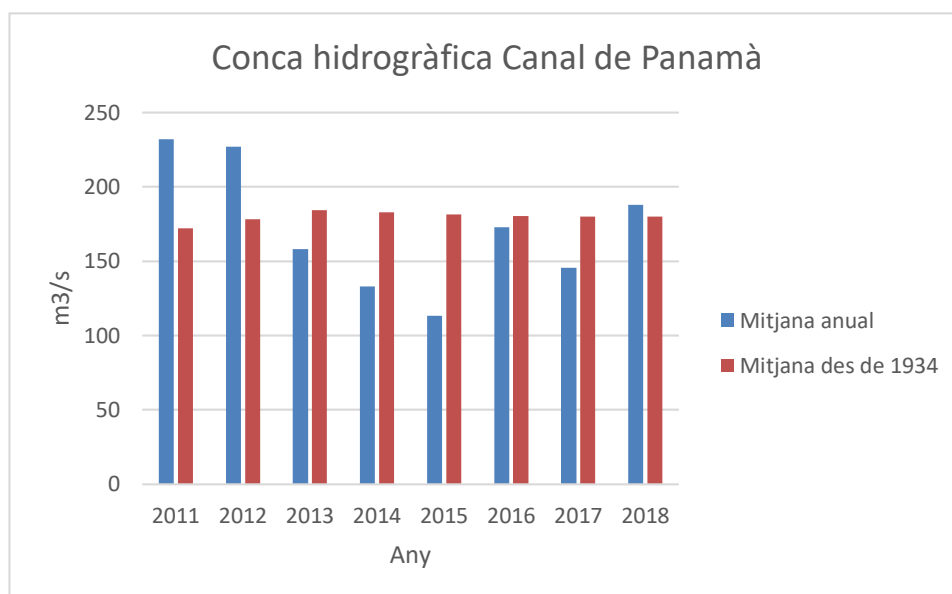


FIGURA 38

Conca Hidrogràfica Canal de Panamà			
Any	M. Anual	M.Històrica	Percentatge
2011	232	172	34%
2012	227	178	27%
2013	158	184	-13%
2014	133	183	-26%
2015	113	181	-38%
2016	173	180	-4%
2017	146	180	-20%
2018	188	180	3%

TAULA 4

Com és d'esperar, els resultats són molt semblants als de les dues gràfiques. El resum seria que entre 2011 i 2012 els cabals anuals són molt superiors a la mitja històrica, mentre que els següents anys fins arribar al 2017 aquests registres baixen dràsticament. Finalment, al 2018 sembla que els cabals es tornen a aproximar a la mitja històrica.



Com hem dit abans, els registres del 2018 fan pensar que els cabals podrien millorar durant als pròxims anys, obtenint registres superiors a la mitja i donant peu a una època sense problemes de sequedat.

Tot i això, el 2019 ha estat un any amb uns registres molt baixos, entre els 5 pitjors dels últims 70 anys. Tot i que encara no s'han publicat els registres exactes dels cabals dels principals rius, s'han publicat diversos comunicats anunciant que les precipitacions han estat molt baixes, dels anys que se n'han registrat menys. Aproximadament, al llarg de l'any s'ha calculat que les precipitacions han descendit un 24% de la mitja històrica, el que ha fet que els rius baixessin amb menys aigua i que el nivell dels llacs disminuís.

Per exemple, el registre del total de les precipitacions a la conca hidrogràfica de Panamà a l'any 2019 va ser de 2035 mm, quan en els registres històrics dels últims anys les precipitacions totals són de 2695mm. Es pot veure reflectit aquest dèficit de precipitacions en el nivell d'aigua del llacs de Gatún i Alajuela. Per exemple, al mes de Novembre el llac de Alajuela tenia un nivell de 74,16m, per sota els 74,39 que hauria de tenir com a mínim en aquest mes. El de Gatún estava a un nivell de 25,15 metres, per sota els 26,68 metres mínims que hauria de tenir. Per tant, observant els registres d'aquests últims 8 anys veiem com l'aigua escasseja cada vegada més, cosa que en un futur no molt llunyà podria afectar al funcionament del canal.

A continuació veiem una taula amb la mitjana de temperatura anual (en °C) entre els anys 2011 i 2019.

	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
GENER	27	28	28	28	28	29	28	27	28
FEBRER	28	28	28	29	28	29	29	28	29
MARÇ	28	28	29	29	29	29	29	29	29
ABRIL	28	28	29	29	29	30	29	28	29
MAIG	28	28	28	28	29	28	28	28	28
JUNY	28	28	28	28	29	28	28	27	28
JULIOL	28	28	29	29	29	27	28	28	28
AGOST	28	28	28	28	28	28	27	28	28
SETEMBRE	27	27	28	28	28	27	28	27	27
OCTUBRE	27	27	28	28	28	27	28	27	27
NOVEMBRE	26	27	27	27	28	26	27	27	27
DESEMBRE	27	27	28	28	29	28	27	28	27
MITJANA	27,50	27,67	28,17	28,25	28,50	28,00	28,00	27,67	27,92
Mitjana històrica a partir de 1982			27,02						

TAULA 5

Amb aquestes dades es pot fer un petit estudi per veure si la temperatura i la quantitat d'aigua precipitada són factors que van relacionats o si són independents l'un de l'altre. Per començar veiem com en el 2011 i 2012 les temperatures són les més baixes, i alhora la quantitat d'aigua que arriba a la conca hidrogràfica

del canal és molt superior a la mitjana històrica. També tenim la mateixa relació, encara que aquesta vegada a la inversa, en els anys 2014 i 2015, que són els anys amb una temperatura anual més elevada i a la vegada amb menys aigua.

Finalment, també es pot comprovar aquesta relació en els anys 2018 i 2019. Al 2018 la quantitat d'aigua que arriba a la zona millora, superant una mica la mitjana històrica. Al mateix temps, la temperatura d'aquell any és una mica inferior a la de l'any anterior. En canvi, al 2019 tenim un dèficit d'aigua important, coincidint amb un augment de la temperatura mitjana anual.

Per tant, es podria dir que la temperatura i l'aigua precipitada són factors que van directament relacionats, i que com major és la temperatura menor és la quantitat d'aigua precipitada.

Tot i això, tenint en compte que la temperatura mitjana de Panamà comptabilitzada a partir de 1982 és de 27,02 °C, veiem que les temperatures dels últims 8 anys són bastant superiors, el que fa pensar que el canvi climàtic està provocant un augment de la temperatura anual bastant considerable. Això, veient la relació que té la temperatura amb la quantitat d'aigua que arriba a la zona, suposaria que en el futur el dèficit d'aigua anirà en augment.

## **2.4 ALTRES FACTORS QUE AFECTEN LA QUANTITAT D'AIGUA DISPONIBLE**

### **2.4.1 El Niño**

A part d'aquesta disminució de pluges, s'ha de tenir en compte el fenomen del Niño (El Niño Southern Oscillation – ENSO), una oscil·lació climàtica que es manifesta cíclicament entre cada 3 i 8 anys. Aquest fenomen consisteix en un increment de la temperatura de l'aigua a la part central i oriental del Pacífic Central produïda per la disminució dels vents alisis de la Zona de Convergència Intertropical. Té un cicle càlid, que és quan les temperatures pugen, i un cicle fred anomenat La Niña, que és quan tornen a descendir.

El cicle càlid d'aquest fenomen es sol manifestar al desembre, estiu austral, i sol durar entre 8 i 10 mesos. Provoca molts canvis climàtics a la zona que afecta, com un increment d'incendis a Brasil, fortes pluges a Argentina, Perú i Xile, fortes sequeres a Àfrica, Oceania i part de Sud-Amèrica i Amèrica Central... El que ens interessa més és la sequera que produeix a la zona de Panamà, ja que afecta directament al canal.

Té diferents nivells de intensitat, ja que pot provocar des d'un petit increment de la temperatura que gairebé no té conseqüències fins a un gran canvi a nivell global que afecta a diverses regions de manera contundent. Per tant, no és estrany que en algun dels cicles ens trobem més d'un Niño, tot i que aquests que venen tan seguits no solen ser molt intensos.

Aquesta sequera és un gran problema, ja que les reserves d'aigua es veuen reduïdes de manera preocupant, fent que algun cop s'hagin hagut d'imposar restriccions importants al funcionament normal del canal. El Niño és un fenomen que porta mil·lennis produint-se, però es va començar a tenir en compte al 1983, quan va afectar de manera molt significat a l'economia del país.

En resum, aquest fenomen és un altre dels factors que cal tenir en compte a l'hora de valorar l'economia del canal, ja que en cas de trobar-se amb un Niño molt potent, les reserves d'aigua poden quedar per sota dels mínims, i per tant que no pugui funcionar el canal. Per tant, convindria tenir una reserva d'aigua capaç d'abastir el canal en casos com aquest, per tal de minimitzar les pèrdues al màxim.

A continuació veurem una taula que ens mostra els diferents anys en que s'ha produït aquest fenomen, i el nivell d'intensitat que ha tingut.

#### INTENSITAT DEL FENOMEN EL NIÑO EN FUNCÍO DE L'ANY

1902-03	1939-41	1972-73	1997-98
1905-06	1946-47	1976-77	2002-03
1911-12	1951	1977-78	2004-05
1913-14	1953	1979-80	2006-07
1918-19	1957-59	1982-83	2009-10
1923	1963	1986-88	2014-16
1925-26	1965-66	1990-93	2016-17
1932	1968-70	1994-95	2018-19

Molt intens	Fort	Mig	Lleu
-------------	------	-----	------

TAULA 6

Com podem veure, aproximadament cada 2-3 anys apareix aquest fenomen, encara que els més intensos es manifesten més esporàdicament. Fins hi tot hi ha períodes en que el Niño es manifesta una vegada a l'any, encara que la intensitat és molt baixa i gairebé no té efecte en el clima de la zona. En l'apartat anterior hem vist com als anys 2014 i 2015 els cabals dels rius que arribaven a Gatún i Alajuela eren molt baixos comparat amb la mitjana històrica. Per tant, aquesta falta d'aigua es podria atribuir en gran mesura a l'intens Niño que es va manifestar entre els anys 2014 i 2016, ja que va afectar de manera notable la climatologia del país. Això és una mostra de la importància d'aquest fenomen, i que és un factor que cal tenir molt en compte a l'hora de fer una previsió de l'aigua que estarà disponible en un futur.

### **2.4.2 Tempestes tropicals**

A part del fenomen de el Niño, també hi ha altres factors que cal tenir en compte perquè podrien afectar dràsticament el funcionament del canal. Com hem vist abans, Panamà està situat a la zona de convergència intertropical, el que fa que cada any hi hagi una temporada de tempestes tropicals que va de l'1 de Juny fins al 30 de Novembre i que poden afectar greument la zona.

Aquestes tempestes tropicals, igual que en el fenomen del Niño, poden tenir diferents intensitats, des de tempestes una mica superiors a les convencionals fins a les que arriben a nivell d'huracà, causant danys catastròfics a la zona per on passen. Alguns exemples serien l'huracà Mitch, que es va produir a l'octubre de l'any 1998 i va ser devastador per gran part de Centre Amèrica, o l'huracà Otto de l'any 2016 que va destruir zones de Panamà i Costa Rica.

Aquests fenòmens acostumen a durar pocs dies fins que es dissipen, però al seu pas causen grans danys que afecten al funcionament normal la majoria dels llocs de treball de la zona. Per exemple, el funcionament del canal es paralitza durant aquests episodis, i encara que aquestes mesures només són fins que l'huracà ha passat, si s'han causat danys en alguna part del canal el funcionament es veu afectat fins que s'han realitzat les reparacions adequades.

### **2.4.3 Relació entre ENSO i les tempestes tropicals**

Segons un estudi de la Universitat de Carolina del Nord (NCSU), hi ha una relació directe entre el fenomen de El Niño i el nombre de tempestes tropicals que es desenvolupen al llarg de la temporada. Durant el període en que es produeix El Niño, degut a l'augment de la temperatura de l'aigua, hi ha un augment de l'aire ascendent que dificulta la formació d'aquestes tempestes, fent que al llarg de la temporada n'hi hagi menys o que siguin més dèbils.

En canvi, quan després del fenomen de El Niño es produeix La Niña, la temperatura de l'aigua del mar baixa, fent que hi hagi una disminució de vents ascendants. Això fa que es produeixi menys cisallament amb els vents baixos del mar del Carib, cosa que afavoreix la formació de tempestes tropicals. Un exemple d'això serien els huracans Matthew, Harvey, Irma, i Maria, que es van produir després del fenomen de La Niña de 2010, 2011, 2016 i 2017 respectivament i que van causar grans danys tant humans com econòmics.

Durant la primavera d'aquest 2020 hem tingut un Niño, i les temperatures de l'oceà Atlàntic han augmentat fins a nivells propers als històrics. Això és un indicatiu clar de que si es desenvolupen les condicions idònies, tindrem una Niña molt potent a la segona meitat d'aquest any. Per tant, s'espera que la

temporada de tempestes tropicals d'aquest 2020 sigui molt intensa, amb un gran nombre de tempestes i que algunes arribin a nivell d'huracà.

A continuació tenim un gràfic fet per la IRI (International Research Institute for Climate and Society) que ens mostra la previsió del fenomen ENSO al llarg de la temporada de tempestes tropicals del 2020.

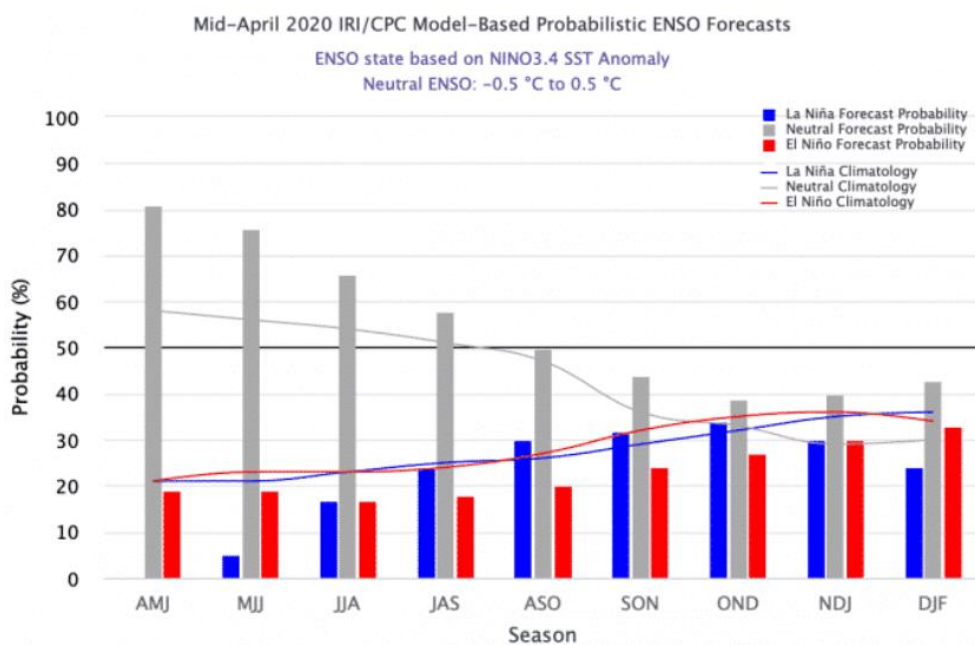


FIGURA 39

## 2.5 RESTRICCIONS I MESURES PER ESTALVIAR AIGUA

Durant les èpoques en què el nivell d'aigua del llac de Gatún no és l'òptim i no es pot garantir la navegació segura per tots els vaixells, enlloc de tancar el canal s'imposen un conjunt de restriccions a les embarcacions, perquè d'aquesta manera el trànsit continuï i les pèrdues econòmiques del canal es minimitzin. També s'intenten prendre un seguit de mesures per minimitzar al màxim l'aigua que es llença al mar en el funcionament del canal.

Normalment aquestes restriccions i mesures s'imposen durant els mesos que dura l'estació seca, i després es van modificant i tornant més permissives a mida que el llac es va omplint al llarg de l'estació plujosa. Tot i això, hi ha èpoques en que el llac no acaba d'arribar al nivell habitual, i per tant aquestes restriccions es mantenen durant més mesos del que és habitual.

Aquestes restriccions es solen imposar sobre el calat de les embarcacions, ja que d'aquesta manera poden navegar pel llac sense problemes. Per tant, les embarcacions que podrien arribar al calat màxim permès se'ls hi imposa una càrrega màxima per poder transitar pel canal i així tenir un calat menor.

Com més estrictes són les restriccions de calat, a més embarcacions afecten, ja que moltes de les companyies que normalment utilitzen aquesta ruta tenen vaixells de gran calat i es veuen perjudicades al no poder carregar els vaixells al màxim.

Això ha fet que el canal deixi d'ingressar una gran quantitat de diners i per fer front a aquestes pèrdues s'ha decidit incrementar el preu del peatge o incloure noves taxes a cert tipus d'embarcacions.

Una d'aquestes taxes que s'ha imposat últimament va ser al 2019, un any en què la quantitat de precipitacions va ser de les més baixes dels últims 70 anys. Per tant, es va afegir una taxa de 10.000 dòlars als vaixells de més de 125 peus d'eslora per la utilització de l'aigua dolça, amb un increment de entre un 1% i un 10% del peatge en funció dels nivells d'aigua del llac de Gatún.

D'aquesta manera l'autoritat del canal cobreix part de les pèrdues, encara que és evident que no és una solució sostenible. Si les taxes i les restriccions segueixen augmentant, moltes companyies buscaran rutes alternatives al canal, sigui perquè les seves embarcacions no poden navegar pel canal degut a les restriccions o simplement perquè no poden fer front a aquestes elevades taxes.

A part d'aquestes restriccions de calat i noves taxes, durant les èpoques de sequera també es prenen un conjunt de mesures per intentar estalviar el màxim d'aigua. Una d'aquestes mesures consisteix en suprimir la generació d'energia per part de la central hidroelèctrica de Gatún, i d'aquesta manera no es gasta aigua en fer funcionar les turbines i es reserva per fer funcionar les encluses del canal.

També s'intenta optimitzar al màxim l'aigua que utilitzen les encluses. Per fer-ho, si les condicions ho permeten, s'ubiquen dues embarcacions dins una mateixa enclusa, i d'aquesta manera moure dos vaixells amb la mateixa aigua.

Una altra manera d'estalviar aigua són els enclusatges creuats. Els enclusatges creuats consisteixen en què l'aigua utilitzada per omplir una càmera del canal antic, es bombeja a la càmera paral·lela enlloc de deixar-la anar cap al mar. D'aquesta manera es dona un doble ús a l'aigua utilitzada. Per poder realitzar aquesta tècnica és necessària una planificació molt exacte a l'hora de quadrar els trànsits de les embarcacions.

Per tant, és evident que el problema de l'aigua dolça és cada vegada més imminent, i que ja està afectant al funcionament i a l'economia del canal. Fins ara el canal era una alternativa que sortia més a compte que rodejar el continent americà, però la falta d'aigua està provocant conseqüències que fan que aquesta alternativa sigui cada vegada menys econòmica, i és necessari un canvi radical per a poder tornar a oferir el bon servei que el canal donava anteriorment.

A continuació veurem les possibles opcions que s'estan tenint en compte per en un futur poder reciclar l'aigua dolça que prové del llac, i d'aquesta manera no desaprofitar tots els litres d'aigua que s'utilitzen per omplir les encluses cada vegada que passa una embarcació.

## 2.6 POSSIBLES MESURES PER RECICLAR L'AIGUA UTILITZADA

Com hem vist fins ara, la infraestructura del canal permet reciclar una part de l'aigua utilitzada gràcies a les tines del canal ampliat, el que fa que la pèrdua d'aigua cap al mar després de cada trànsit per les encluses es minimitzi. A més, amb les mesures i restriccions que es prenen quan hi ha dèficit d'aigua es pot fer que els problemes operacionals per falta d'aigua tardin un temps a manifestar-se, ja que es redueix notablement la utilització de l'aigua del llac.

Tot i això aquestes mesures són simplement per disminuir temporalment o endarrerir el problema fins que les condicions millorin, però de cap manera són unes mesures que facin que el funcionament del canal sigui al 100% independent de la disponibilitat d'aigua de la zona.

Actualment, només encadenant dos o tres anys de precipitacions fluïxes, el dèficit d'aigua seria tan gran que segurament el canal hauria de deixar d'operar, suposant grans pèrdues econòmiques per la població de la zona i per moltes companyies navilieres a nivell mundial. Per tant, tenint en compte la tendència cap a la baixa de les precipitacions i per conseqüència el cabal dels rius i el nivell d'aigua dels llacs, és important començar a pensar possibles solucions per un futur pròxim.

A continuació exposarem les opcions que s'estan estudiant:

### 1. Millorar les tines de reciclatge d'aigua de les noves encluses

Les tines de reciclatge que funcionen actualment en les encluses del canal ampliat només reciclen entre el 50% i 60% de l'aigua utilitzada, un percentatge relativament baix per ser una infraestructura construïda fa pocs anys. Estudis recents han demostrat que el disseny no és l'òptim, ja que la construcció de tres nivells de tines per cada càmera de l'enclusa no és el més eficaç pel reciclatge de l'aigua.

Una manera de millorar aquestes tines seria tractant tota l'enclusa com un conjunt, i no construint les tines per cada càmera individualment. Per exemple, amb 8 tines per enclusa el percentatge d'aigua reciclada podria arribar al 70%. A més, afegint un amortidor per marea baixa (sobretot a l'enclusa de la banda del Pacífic), aquest percentatge podria augmentar fins a gairebé el 80%.

Per tant, una de les mesures seria redissenyar aquestes tines i millorar-les, per tal d'aconseguir un percentatge més alt de reciclatge. Aquest projecte no tindria un cost exageradament alt, ja que s'aprofitaria part de la infraestructura existent, i seria una solució a curt termini.

## **2. Construcció de tines de reciclatge a les encluses Panamax**

En les encluses del canal antic, encara que s'utilitza una quantitat menor d'aigua perquè son més petites, el percentatge d'aigua que un cop s'ha utilitzat per omplir la càmera es tira al mar és del 100%. Això fa que l'aigua que s'arriba a perdre és fins i tot superior al de les encluses Post-Panamax.

Per tant, una bona manera d'aconseguir reciclar gran part de l'aigua utilitzada seria la construcció de tines de reciclatge per aquestes encluses antigues, i d'aquesta manera minimitzar les grans quantitats d'aigua que en actualment es perden.

El disseny i construcció de tines de reciclatge per les encluses antigues suposaria un problema més gran que la millora de les tines ja existents a les encluses noves. Bàsicament, el principal problema és que aquestes encluses no es van dissenyar pensant en construir-hi sistemes de reciclatge d'aigua, el que fa que el terreny adjacent no sigui l'òptim per aquest tipus d'infraestructura.

A més, al haver d'iniciar la construcció des de zero suposaria un cost molt alt i més temps per completar el projecte, el que significaria que és una solució per un futur més llunyà que en el cas anterior.

## **3. Conducció d'aigua des del riu Bayano fins al llac de Gatún**

Una altra de les opcions que es tenen en compte és reconduir l'aigua del riu Bayano fins al llac d'Alajuela, per tenir una altra font d'aigua que permeti mantenir els nivells.

El riu Bayano està situat a l'Est del país, amb naixement a la serralada de San Blas i desembocadura al Golf de Panamà, amb una longitud de 206 km. Igual que els llacs de Gatún i Alajuela, té una represa artificial amb una central hidroelèctrica que permet generar electricitat per la zona.

El projecte consistiria en conduir l'aigua d'aquest riu fins al llac d'Alajuela per un túnel o conducte subterrani, per tal de poder disposar d'aigua quan fos necessari. D'aquesta manera es mantindrien els nivells òptims del llac de Gatún i es podria fer funcionar el canal amb normalitat.

Aquest projecte, encara que en cas de realitzar-se solucionaria pràcticament del tot el problema del dèficit d'aigua, té molts inconvenients que dificulten la seva realització.

La primera dificultat que ens trobaríem és que el llac artificial que forma el riu Bayano sol estar a entre 50 i 60 metres sobre el nivell del mar, mentre que el d'Alajuela sol estar aproximadament a uns 77 metres. Per tant, aquesta conducció d'aigua necessitaria una gran infraestructura, ja que per poder fer arribar l'aigua cap al llac d'Alajuela necessitaríem una gran quantitat de bombes que permetin conduir l'aigua cap amunt. A més, entre la represa de Bayano i la d'Alajuela hi ha uns 80 km de distància, una distància molt considerable i que necessitaria una gran construcció per poder fer aquest túnel.





FIGURA 40

A part de tota la infraestructura necessària, realitzar aquest projecte suposaria un gran impacte mediambiental, tant per la zona per on passaria el conducte d'aigua com per la zona del riu Bayano, que veuria com els nivells d'aigua descendeixen de manera notable. Això afectaria greument l'ecosistema, a part de totes les poblacions que utilitzen l'aigua d'aquest riu per abastir-se.

Finalment, un cop tingudes en compte totes les dificultats per la construcció d'aquest conducte i l'impacte que suposaria per gran part del territori, cal tenir en compte el cost econòmic que suposaria.

Una construcció d'aquesta magnitud suposaria un cost milionari, que potser les autoritats del canal no poden afrontar. A més, en cas de poder-se tirar endavant, aquest projecte tardaria anys a finalitzar-se, tant pel temps que suposa obtenir tots els permisos necessaris com pel que es tarda a fer una construcció d'aquest nivell, cosa que podria suposar un greu problema degut a que el problema de l'aigua és cada vegada més imminent.

#### 4. Construir una reserva d'aigua en el riu Indio

Finalment, l'última opció que es té en compte és construir una reserva d'aigua a la conca del riu Indio, com la que es va fer al llac Alajuela en el seu moment.

Aquesta seria una opció fins i tot més complicada que l'anterior, ja que és segurament el projecte més difícil de realitzar. La idea inicial seria crear un llac artificial a la conca del riu Indio, situat a uns 20 km del llac de Gatún, construint una represa que permetés guardar grans quantitats d'aigua.

A més, a part de la represa també s'hauria de crear un conducte que permetés conduir l'aigua d'aquest llac artificial fins al de Gatún, cosa que també s'hauria de dissenyar i construir degudament, suposant un cost extra.

Realitzar aquest projecte suposaria aconseguir una gran reserva d'aigua pel llac de Gatún, però les conseqüències per la zona serien devastadores. A la zona on s'està estudiant realitzar aquest llac viuen més de 12.000 persones que s'haurien de traslladar a altres zones per poder viure. A més, molta d'aquesta gent treballa en l'agricultura i la ramaderia, per tant a part del seu habitatge també perdrien la seva feina.

Fa temps que s'estan realitzant estudis sobre com es podria dur a terme aquest projecte, però s'estan trobant amb moltes dificultats, sobretot per part de la població que viu allà i té por d'haver de marxar de la zona.

Com en el cas anterior, realitzar aquest projecte suposaria un cost molt elevat, i un gran impacte mediambiental. A més, encara no s'han acabat els estudis, s'ha de realitzar el disseny de la infraestructura, aconseguir els permisos... Per tant, en cas de realitzar-se, es tardarien anys fins a poder iniciar l'obra, cosa que converteix aquesta opció a una solució molt llunyana.

Ara que hem vist totes les possibles opcions que s'estan barallant per poder aconseguir reduir el dèficit d'aigua, penso que la de redissenyar i millorar les tines de reciclatge d'aigua del canal ampliat seria la més factible, tant econòmicament com pel temps que es tardaria a realitzar. El temps que es tardaria per redissenyar i reconstruir aquestes tines segurament seria de més d'un any, però seria una solució per un futur pròxim.

L'únic inconvenient seria que aquest sistema només funciona quan hi ha aigua suficient al llac de Gatún per fer funcionar les noves encluses, i per tant segueix existint una dependència de l'aigua del llac. Encara que és una molt bona opció per reduir el consum d'aigua, no seria definitiva per poder garantir la sostenibilitat del canal.

L'opció de construir tines de reciclatge per les encluses del canal antic també és bona, ja que actualment aquestes encluses desaprofiten el 100% de l'aigua utilitzada, i per tant qualsevol millora ja seria un gran resultat. Tot i això, al no haver estat incloses en la construcció inicial del canal fa que siguin difícils de construir. A més, entre el temps de realitzar el disseny i el de construcció ja es tardarien varis anys, el que la converteix en una solució per un futur més llunyà i per tant menys factible.

Tot i això, ens trobaríem amb el mateix que en el cas anterior, ja que el canal seguiria depenent de l'aigua que arriba al llac de Gatún, i per tant aquesta no seria una solució definitiva.

Les altres dues opcions suposarien garantir una gran quantitat d'aigua pel canal, solucionant el problema del dèficit d'aigua per molts anys. Tot i això, la seva realització suposa haver de fer un minuciós estudi per poder aconseguir un disseny òptim, i molts anys de construcció. A més, suposen un gran impacte mediambiental que afectaria tant a la fauna i flora com a la població que viu a la zona.

Per tant, encara que en un futur llunyà s'arribin a realitzar, en cas de que el dèficit d'aigua augmenti el funcionament del canal segurament es veuria molt afectat fins la finalització un d'aquests projectes. Això suposaria uns grans pèrdues econòmiques per les autoritats del canal, cosa que perjudicaria directament a tots els treballadors.

En resum, tenim dues opcions a curt i mig termini que ens permetrien reciclar l'aigua utilitzada, i per tant aconseguir endarrerir el dèficit d'aigua, encara que no fossin una solució definitiva. Per altra banda, tenim dues opcions a llarg termini que suposarien una gran millora a l'hora d'obtenir aigua, però tardarien anys en poder-se realitzar.



## BLOC 3: ALTERNATIVES PROPOSADES

En aquesta tercera part del treball proposarem dues alternatives diferents a les que hem vist anteriorment i que ens permetria reciclar l'aigua utilitzada o obtenir-ne de nova. En el que hem vist fins ara podem dir que perquè el canal funcioni amb normalitat necessitem:

- Aigua suficient al llac de Gatún que permeti que les embarcacions puguin navegar sense perill.
- Disponibilitat d'aigua per poder omplir les encluses.

Per tant, quan tinguem un dèficit d'aigua, solucions com tines de reciclatge no suposarien una solució definitiva. Encara que s'instal·lin tines en el canal antic i en el nou i siguin bastant eficients, aquesta aigua només solucionaria el segon problema, ja que en cas de sequera extrema no garantirien que el llac de Gatún tingués el nivell d'aigua suficient perquè totes les embarcacions hi puguin navegar.

Per altra banda, conduir aigua d'altres rius cap al llac de Gatún suposaria un gran cost i un gran impacte ambiental, a part d'anys d'estudis i de construcció, i encara que penso que solucionaria el problema de manera pràcticament definitiva, seria interessant buscar altres opcions a més curt termini.

Per trobar una solució que sigui viable, he pensat que hauria de complir els requisits següents:

- Cost no excessivament alt.
- Aconseguir que hi hagi sempre suficient aigua tant a les encluses com al llac de Gatún.
- Intentar que tingui el menor impacte ambiental possible.
- Solució que no afecti a la població de la zona.
- Solució a curt/mig termini.
- Aprofitar el màxim d'infraestructura possible.
- El canal segueixi funcionant durant les obres.
- El funcionament del canal sigui igual o semblant a l'actual després de les obres.

### 3.1 RECONDUIR L'AIGUA UTILITZADA AL LLAC DE GATÚN

La primera opció que jo proposo és construir un conjunt de canonades que agafin l'aigua de les últimes encluses del canal i que mitjançant un conjunt de bombes la portin una altra vegada fins el llac de Gatún.

Aquest projecte comportaria realitzar obres a totes les encluses excepte la de Pedro Miguel, ja que és l'única que no té una càmera que deixi als vaixells al nivell del mar. Per tant, un dels avantatges d'aquest projecte seria que només caldria fer obres a 6 de les 18 càmeres del canal. Tot i això, seria necessari estudiar si és millor un conducte individual per cada càmera fins al llac o un conducte per cada vessant del canal, que reculli l'aigua de dues càmeres a la vegada.

Per poder dur a terme aquest projecte seria necessari aturar temporalment aquestes càmeres per poder construir els orificis que les connectin amb les canonades, però si es gestiona correctament no seria necessari aturar completament el canal sinó només una part.

Per exemple, es podria fer primer a les càmeres del canal antic per separat, i l'únic problema seria que un dels dos carrils estaria inoperatiu. Tot i això, el canal podria seguir funcionant amb les encluses del canal ampliat i amb les de l'altre carril del canal antic. Després, es podrien fer les obres a les encluses del canal ampliat, mantenint operatiu el canal antic, i els únics vaixells que es veurien afectats serien els Post-Panamax.

Després es necessitaria construir una infraestructura que permetés pujar l'aigua els 26 metres que hi ha des del nivell del mar fins al llac de Gatún. Es necessitarien unes bombes potents, però és una construcció molt més viable que la de construir un conducte des del riu Bayano fins al llac d'Alajuela on hi ha una diferència de desnivell de entre 17 i 27 metres i 80 km de distància, o la d'inundar completament la conca del riu Indio.

Per la banda de l'Atlàntic podria suposar un problema superar aquests 26 metres en els menys de 2 km que hi ha entre la última càmera fins al llac, ja que es necessitarien bombes molt potents per pujar la gran quantitat d'aigua en una inclinació tan elevada. Tot i això, no és necessari que l'agua es transporti fins just abans de l'enclusa, sinó que es pot fer que la canonada desemboqui en una altra part del llac i així fer que la inclinació no sigui tant exagerada.

Per la banda del Pacífic, just abans de les encluses hi ha el Corte Culebra, i seria necessari realitzar un estudi per veure on és si és més convenient fer desembocar l'aigua abans o després, per així evitar turbulències o corrents no desitjats.

Un altre qüestió a tenir en compte seria la capacitat de bombeig d'aquest conducte. Actualment es tarda uns 8 minuts a buidar una càmera, però l'aigua baixa a la càmera inferior per gravetat. Per tant, un dels factors a tenir en compte és procurar que amb aquestes noves canonades el temps de buidar les càmeres sigui el màxim ràpid possible, per aconseguir el màxim trànsit d'embarcacions possible.

Segurament la capacitat d'aquestes vàlvules per recuperar l'aigua no serà del 100% i una part es perdrà de manera inevitable cap al mar. A més, l'aigua utilitzada pel canal no és l'única via per on es perd l'aigua. Com hem vist abans, el clima del país fa que les temperatures siguin altes, i per tant una part de l'aigua també es perdrà per evaporació. A més, l'aigua del llac també serveix per abastir les poblacions properes, regar els cultius...

Tot i això, hem de tenir en compte que seguirà arribant aigua de diferents rius i del llac d'Alajuela, i encara que sigui en una quantitat molt menor que l'actual, serviria per recuperar aquestes petites pèrdues.

### 3.1.1 Avantatges

- Cost molt menor a les opcions de portar aigua des del llac Bayano o d'inundar la conca del riu Indio.
- Temps de construcció baix/mig. Al ser un projecte no molt complex, realitzar els estudis necessaris i completar les obres no suposaria una obra a llarg termini. A més, molta part del projecte es podria construir dins la zona del canal, el que faria que els aconseguir els permisos necessaris no sigui molt complicat.
- Poc impacte mediambiental, ja que la construcció es realitzaria a les proximitats de la infraestructura ja existent del canal i per tant no afectaria altres àrees més llunyanes de la zona.
- No afectaria la població de zones properes, ja que no serà necessari inundar cap terreny ni construir grans infraestructures. A més, podran seguir utilitzant l'aigua com ho han fet fins ara.
- En principi hi haurà aigua de sobres, ja que gairebé tota la que s'utilitzi es reciclarà i a més n'arribarà de nova gràcies als rius i a les precipitacions. Per tant, es podrà utilitzar amb altres propòsits, com generar energia hidroelèctrica per abastir les zones més properes al canal.
- Durant la construcció, les pèrdues no serien molt grans, ja que encara que amb menys trànsit, el canal seguiria operatiu. Els vaixells que es veurien més afectats serien els Post-Panamax, ja que durant el període d'obres a les càmeres del canal ampliat no podran fer ús del canal. Tot i això, els Panamax sí podran seguir transitant, sigui per les encluses antigues o les noves.

### 3.1.2 Inconvenient

Tot i això, a part d'aquests avantatges hi ha un inconvenient molt important a tenir en compte: la salinització. A les encluses més pròximes a l'oceà l'aigua dolça del llac està molt barrejada amb la de l'oceà, el que fa que tingui una salinització bastant elevada. Això suposaria un important problema per l'ecosistema del llac, ja que moltes espècies no podrien viure amb aigua salada. A més, si es salinitza l'aigua del llac ja no es podrà utilitzar pels cultius o per ús domèstics, el que causaria greus conseqüències.

Per tant, seria important instal·lar una planta dessaladora per garantir que l'aigua bombejada cap al llac no pugui contaminar l'aigua dolça i causi un desastre ecològic per la zona. Per tal de reduir costos i simplificar el projecte al màxim, seria interessant que s'utilitzés la mateixa planta dessaladora per tots els conductes que recullen l'aigua de les encluses, cosa que faria necessari que es transportés tota l'aigua recollida fins al mateix punt.

Evidentment estudiar la realització d'un projecte així ho haurien de fer experts en el tema, per veure si és viable la construcció d'un conducte que reculli l'aigua de les encluses i la porti a una planta capaç de dessalar-la, buscar materials i bombes de qualitat amb què es pugui realitzar l'obra, estudiar degudament

el terreny per on passarien els conductes, estudiar què suposaria econòmicament tancar part del canal i com reduir al mínim les pèrdues...

Tot i això, en cas que fos possible la construcció d'aquest projecte, el problema del dèficit d'aigua quedaria pràcticament resolt, ja que gairebé tota l'aigua utilitzada pel canal tornaria al llac, mantenint així els nivells òptims i podent-la fer servir en els pròxims trànsits. A més, l'aigua que continuï arribant es podrà utilitzar per altres fins, que podrien ajudar molt a les poblacions pròximes i a l'agricultura de la zona.

### **3.2 OMLIR EL LLAC DE GATÚN AMB AIGUA DE MAR**

La segona alternativa que proposo i que es podria tenir en compte seria fer arribar aigua del mar fins al llac de Gatún. Aquesta opció bàsicament consistiria en construir un sistema de canonades que agafin aigua del mar i mitjançant un conjunt de bombes la facin arribar fins al llac de Gatún quan fos necessari augmentar els nivells.

D'aquesta manera es podria aconseguir aigua de manera il·limitada, i el fet d'obtenir-la del mar i no d'altres zones de l'interior de Panamà faria que no es perjudicés als habitants que fan servir l'aigua dolça per agricultura i ramaderia, o per abastir les poblacions. Tot i això, encara que és una opció que comporta molts avantatges, té un gran inconvenient que és molt important tenir en compte i que veurem detalladament més endavant.

A continuació, desenvoluparé aquesta idea veient els punts forts i dèbils d'aquest projecte.

#### **3.2.1 Avantatges**

- **Possibilitat de realitzar el projecte sense interferir en el funcionament del canal.**

El primer avantatge que suposaria tirar endavant aquest projecte és que es podria realitzar tota la construcció sense que el funcionament del canal es veiés afectat, el que suposaria evitar pèrdues econòmiques. La construcció d'un conducte entre el mar i el llac de Gatún no requeriria en cap moment fer modificacions en l'estructura ja existent del canal, el que faria que durant tota la construcció aquest pugui seguir funcionant amb normalitat.

Aquest punt és molt important perquè reduir el trànsit del canal, encara que sigui de manera temporal, podria suposar unes pèrdues importants que es podrien veure reflectides en reduccions de plantilla o en un pressupost menor destinat al manteniment o seguretat de les instal·lacions, cosa que afectaria de manera negativa als treballadors i usuaris del canal. Per tant, la possibilitat de realitzar el projecte mentre el canal segueix funcionant amb el trànsit habitual és un punt a favor molt important a tenir en compte.



- **Només és necessari un conducte.**

En la primera alternativa que hem proposat es necessitaven un mínim de dos conductes, un per les càmeres que arribaven al Pacífic i un altra per les que arribaven al mar del Carib. Fins i tot se'n podrien arribar a necessitar 4, en cas que la opció òptima fos construir un conducte individual per cada càmera.

En canvi, en aquesta opció només és necessari un conducte que vagi des del mar fins al llac, el que fa que l'estructura que caldria construir sigui molt més simple. Evidentment seria necessari un estudi per veure quina zona seria la idònia per tirar endavant el projecte i de quin oceà agafar l'aigua, però el fet de només necessitar un conducte dóna molta més llibertat a l'hora d'escollir el millor terreny per poder-lo realitzar.

- **Cost relativament baix.**

Un projecte d'aquestes característiques no suposaria un cost excessivament alt, ja que la infraestructura necessària és molt menor a la d'altres opcions, com la d'inundar la conca del riu Indio o la de transportar l'aigua des del riu Bayano. La magnitud seria semblant a la de construir o millorar les tines de reciclatge d'aigua, però el fet de no haver d'aturar en cap moment el funcionament de cap enclusa fa que no hi hagi pèrdues durant el període de construcció, el que seria un altre punt a favor.

- **Poc impacte ambiental.**

L'impacte ambiental que provocaria aquesta alternativa seria molt baix, ja que tota la infraestructura es faria en un àmbit local, propera a les instal·lacions del canal. Per tant, la població de la zona es veuria poc afectada, ja que no seria necessari utilitzar les terres que fan servir per agricultura o ramaderia, o simplement on hi tenen els seus habitatges. A més, la poca complexitat del projecte faria que la fauna i flora de la zona tampoc es veiés perjudicada en excés.

- **Temps de construcció relativament baix.**

La poca complexitat d'aquest projecte faria que no fossin necessaris molts anys per poder-lo dur a terme. Evidentment seria necessari un estudi a fons del terreny per poder determinar quina zona és la òptima per realitzar aquest projecte, i un cop fet l'estudi dur a terme tota l'obra. Tot i això, de totes les opcions que hem vist és de les que requeriria menys temps per ser completada.

### **3.2.2 Inconvenient**

El principal punt negatiu d'aquest projecte, igual que en el cas anterior, és la salinitat de l'aigua, tot i que aquesta vegada és molt més gran.

En la primera alternativa proposada teníem aigua dolça que abans d'arribar al mar ja tenia un cert grau de salinització, i que per tant era necessari realitzar un tractament abans de portar-la cap al llac de Gatún, per així no afectar a la fauna i flora existent.

En canvi, aquesta vegada tenim aigua amb un grau de salinització molt més alt, ja que prové del mar, i que per tant requereix un tractament molt més elaborat per tal d'aconseguir que sigui adient per barrejar-la amb l'aigua del llac. Per tant, necessitaríem una gran planta dessaladora que fos capaç de convertir l'aigua del mar en aigua apta per l'ecosistema del llac de Gatún.

La part positiva és que disposaríem d'aigua il·limitada, per tant el fet de que el percentatge d'aigua dolça obtingut a partir de l'aigua salada sigui baix, no ens suposaria un problema.

### **3.3 PREVISIÓ DE COSTOS**

Per fer una aproximació de costos de les dos alternatives proposades necessitaríem saber les característiques que haurien de tenir les infraestructures que necessitem. Per tant, primer farem una petita llista dels diferents elements que cal tenir en compte a l'hora d'avaluar el cost que tindria cada alternativa.

#### Opció 1

- Canonades per transportar l'aigua des de les càmeres fins al llac.
- Bombes que permetin impulsar l'aigua amb prou força com per superar els 26 metres de desnivell.
- Modificacions a les 4 càmeres on s'hi faria el conducte.
- Estudi del projecte.
- Preparació del terreny.
- Pèrdues ocasionades per la disminució de trànsit de vaixells (es pot considerar com un cost addicional).
- Planta dessaladora.

#### Opció 2

- Conducte per transportar l'aigua des del mar fins al llac.
- Bombes que impulsin l'aigua fins als 26 metres on tenim al llac.
- Planta dessaladora.

- Estudi del projecte.
- Preparació del terreny.

Com podem veure, en els dos casos es necessita un estudi per determinar la viabilitat del projecte, les característiques específiques que hauria de tenir, el terreny on es realitzaria, la mà d'obra necessària... A més, també caldria sumar el temps i el cost de preparar el terreny per poder-hi construir. Per aquests dos punts em resulta impossible determinar el cost que tindrien, ja que no tinc els coneixements necessaris per decidir com s'hauria de realitzar el projecte, o saber el que costaria preparar el terreny.

En la primera opció també s'haurien de tenir en compte les pèrdues que suposaria la reducció del trànsit del canal. Per fer-ho, seria necessari saber el temps que es tardaria en fer les modificacions corresponents a les càmeres de cada enclusa, i així calcular els diners que es deixarien de guanyar en aquell període.

També en els dos casos és necessari un o més conductes que portin l'aigua des de les càmeres a nivell del mar (opció 1) o directament des del mar (opció 2) fins al llac de Gatún, passant per una planta dessaladora que la faci apte per l'ecosistema del llac. A més, calen bombes suficientment potents com per impulsar l'aigua un desnivell de 26 metres, que és on es troba el llac.

Per determinar el cost d'aquests elements m'he fixat en els plantes dessaladores modernes, ja que el seu funcionament és molt similar al que tenen aquests dos projectes amb la diferència que enlloc de preparar l'aigua per un llac la preparen per al consum humà. Com que el problema del dèficit d'aigua és una preocupació global, en els últims anys s'han construït varies plantes dessaladores arreu del món, i per tant en aquest cas sí que tinc una referència del cost que podria tenir la construcció d'aquesta part del projecte i el temps que es tardaria en realitzar-se.

Per fer una previsió he agafat com exemple la planta dessaladora situada al Prat de Llobregat, al costat de Barcelona, que en el moment de la seva construcció va ser la més gran d'Europa. Aquesta planta es va construir aproximadament en 1 any, entre el 2008 i el 2009, i va tenir un cost de 230 milions d'euros. Té la capacitat de produir 200 milions de litres d'aigua potable diaris, que són subministrats a gairebé 4,5 milions de persones, aproximadament el 60% de la població de Catalunya.

La infraestructura consisteix en un conducte de 5,5km que recull aigua del mar Mediterrani i és bombejada fins a les instal·lacions de la planta situades al costat del riu Llobregat, d'unes dimensions aproximades de 1km de llarg per 280 metres d'ample. Allà es realitzen els processos necessaris per potabilitzar l'aigua, i una vegada té les condicions necessàries per ser consumida per la població es distribueix per gran part del territori català.



FIGURA 41

Veient les característiques d'aquesta planta, penso que una tingui un funcionament similar ens podria servir per construir un dels projectes proposats. 230 milions d'euros, encara que caldria sumar-hi els altres costos mencionats anteriorment, penso que és un cost assumible per part de les autoritats del canal, sobretot sabent que per dur a terme l'ampliació del canal es disposaven de més de 5.000 milions.

A més, cal tenir en compte que l'aigua que necessitem no fa falta que sigui apte pel consum humà, sinó que simplement no causi danys a l'ecosistema del llac. Per tant, no seria necessari un tractament tant complex com en la del Prat de Llobregat. Això ens permetria reduir costos, i obtenir més aigua diària.

L'únic inconvenient d'aquestes plantes és que necessiten unes quantitats molt elevades d'electricitat per poder funcionar, el que fa que en moltes regions on s'han instal·lat no puguin ser utilitzades al 100% del seu rendiment perquè no sortiria rendible. Tot i això, a la zona del canal hi ha instal·lades més d'una central hidroelèctrica que podria subministrar l'energia necessària pel seu funcionament, el que faria que aquest factor en principi no suposés un problema.

Veient que el disseny d'aquesta planta és satisfactori, penso que també es podrien utilitzar les mateixes canonades per transportar l'aigua des del mar fins a la zona on estigui instal·lada. Els conductes de 2m de diàmetre permeten transportar suficient aigua com per aconseguir dessalar els 200 milions de litres que hem vist i per tant les canonades que necessitem podrien ser de característiques similars, encara que el recorregut hauria de ser molt més llarg.

Les bombes que hi ha instal·lades al Prat tenen suficient força com per transportar l'aigua els 5,5 km que hi ha fins la planta, però el desnivell de la zona és mínim. Per tant caldria veure si tenen suficient força com per bombejar-la fins als 26 metres d'altura, on ens trobem el llac, i d'aquesta manera saber si es podrien utilitzar per algun dels nostres projectes.

He intentat contactar amb el personal de la planta del Prat de Llobregat per obtenir una informació més detallada sobre la planta i els seus costos. Bàsicament necessitava saber el cost dels 5,5km de canonades que portaven l'aigua des del mar fins la planta, el nombre de bombes que s'utilitzaven per bombejar aquesta aigua, el cost que tenen i si podrien bombejar l'aigua amb un desnivell positiu pronunciat. D'aquesta manera podia obtenir un cost aproximat del conjunt de la planta, bombes i canonades, i així fer un pressupost del que podrien costar els projectes proposats.

Tot i això m'ha resultat impossible, pel que l'única xifra que tinc són els 230 milions d'euros que va costar el conjunt de la planta, bombes i canonades.

En conclusió, havent vist les infraestructures que es necessitarien i el cost aproximat que tindria la planta dessaladora, penso que les dos alternatives proposades podrien ser viables. Per tant penso que es podrien tenir en compte com a possibles solucions pel dèficit d'aigua i que es podria plantejar realitzar un estudi més detallat sobre com dur-les a terme.



## CONCLUSIONS

Penso que aquest treball m'ha ajudat a ampliar moltíssim els meus coneixements sobre el canal de Panamà, ja que considero que la visió que en tenia fins ara era poc profunda.

Amb la primera part he entès la gran necessitat que hi havia en aquella època de realitzar un projecte d'aquestes característiques, i tots els motius que van impulsar a tirar-ho endavant. A més, he pogut veure el procediment que es va dur a terme per construir totes les diferents parts del canal, i com funcionen cada una per aconseguir que les embarcacions passin d'una banda del continent fins a l'altre.

Per tant, penso que l'objectiu de comprendre el funcionament del canal de manera específica l'he aconseguit a la perfecció.

Per fer la segona part m'ha anat molt bé haver cursat fa poc l'assignatura de Meteorologia i Oceanografia Nàutiques, ja que havia adquirit uns coneixements bàsics a l'hora d'entendre la climatologia de la zona. D'aquesta manera he pogut realitzar l'estudi de la disponibilitat d'aigua del canal de manera més precisa, cosa que crec que ha ajudat a aconseguir uns resultats més propers a la realitat.

També m'ha semblat molt interessant veure les diferents opcions que s'estan estudiant per aconseguir reciclar al màxim l'aigua utilitzada i obtenir-ne d'altres llocs, ja que són uns projectes que desconeixia totalment. A més, he vist com els nivells d'aigua del llac també depenen de factors que són del tot impossibles de controlar, com per exemple el Niño o les tempestes tropicals.

En resum, en aquesta segona part he pogut veure que el problema del dèficit d'aigua que ens plantejàvem inicialment és una realitat, i que ja es preveu que podria afectar el funcionament del canal en un futur molt proper.

Finalment, amb els coneixements obtinguts realitzant les anteriors parts, he pogut redactar una tercera part proposant dues possibles opcions per solucionar el problema del dèficit d'aigua. Com he dit abans, no tinc els coneixements necessaris per realitzar un estudi complet que permeti saber si són opcions viables i sostenibles, encara que considero que en cas de poder-se dur a terme podrien ser millors que les altres opcions que s'estan estudiant.

M'hauria agradat poder obtenir més informació sobre els costos que podria suposar la realització d'algun d'aquests projectes, però tot i intentar contactar amb persones que ho podrien saber no he pogut obtenir cap resposta. Per tant, la xifra que he obtingut com a cost aproximar no és molt exacte, ja que no he pogut disposar de totes les dades necessàries.

Tot i això, considero que els objectius que m'havia proposat al principi del treball han estat assolits, i que he ampliat molt els meus coneixements sobre el tema.





## BIBLIOGRAFIA

- [1] Anuario Hidrológico Canal De Panamá. [en línia] Disponible a :  
<<https://micanaldepanama.com/nosotros/cuenca-hidrografica/anuario-hidrologico/>> [Visitat el 16 d'abril de 2020].
- [2] Canal De Panamá. [en línia] Disponible a :  
<[https://es.wikipedia.org/wiki/Canal\\_de\\_Panam%C3%A1](https://es.wikipedia.org/wiki/Canal_de_Panam%C3%A1)> [Visitat el 10 d'abril de 2020].
- [3] Canal De Panamá. [en línia] Disponible a : <[https://www.ecured.cu/Canal\\_de\\_Panam%C3%A1](https://www.ecured.cu/Canal_de_Panam%C3%A1)>  
[Visitat el 09 d'abril de 2020].
- [4] Clima De Panamá. [en línia] Disponible a :  
<[https://es.wikipedia.org/wiki/Clima\\_de\\_Panam%C3%A1](https://es.wikipedia.org/wiki/Clima_de_Panam%C3%A1)> [Visitat el 16 d'abril de 2020].
- [5] Clima Panamá: Temperatura, climograma y temperatura del agua de Panamá [en línia]  
Disponible a : <<https://es.climate-data.org/america-del-norte/panama/panama/panama-5885/>>  
[Visitat el 16 d'abril de 2020].
- [6] Clima promedio en Panamá durante todo el año [en línia] Disponible a :  
<<https://es.weatherspark.com/y/19385/Clima-promedio-en-Panam%C3%A1-durante-todo-el-a%C3%B1o>> [Visitat el 16 d'abril de 2020].
- [7] Cómo funciona el Canal de Panamá. [en línia] Disponible a :  
<<https://lavidasondosviajes.com/panama/como-funciona-el-canal-de-panama/>> [Visitat el 10 d'abril de 2020].
- [8] El Niño & La Niña (El Niño-Southern Oscillation) [en línia] Disponible a :  
<<https://www.climate.gov/enso>> [Visitat el 29 d'abril de 2020].
- [9] Hurricane Season 2020: Above-Average Activity » Severe Weather Europe. [en línia] Disponible a : <<https://www.severe-weather.eu/tropical-weather/above-average-atlantic-hurricane-season-likely-mk/>> [Visitat el 19 de maig de 2020].
- [10] Noticias – Canal De Panamá. [en línia] Disponible a :  
<<https://micanaldepanama.com/category/noticias/>> [Visitat el 17 d'abril de 2020].
- [11] Así son las tinas de reutilización de agua del canal de Panamá. [en línia] Disponible a :  
<<https://www.iagua.es/noticias/panama/autoridad-canal-panama/16/02/16/asi-son-tinas-reutilizacion-agua-canal-panama>> [Visitat el 14 d'abril de 2020].

- [12] What is the El Niño–Southern Oscillation (ENSO) in a nutshell? [en línia] Disponible a : <<https://www.climate.gov/news-features/blogs/enso/what-el-ni%C3%B1o%E2%80%93southern-oscillation-enso-nutshell>> [Visitat el 20 d'abril de 2020].
- [13] ¿Cómo funciona el Canal de Panamá? [en línia] Disponible a : <<https://www.vix.com/es/btg/curiosidades/8584/como-funciona-el-canal-de-panama>> [Visitat el 13 d'abril de 2020].
- [14] Medidas de ahorro de agua del Canal de Panamá arrojan resultados positivos. [en línia] Disponible a : <<https://www.laestrella.com.pa/economia/200506/medidas-ahorro-agua-canal-panama-arrojan-resultados-positivos>> [Visitat el 21 d'abril de 2020].
- [15] Ampliación del Canal de Panamá. [en línia] Disponible a : <[https://es.wikipedia.org/wiki/Ampliaci%C3%B3n\\_del\\_Canal\\_de\\_Panam%C3%A1](https://es.wikipedia.org/wiki/Ampliaci%C3%B3n_del_Canal_de_Panam%C3%A1)> [Visitat el 23 d'abril de 2020].
- [16] Por qué el Canal De Panamá se está quedando sin agua. [en línia] Disponible a : <<https://www.bbc.com/mundo/noticias-america-latina-51840165>> [Visitat el 30 d'abril de 2020].
- [17] Impacto de la ampliación del canal en los lagos de Gatún y Miraflores [en línia] Disponible a : <<http://bibliotecavirtual.clacso.org.ar/ar/libros/panama/cela/tareas/tar124/09vargas.pdf>> [Visitat el 30 d'abril de 2020].
- [18] Estudios de Río Indio y Bayano. | La Prensa Panamá. [en línia] Disponible a : <[https://www.prensa.com/impres/a/economia/Estudios-rio-Indio-Bayano-avance\\_0\\_5333466642.html](https://www.prensa.com/impres/a/economia/Estudios-rio-Indio-Bayano-avance_0_5333466642.html)> [Visitat el 28 d'abril de 2020].
- [19] Dessalinitzadora del Prat. [en línia] Disponible a : <[https://ca.wikipedia.org/wiki/Dessalinitzadora\\_del\\_Pratt](https://ca.wikipedia.org/wiki/Dessalinitzadora_del_Pratt)> [Visitat el 12 de maig de 2020].
- [20] Dessalinitzadora del Prat de Llobregat. [en línia] Disponible a : <<http://www.amb.cat/web/ecologia/aigua/instalacions-i-equipaments/detall/-/equipament/dessalinitzadora-del-prat-de-llobregat/348901/11818>> [Visitat el 12 de maig de 2020].
- [21] Ciclón Tropical. [en línia] Disponible a : <[https://es.wikipedia.org/wiki/Cicl%C3%B3n\\_tropical](https://es.wikipedia.org/wiki/Cicl%C3%B3n_tropical)> [Visitat el 15 de maig de 2020].
- [22] Canal De Panama. [en línia] Disponible a : <<http://www.alonso-roy.com/cp/cp-10.html>> [Visitat el 12 d'abril de 2020].

- [23] Lago Gatún. [en línia] Disponible a : <[https://es.wikipedia.org/wiki/Lago\\_Gat%C3%BAn](https://es.wikipedia.org/wiki/Lago_Gat%C3%BAn)> [Visitat el 21 d'abril de 2020].
- [24] El ahorro de agua y el Canal de Panamá. [en línia] Disponible a : <<https://www.panamaamerica.com.pa/opinion/el-ahorro-de-agua-y-el-canal-de-panama-1153884>> [Visitat el 21 d'abril de 2020].
- [25] Canal de Panamá: Funcionamiento. [en línia] Disponible a : <[https://www.youtube.com/watch?v=iWXMQcqdP\\_Q](https://www.youtube.com/watch?v=iWXMQcqdP_Q)> [Visitat el 15 d'abril de 2020].
- [26] ¿Cómo funcionan las Esclusas del Canal de Panamá? [en línia] Disponible a : <<https://www.youtube.com/watch?v=rzac7mQUOzc>> [Visitat el 15 d'abril de 2020].





