

# **Influential Article Review -Investment Choices Under Unpredictability on LNG-Powered Vessels**

**Doris Ryan**

**Garry Roberts**

**Donna Moss**

*This paper examines investment. We present insights from a highly influential paper. Here are the highlights from this paper: The shipping industry is investigating alternative fuels for ships, in order to comply with stricter emission requirements implemented by International Maritime Organization (IMO). Liquefied Natural Gas (LNG) is a promising alternative since it could reduce emissions substantially and offer potential fuel cost savings. But the investment in LNG fuelled vessels is currently facing a high degree of uncertainty, such as the differential between the prices of LNG and conventional maritime fuels, the availability of LNG and the reliability of its supply chain. This paper makes an attempt to study the possibility of investing in LNG powered vessels under uncertainty. A deferral option model is proposed to quantify the value of flexibility for deferral based on multi-variables following specified stochastic processes. By exploiting the stochastic processes, it is possible to determine the value of deferral by solving a dynamic program using a least squares Monte Carlo simulation. The model is tested on an investment of a new chemical vessel with 19,000 dwt powered by LNG. Empirical analysis may suggest different investment strategies based on the probabilities of exercising an option and related option values each year. It indicates further that the attractiveness of LNG as ship fuel is dominated by a couple of parameters: difference of ship prices between a LNG powered vessel and a reference one, the price differential between LNG and conventional fuel prices, the share of the sailing time inside Emission Control Areas (ECAs), and the supply cost of LNG. For our overseas readers, we then present the insights from this paper in Spanish, French, Portuguese, and German.*

*Keywords: LNG powered vessel, Environmental compliance, Deferral option model, Monte Carlo simulation*

## **SUMMARY**

- The model has been tested using a chemical vessel of 19,000 dwt burning LNG and a reference one burning maritime fuels. The specifications of the vessels are given in Table 5 below. In the analysis we assume the economic life of one vessel is 20 years.
- The study makes an attempt to solve the probability of each option of investing in a LNG powered vessel between 2016 and 2020. Costs are estimated of a LNG powered vessel in comparison to a reference vessel burning maritime fuel oils. For a conventional ship, 0.1% LSFO is used inside an

ECA. Off the ECA, fuel oils not exceeding 3.5% sulphur could be used by 2020, after which the global sulphur cap will be reduced to 0.5%. For the LNG powered ship, dual-fuel low speed diesel engine is installed as the main engine. LNG is the main fuel and LSFO is the pilot fuel, so SCR is required to comply with Tier III.

- To simulate fuel prices and estimate the net present values of total costs. Here, we use the method proposed by Dixit and Pindyck to estimate the parameters of IFO and LNG prices in Eqs. (1) and (2). Where  $\sigma_o$ ,  $\sigma_{ghh}$  and  $\sigma_{gjp}$  are the standard deviations of regression equations, respectively.  $P_{ghh}$  refers to LNG prices at Henry Hub,  $P_{ghh}$  denotes the mean of the variable  $P_{ghh}$ . Where  $P_{mgo}$ ,  $P_o$  refers to MGO price,  $P_o$  means IFO price at time  $t$ ,  $\alpha$  is the parameter and  $\beta$  the intercept.
- For IFO prices, the data set used in our study consists of weekly IFO prices in Singapore covering the period from Jan 12th, 1990 to June 26th, 2015, yielding a sample of 1325 observations. For MGO prices, the data set comprises 1325 observations as well.
- One sample of simulated prices for maritime fuels over July 3rd 2015 to July 6th 2040. Once we get simulated prices of maritime fuels over the period of June 2015 to June 2040, annual voyage costs could be estimated. The LNG costs of the LNG powered vessel are estimated based firstly on LNG prices at Henry Hub. The impacts of LNG prices at Japan on the changes of the total costs and the final investment decision will be discussed in the sensitivity analysis.
- In order to use the LSM algorithm, the option needs to be exercised in discrete times in the interval  $[0, T]$ . Where  $\pi_{tn}$  is the net present value of the total cost savings between a LNG fuelled vessel and a conventional one and it is a function dependent on the stochastic LNG prices, denoted as  $P_{g,tn+1}$  and fuel oil prices, denoted as  $P_{o,tn+1}$ .  $t_n$  is a time state such that  $t_{n+1} - t_n = \Delta t = 1$  and  $n = T/\Delta t = 6$  is the final time horizon, but  $n = 0$  is the initial time state being solved for.
- Since LSM will be used to solve the backward dynamic program, let's start with Year 5, i.e. the year of 2020. In Year 5, the shipowner has the possibility of investing in a new technology or deferring the investment decision.
- We assess the abatement option with focus on the operation time in the emission control areas. Figure 4 shows the probability of exercising an option for vessels which operate 25% of one year within ECA waters and the second for vessels which operate 50%, and the third for vessels operating 100% in the ECAs. The main observations from Fig. 4 suggest that an increase in the time spent in an ECA would increase the attractiveness of investing in a new LNG powered ship, and an immediate investment decision would be more preferable for all cases. In particular, when a ship operates the whole year inside an ECA, the probability of no investment is reduced to below 10% and that of exercising option at the first year is clearly increased to 90%. If studying further all of these options exercised, we find that on average LNG needs a rebate of \$100–\$150 per ton to be competitive, bolstered by the findings in Lindstad et al. (2015).
- Figure 5 compares the probability of exercising an option and the call option values for different new-built ship values. It should be noted that in our research it is the benchmark level for the ship value of a LNG powered ship 20% higher than a conventional one. Suppose a vessel operates 25% of one year in an ECA. In this case, when a ship burning LNG is 30% more valuable than that of a reference one, 67% of the time for the optimal decision to exercise an investment option would lie within the first year, decreased from 77.7% when the price differential remains at 20%. While when the price differential is narrowed to be 10%, the probability of exercising the investment option is significantly increased to be 83% and that of deferring the decision to the future or no investment over the 5-year period is declined to be 13.7%.
- Sample distribution of time to exercise option for various ship values regarding different operation time in an ECA for each path. Notes: 1ECA means a LNG powered ship is 10% more expensive than that of a conventional one.

## HIGHLY INFLUENTIAL ARTICLE

We used the following article as a basis of our evaluation:

Chen, S., Zheng, S., & Zhang, Q. (2018). Investment decisions under uncertainty on LNG-powered vessels for environmental compliance. *Journal of Shipping and Trade*, 3(1), 1–19.

This is the link to the publisher's website:

<https://jshippingandtrade.springeropen.com/articles/10.1186/s41072-018-0031-4>

## INTRODUCTION

The shipping industry is a substantial emitter of air pollutants such as nitrogen oxides (NO<sub>x</sub>), sulphur oxides (SO<sub>x</sub>), carbon monoxide (CO) and carbon dioxide (CO<sub>2</sub>), because the vast majority (95%) of the world's shipping fleet runs with engines powered by Intermediate Fuel Oil (IFO) for economic reasons (Cullinane and Bergqvist 2014). Though IFOs are cost effective, they contain high levels of asphalt, carbon residues, sulphur and metallic compounds and have high viscosity and low volatility properties as well.

The International Maritime Organization (IMO) is responsible for regulations on ship emissions aiming at protecting and improving the ocean environment. The Annex VI of the international convention for the Prevention of Pollution from Ships (MARPOL) came into force on 19 May 2005 and a Annex VI with tightened limits was adopted in October 2008 entering into force on 1 July 2010. In the Annex VI, limits are set on emissions of sulphur dioxide and nitrogen oxides both in Emission Control Areas (ECAs) and in global waters. The caps of ship gas emissions, in particular SO<sub>x</sub> and NO<sub>x</sub>, are subject to a series of step changes over the years, which are described in Tables 1 and 2.

In order to meet these emission requirements, there are diverse abatement technologies that could be adopted by ship owners. Table 3 shows a summary of the emission reduction systems currently used in ships (Burel et al. 2013). Among all of these measures, the most realistic alternatives are three if the focus is to reduce SO<sub>x</sub> and NO<sub>x</sub> emissions, suggested by Acciaro (2014). The first is the switch to higher-quality fuels, low in sulphur contents. The second is the use of exhaust gas cleaning systems, often referred to as maritime scrubbers, in combination with selective catalytic reduction to reduce nitrogen oxides for new vessels. And the third one is the use of vessels operating on LNG. Ship specifications, advantages and disadvantages of these three alternatives can be demonstrated in Table 4. It is further discussed in Acciaro (2014) that the use of scrubbers at sea is not well established due to the lack of detailed technical studies and accurate cost figures. Therefore, the alternative of installing exhaust gas cleaning systems is out of the scope and the focus is on distillate fuels (distillate oils include diesel fuels and fuel oils, e.g. Marine Gas Oil (MGO) and Intermediate Fuel Oil (IFO)) or on LNG.

Among the technologies that are currently evaluated, the possibility for ships of switching to LNG as a main fuel has gained significant concerns during the last few years. The use of LNG as the fuel for vessels has potentially substantial advantages, since LNG allows for a significant reduction of NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>. It is quite attractive in particular for ECA compliance, as clearly demonstrated in Table 3. However, technical maturity, availability and costs appear to be the most critical issues for the success of LNG as a maritime fuel on a large scale (Acciaro et al. 2013).

The investment returns of two alternatives of using distillate oils or LNG are greatly dependent on the price differences between distillate oils and LNG. However, the future prices of LNG are largely unknown as an international market for natural gas does not exist and the future prices of IFO and MGO are largely volatile caused by global unstable economic and political situations. The uncertainty associated with price differentials among fuels could not be taken into consideration in a traditional discounted cash flow (DCF) analysis when making the economic evaluation of the ship investment. The traditional approach assumes that management, having made the decision to initiate a capital investment, will manage cash flows continuously as planned until the end of its pre-specified useful life. This approach ignores the ability of

management to adapt or revise decisions in response to unexpected market developments (Lai and Trigeorgis 1995; Bendall and Manger 1988; Bendall and Stent 2007).

Real Options Analysis (ROA), in contrast, incorporates both the uncertainty inherent in the operating business environment and the ability to actively manage, control or alter, (albeit to switch inputs or technology, expand, abandon, defer, etc.) a project in response to the changing circumstances when new information becomes available (Trigeorgis 1991, 1993a, 1993b; Bendall and Stent 2007). There is a wide body of literature in the field of real options. Trigeorgis (1995, 1996) amongst others provide a good summary of the field. Till now the Real Option Analysis (ROA) has been applied successfully into the shipping industry to analyze managerial strategies, see Alizadeh and Nomikos (2009) for a review, including the decision to enter or exit a certain market (Dixit 1989, 1992); the extension of a time charter agreement (Bjerk Sund and Ekern 1995); the investment in a new service (Bendall and Stent 2003); the switch between dry and wet markets (Sødal et al. 2008, 2009); the investment in new vessels or portfolio of vessels (Hopp and Tsolakis 2004; Bendall and Stent 2003, 2005, 2007; Dikos 2008); or the change of flag for a vessel (Kavussanons and Tsekrekos 2011).

Until recently, the real options used for investment related to environmental compliance in shipping can be seen in Acciaro et al. (2013) and Acciaro (2014), which proposes a decision support model for ship owners based on the use of an option to defer in order to assess the viability of postponing investment in retrofitting vessels for environmental compliance. One of the main limitations in Acciaro et al. (2013) is that the price differential between LNG prices and distillates was fixed. Although the limitation was overcome in Acciaro (2014) by making the price differential change yearly, prices of LNG and distillates are just one sample of the fuel price distributions. If the sample path is changed, cost savings will be changed as well, and this may significantly influence the results.

In our paper, we propose a deferral option model where fuel prices are characterized by the mean-reverting geometric Brownian motion, and 300 sample paths are used to calculate the frequency of an investment opportunity. A dynamic program is designed to determine the value of the flexibility by making use of a least squares Monte Carlo simulation algorithm.

The main differences of our research with previous studies rest with three aspects. First, investment approaches incorporating uncertainty are abundant, but very little has dealt satisfactorily with non-stationary variables. In our study, fuel prices are characterized by non-stationary stochastic processes, because it seems not possible to make the prediction of these prices in the long term. Second, how the optimal time to invest changes with different paths and under different assumptions about market conditions is assessed. Third, various scenarios influencing the time to exercise option are discussed, providing support for shipping companies to make the investment decisions. The proposed model not only provides a tool to analyze the investment strategy under uncertainty, but it also provides an insight into the interdependency of variants influencing the investment in LNG powered vessels and will show the required flexibility in the decision-making for shipping companies.

This paper is structured as follows. The next section describes a proposed analytical modelling approach to measure the value of flexibility in deferring under non-stationary stochastic demand using real options solution methodologies. This is followed by a presentation of the data properties. We then proceed to present the empirical analysis. Some conclusions and directions for further research are addressed in the last section.

## CONCLUSION

The investment in LNG fuelled vessels is currently facing a high degree of uncertainty, such as the differential between the prices of LNG and conventional maritime fuels, the availability of LNG and the reliability of its supply chain. The discounted cash flow techniques cannot incorporate the flexibility to respond to new information and to defer the investment, therefore, real options analysis is favoured by academia to accommodate flexibility in the investment decision so that the valuation of a project can reflect operating and strategic adaptability.

The real options literature describes methods for quantifying the value of flexibility to execute such a strategy. Until recently, Chow and Regan (2011) have proposed an option methodology for network designs that feature multidimensional and stochastic variables. To date it has been the first time such an option methodology has been considered in deferring an investment in a LNG powered new ship related to environmental compliance in shipping. The proposed deferring option model is a numerical option evaluation method using the LSM algorithm to solve a backward dynamic program.

The prices of maritime fuels are assumed to follow the mean-reverting geometric Brownian motion, which are contained in the deferral option model. The model is solved following LSM algorithm proposed by Chow and Regan (2011). Based on the mean-reverting geometric Brownian motion equations, 300 sample paths of simulated weekly fuel prices over the period of 2015 to 2040 can be generated. Once fuel prices are given, the savings of the total costs for two types of chemical vessels can be computed. The deferral option model proposed in this paper can be solved by simulation within Matlab and the distribution of time to exercise option and the call option values are obtained for each path.

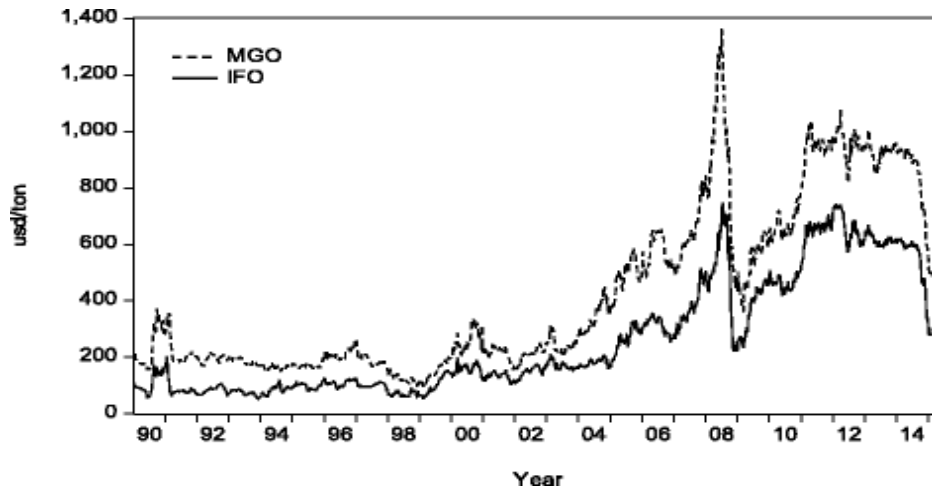
Results indicate that the attractiveness of LNG as the ship fuel compared to the use of distillate fuels is dominated by several parameters, including the price difference between LNG and IFO; the share of operation inside ECAs, the differential of new ship values between a LNG powered ship and a reference one and the supply cost.

The model to predict costs for LNG systems on board chemical vessels offers extensive possibilities to study additional variants. Options include different vessel sizes, fuel consumption of vessels, route profiles, and other LNG related operational costs.

In our study, we only examine the possibility of investing in a LNG powered vessel to comply with emission requirements of SOx and NOx. While the contribution of LNG as the ship fuel to CO2 reduction sparks off considerable debate and it will be left for further study.

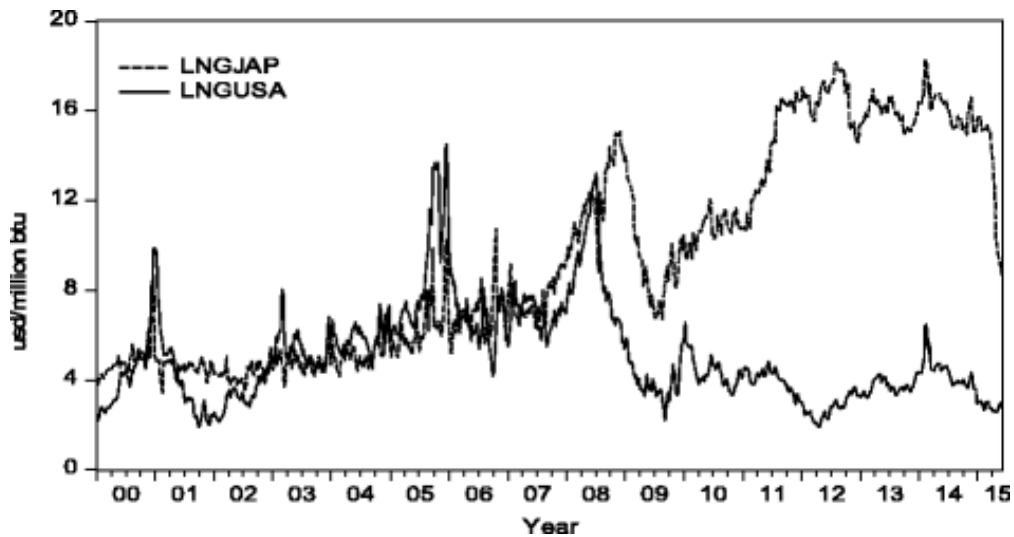
## APPENDIX

**FIGURE 1**  
**WEEKLY IFO AND MGO PRICES OVER THE PERIOD OF JAN 1990 TO JUNE 2015**



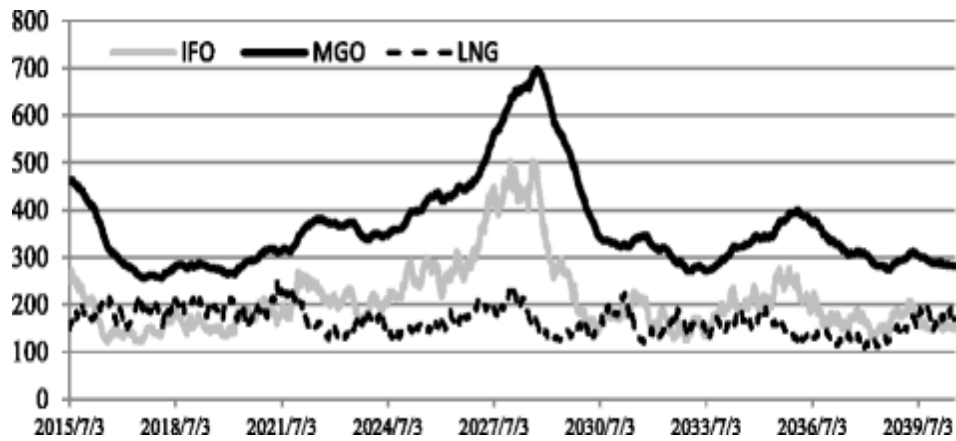
Source: authors' own elaboration based on data from Clarksons Research Co. Ltd

**FIGURE 2**  
**WEEKLY LNG PRICES AT JAPAN AND HENRY HUB OVER THE PERIOD OF JAN 2000 TO**  
**JUNE 2015**



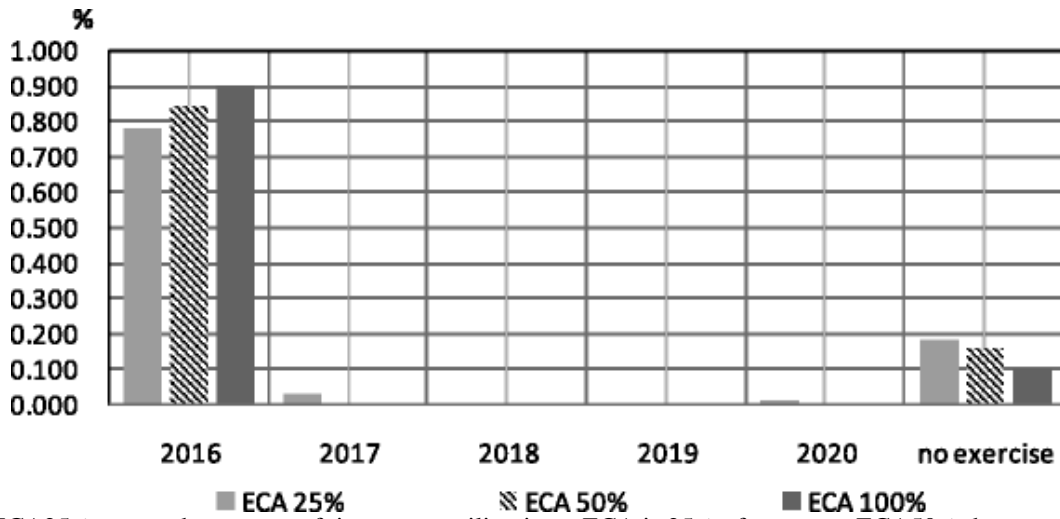
Source: authors' own elaboration based on data from an Energy Consultancy Company in Beijing

**FIGURE 3**  
**ONE SAMPLE OF SIMULATED PRICES FOR MARITIME FUELS OVER JULY 3RD 2015 TO**  
**JULY 6TH 2040**



**FIGURE 4**

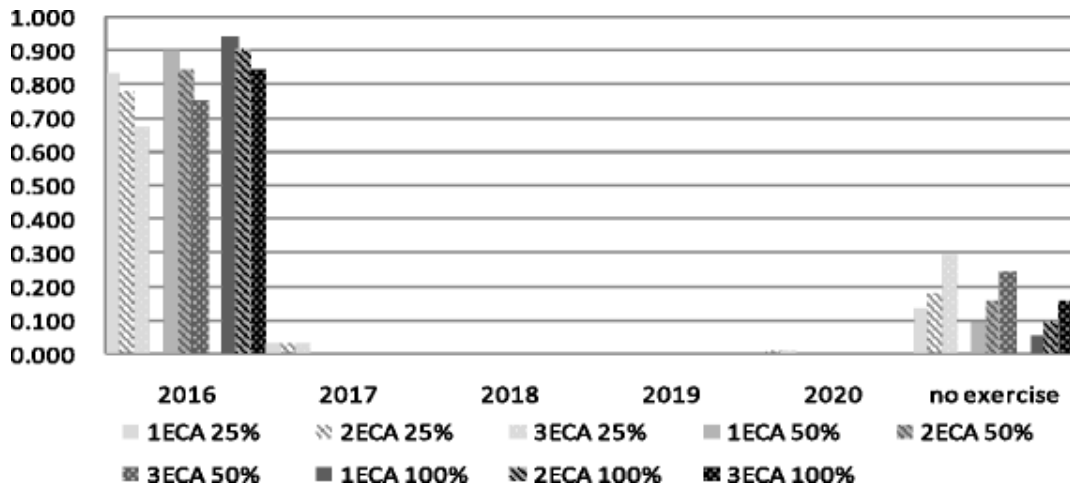
**PROBABILITIES OF EXERCISING OPTION FOR VARIOUS OPERATING TIME WITHIN ECAS**



Notes: ECA25% means the amount of time spent sailing in an ECA is 25% of one year; ECA50% the amount of time spent sailing in an ECA is 50%; while ECA 100% implies that a ship operates the whole year in an ECA

**FIGURE 5**

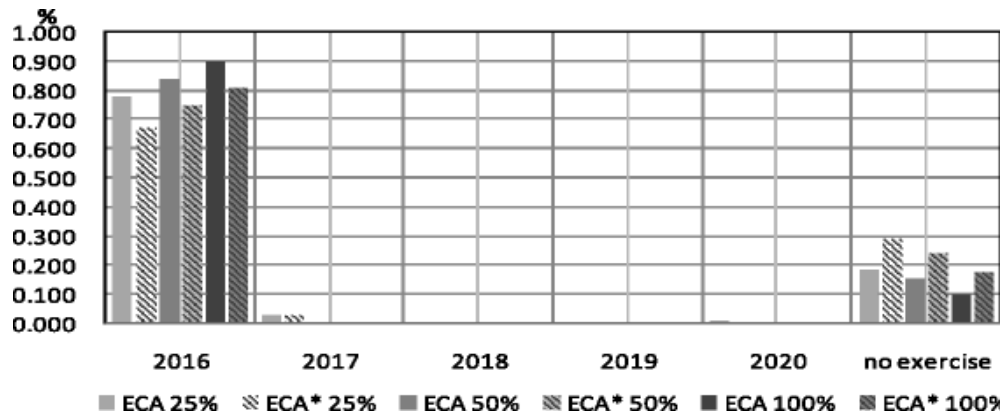
**SAMPLE DISTRIBUTION OF TIME TO EXERCISE OPTION FOR VARIOUS SHIP VALUES REGARDING DIFFERENT OPERATION TIME IN AN ECA FOR EACH PATH**



Notes: 1ECA means a LNG powered ship is 10% more expensive than that of a conventional one. 2ECA implies that the ship price of a LNG powered ship is 20% higher than that of a conventional oil fuelled one. 3ECA denotes that the price differential between two types of vessels reaches 30%. ECA 25% denotes that a vessel runs 25% of one year in an ECA and ECA 50% indicates that a vessel operates 50% of one year in an ECA and ECA 100% means that a vessel runs the whole year in an ECA

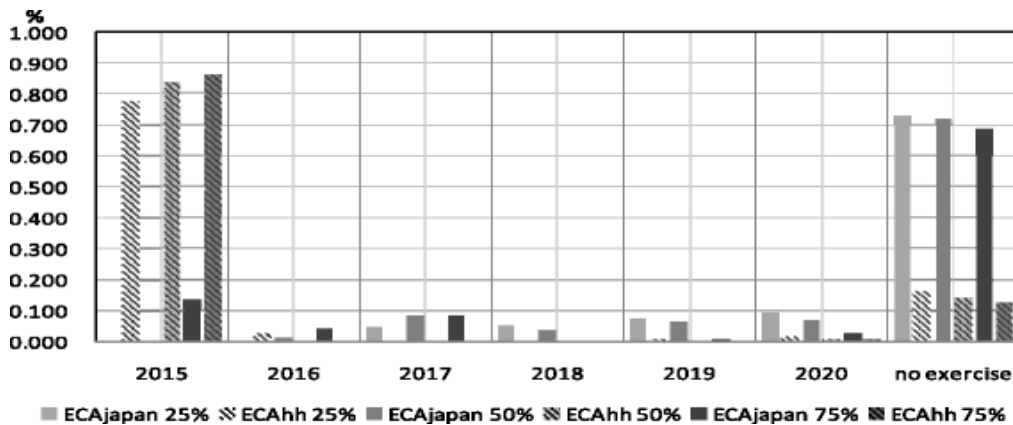
**FIGURE 6**

**SAMPLE DISTRIBUTION OF TIME TO EXERCISE OPTION FOR DIFFERENT SUPPLY COSTS FOR EACH PATH**



Notes: ECA means the supply cost is set at 10% of LNG prices and ECA\* means the supply cost is increased to 30%. ECA 25% denotes that a vessel runs 25% of one year in an ECA; and ECA 50% indicates that a vessel operates 50% of one year in an ECA and ECA 100% means that a vessel runs the whole year in an ECA

**FIGURE 7  
SAMPLE DISTRIBUTION OF TIME TO EXERCISE OPTION FOR LNG PRICES AT DIFFERENT STATIONS FOR EACH PATH**



Notes: ECAjapan 25% means LNG prices in Japan in the case of ECA 25%. ECAhh 25% denotes LNG prices at Henry Hub in the case of ECA 25%. ECAjapan50% refers to LNG prices in Japan in the case of ECA 50%. ECAhh 50% refers to LNG prices at Henry Hub in the case of ECA 50%. ECAjapan100% refers to LNG prices in Japan in the case of ECA 100%. ECAhh 100% denotes LNG prices at Henry Hub in the case of ECA 100%

**TABLE 1  
FUEL SULPHUR CONTENTS: GLOBAL AND ECA LIMITS**

Date	Global limit [% mass]	Date	ECA limit [% mass]
Prior to 1/1 2010	4.5%	Prior to 1/7/2010	1.5%
After 1/1 2010	3.5%	After 1/7/2010	1.0%
After 1/1 2020	0.5%	After 1/1/2015	0.1%

Source: Burel et al. (2013)

**TABLE 2  
NOX EMISSION REDUCTION PROGRAMME**



Tier	Date	NO <sub>x</sub> limit [g/kwh]		
		n<130	130 ≤ n < 2000	n ≥ 2000
Tier I	2000	17.0	45 × n <sup>-0.2</sup>	9.8
Tier II	2011	14.4	44 × n <sup>-0.23</sup>	7.7
Tier III	2016 <sup>a</sup>	3.4	9 × n <sup>-0.2</sup>	1.96

n = engine speed [rpm]

only for NO<sub>x</sub> ECAs (TIER II applies outside ECAs)

Source: Burel et al. (2013)

**TABLE 3  
GAS EMISSION REDUCTION RESULTING FROM OPERATING WITH DIFFERENT  
EMISSION CONTROL SYSTEMS COMPARED TO THE USE OF LNG**

Abatement technology/measure	Emission reduction (%)			
	SO <sub>x</sub>	NO <sub>x</sub>	PM	CO <sub>2</sub>
Basic internal engine modifications for 2 strokes, slow speed only	0	-20	0	0
Advanced internal engine modifications	0	-30	0	0
Direct water injection	0	-50	0	0
Humid air motors	0	-70	0	0
Exhaust gas recirculation + scrubbing	-93	-35	-63	0
Selective catalytic reduction (2.7% S residual oil fuel)	0	-90	0	0
Sea water scrubbing	-75	0	-25	0
Fuel switching (from 2.7% S to 1.5% S IFO)	-44	0	-18	0
Fuel switching (from 2.7% > 1.5% S IFO)	-81	0	-20	0
Low S marine diesel (from 0.5% to > 0.1% S)	-80	0	0	0
Liquefied Natural Gas (LNG)	-90	-80	-100	-20

Source: Burel et al. (2013)

**TABLE 4  
SHIP SPECIFICATIONS, PROS AND CONS OF THREE EMISSION ABATEMENT  
MEASURES**

Options	A	B	C
	Oil powered ship with SCR	Oil powered ship with scrubber + SCR	LNG powered ship with SCR
Main engines and propulsion			
Engine type	Diesel	Diesel	Dual Fuel Diesel
Propulsion system	Direct	Direct	Direct
Auxiliary engine			
Engine type	Diesel	Diesel	Dual Fuel Gas
Fuel (in ECA)	LSFO (Low Sulphur Fuel Oil) (0.1% S)	IFO	LNG, LSFO (0.1% S)
Off ECA	LSFO (0.5% S)		LNG
SCR	Installed	Installed	Installed
Scrubber	Not	Installed	Not
Procs	-No or little modifications and investment needed -Well known and tested	-Lower fuel costs -Fuel available	-Potential CO2 reduction <sup>a</sup> -Much lower maintenance
Cons	-Higher fuel costs -Fuel availability uncertain -Wear and tear	-Higher OPEX, fuel consumption and maintenance costs -Ship design and stability challenges -Sludge management: need to create a logistics chain and adapt port infrastructure	-More space needed for the gas system on board -Bunkering points and associated logistics to be created -Safety aspects increase complexity of the supply chain, ship design and operations -Skilled and trained crew

means the contribution of LNG as the fuel to CO2 reduction remains a topic of debate

**TABLE 5**  
**SHIP PARAMETERS FOR TWO TYPES OF CHEMICAL SHIPS**

Options	Unit	Traditional Type <sup>a</sup>	New Type <sup>b</sup>
		Oil ship with SCR	LNG fuelled ship with SCR
Main engines and propulsion			
Engine speed	-	Low	Low
Engine type	-	Diesel	Dual Fuel Diesel
Propulsion system	-	Direct	Direct
Auxiliary engine			
Engine speed	-	Medium	Medium
Engine type	-	Diesel	Dual Fuel gas
Fuel (in ECA)	-	LSFO (0.1% S)	LNG, LSFO
Off ECA	-	MGO (0.5% S)	LNG
SCR		Installed	Installed
Deadweight	DWT	19,000	19,000
Speed	Knot	13.3	13.3
Days at sea	Days	35	35
Days at ports	Days	13	13
Fuel consumption at sea	Tonnes/day	23.7	20.88
Fuel consumption at port(MGO)	Tonnes/day	9.4	3.12

Source: Stolt Nielsen Chemical Company in Shanghai and Dingheng Shipbuilding Co. Ltd  
a means the ship burning oil-based fuels, while b denotes the ship burning LNG

**TABLE 6**  
**PARAMETERS OF VARIABLES IN EQS. (6)–(7) AND (23)**

	Parameters	Estimates	Parameters	Estimates	Parameters	Estimates
IFO	$\eta_o$	0.002456	$\bar{P}_o$	5.5638	$\sigma_o$	0.0377
MGO	$\alpha$	0.894557	$\beta$	1.1109	-	-
LNG <sub>henry hub</sub>	$\eta_{ghh}$	0.01616	$\bar{P}_{ghh}$	1.5653	$\sigma_{ghh}$	0.04939
LNG <sub>japan</sub>	$\eta_{gjp}$	0.01376	$\bar{P}_{gjp}$	2.1945	$\sigma_{gjp}$	0.05562

$\eta_o$  is a generalized drift parameter and  $\sigma_o$  is a generalized diffusion parameter.  $\bar{P}_o$  is the mean value of oil-based fuel prices.  $\alpha$  is the parameter and  $\beta$  the intercept in the cointegrating vector of the cointegration relationships between IFO and MGO.  $\eta_{ghh}$  is a generalized drift parameter and  $\sigma_{ghh}$  is a generalized diffusion parameter.  $\bar{P}_{ghh}$  denotes the mean value of LNG prices at Henry Hub.  $\eta_{gjp}$  is a generalized drift parameter and  $\sigma_{gjp}$  is a generalized diffusion parameter.  $\bar{P}_{gjp}$  denotes the mean value of LNG prices at Japan and  $W \Delta t$  can be simulated with a normal inverse function with  $\varepsilon \Delta t \sqrt{\cdot}$  where  $\varepsilon \sim N(0, 1)$

**TABLE 7**  
**THE NET PRESENT VALUES OF TOTAL COSTS EACH PERIOD FOR 300 SAMPLE PATHS FOR TWO TYPES OF VESSELS (UNIT:\$)**

Sample path j	1-20 <sup>a</sup>	2-21	3-22	4-23	5-24
1	93,652,148	94,619,235	96,308,355	97,813,552	99,229,020
2	87,457,616	86,617,530	85,429,349	84,239,065	83,983,471
3	91,875,435	92,990,715	94,714,786	96,839,855	99,295,831
	114,598,621	116,251,992	117,713,689	118,678,309	119,689,962
298	93,650,277	93,710,972	93,995,208	94,113,740	94,653,258
299	93,532,797	94,041,005	94,933,723	95,451,127	95,576,234
300	82,098,887	82,644,984	83,956,705	85,022,315	85,737,473
Part 2: The net present values of total costs each period for 300 sample paths for a LNG powered vessel					
1	79,517,962	80,917,733	81,922,366	82,876,357	84,012,918
2	80,967,571	82,311,144	83,878,890	85,459,745	86,618,243
3	81,442,731	82,768,563	83,555,735	84,776,658	86,053,819
	83,744,186	84,999,982	86,230,016	87,056,316	87,897,931
298	84,168,935	85,602,135	86,892,395	88,276,463	89,917,868
299	79,497,737	80,667,512	82,373,912	84,099,198	85,495,554
300	79,918,498	81,261,929	82,257,027	83,598,094	84,725,689

a1-20 means the investment in 2016 and the ship will be operated for the next 20 years. 2-21 means the investment in 2017 and the ship will be operated for the next 20 years. 3-22 means the investment in 2018 and the ship will be operated for the next 20 years. 4-23 means the investment in 2019 and the ship will be operated for the next 20 years. 5-24 means the investment in 2020 and the ship will be operated for the next 20 years

**TABLE 8**  
**SIMULATION RESULTS OF 300 SAMPLE PATHS IN THE CASE OF ECA 25%A**

Sample path j	The optimal year to exercise	Option value (\$)	Discount rate	Present value of savings (\$)
1	1	18,889,317	1	18,889,317
2	2	8,481,576	1.26248	6,718,203
3	0	0	0	0
4	2	7,095,164	1.26248	5,620,021
5	0	0	0	0
298	1	15,268,176	1	15,268,176
299	1	20,818,910	1	20,818,910
300	0	0	0	0
Simulated option value:				10,066,289

aECA 25% means a ship operates 25% inside ECAs annually

**TABLE 9**  
**SAMPLE DISTRIBUTION OF TIME TO EXERCISE OPTION FOR EACH YEAR IN THE**  
**CASE OF ECA 25%**

Year	2016	2017	2018	2019	2020	No exercise	Option Value
Frequency	233	9	1	1	2	54	\$100,266,289
Percent	77.7%	3%	0.3%	0.3%	0.7%	18%	

## REFERENCES

- Acciaro M (2014) Real option analysis for environmental compliance: LNG and emission control areas. *J Transp Res Part D* 28(1):41–50
- Acciaro M, Hoffmann PN, Eide MS (2013) The energy efficiency gap in maritime transport. *J Ship Ocean Eng* 3(10):1–10
- Adachi M, Kosaka H, Fukuda T, Ohashi S, Harumi K (2014) Economic analysis of trans-ocean LNG-fuelled container ship. *J Mar Sci Technol* 19:470–478
- Alizadeh AH, Nomikos NK (2009) *Shipping derivatives and risk management*. Palgrave MacMillan, Basingstoke
- Benaroch M (2002) Managing information technology investment risk: a real options perspective. *J Manag Inf Syst* 19(2):43–65
- Benaroch M, Kauffman RJ (2000) Justifying electronic banking network expansion using real option analysis. *MIS Q* 24(2):197–225
- Bendall H, Stent AF (2003) Investment strategies in market uncertainty. *Marit Policy Manag* 30(4):293–303
- Bendall H, Stent AF (2007) Maritime investment strategies with a portfolio of real options. *J Marit Policy Manage* 34(5):441–452
- Bendall HB, Manger G (1988) Corporate governance, capital structure and budgeting: preliminary evidence from the maritime industry. Inaugural Australasian Finance and Banking Conference, Australian Graduate School of Management, Sydney December
- Bendall HB, Stent AF (2005) Ship investment under uncertainty: valuing a real option on the maximum of several strategies. *J Marit Econ Logist* 7(1):19–35
- Bjerkund P, Ekern S (1995) Contingent claims evaluation of mean reverting cash flows in shipping. In: Trigeorgis L (ed) *Real options in capital investment*. Praeger, London, pp 207–221
- Boyle PP (1977) Options: a Monte Carlo approach. *J Financ Econ* 4:323–338
- Brennan M, Schwartz E (1977) The valuation of American put options. *J Financ* 32:449–462
- Burel F, Taccani R, Zuliani N (2013) Improving sustainability of maritime transport through utilization of liquefied natural gas (LNG) for propulsion. *Energy* 57:412–420

- Chow JYJ, Regan AC (2011) Real option pricing of network design investments. *J Transp Sci* 45(1):50–63
- Clarksons Research Co. Ltd. n.d. Clarksons Research Database. 2016. <https://sin.clarksons.net/>.
- Cox JC, Ross AS, Rubinstein M (1979) Option pricing: a simplified approach. *J Financ Econ* 7:229–263
- Cullinane K, Bergqvist R (2014) Emission control areas and their impact on maritime transport. *Transp. Res. D: Transp Environ*, 28, 1–5.
- Dikos G (2008) Real option econometrics for aggregate tanker investment decisions. *Int J Ocean Syst Manag* 1(1):31–33
- Dixit A (1989) Entry and exit decisions under uncertainty. *J Polit Econ* 97(3):620–638
- Dixit A (1992) Investment and hysteresis. *J Econ Perspect* 6(1):107–132
- Dixit A, Pindyck R (1994) *Investment under uncertainty*. Princeton University Press, Princeton
- Hopp C, Tsolakis SD (2004) Investment applications in the shipping industry. In: *Proceedings of the 8th annual international conference on real Options*, 17–19 June, Montréal, Canada
- Kavussanons MG, Tsekrekos AE (2011) The option to change the flag of a vessel. In: Cullinane K (ed) *International Handbook of Maritime Economics*. Edward Elgar, Cheltenham, pp 47–62
- Lai VS, Trigeorgis L (1995) The strategic capital budgeting process: a review of theories and practice. In: Trigeorgis L (ed) *The capital budgeting process real options in capital investment: models, strategies and applications*. Praeger, London, pp 69–96
- Li YD (2007) *The research on ship investment strategies under uncertainty*. In: PhD Thesis. Shanghai Maritime University, Shanghai
- Lindstad H, Sandaa I, Strømman AH (2015) Assessment of cost as a function of abatement options in maritime emission control areas. *Transp Res D* 38(2015):41–48
- Longstaff FA, Schwartz ES (2001) Valuing American options by simulation: a simple least-squares approach. *Rev Financ Stud* 14(1):113–147
- Sødal S, Koekebakker S, Adland R (2008) Market switching in shipping -a real option model applied to the valuation of combination carriers. *Rev Financ Econ* 17(3):183–203
- Sødal S, Koekebakker S, Adland R (2009) Value based trading of real assets in shipping under stochastic freight rates. *Appl Econ* 41(22):2793–2807
- Trigeorgis L (1991) Anticipated competitive entry and early preemptive investment in deferrable projects. *J Econ Bus* 43(2):143–156
- Trigeorgis L (1993a) Real options and interaction with financial flexibility. *J Financ Manag* 22(3):202–224
- Trigeorgis L (1993b) The nature of option interactions and the valuation of investments with multiple real options. *J Financ Quant Anal* 28(1):1–20
- Trigeorgis L (1995) *Real options in capital investment*. In: *Models, strategies and applications*. Praeger, London
- Trigeorgis L (1996) *Real options: managerial flexibility and strategy in resource allocation*. Massachusetts Institute of Technology, Massachusetts

## **TRANSLATED VERSION: SPANISH**

Below is a rough translation of the insights presented above. This was done to give a general understanding of the ideas presented in the paper. Please excuse any grammatical mistakes and do not hold the original authors responsible for these mistakes.

## **VERSION TRADUCIDA: ESPAÑOL**

A continuación se muestra una traducción aproximada de las ideas presentadas anteriormente. Esto se hizo para dar una comprensión general de las ideas presentadas en el documento. Por favor, disculpe cualquier error gramatical y no responsabilite a los autores originales de estos errores.

## INTRODUCCIÓN

La industria naviera es un emisor sustancial de contaminantes atmosféricos como los óxidos de nitrógeno (nox), los óxidos de azufre (sox), el monóxido de carbono (CO) y el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), porque la gran mayoría (95%) de la flota naviera mundial funciona con motores propulsados por Petróleo Intermedio de Combustible (IFO) por razones económicas (Cullinane y Bergqvist 2014). Aunque las IFO son rentables, contienen altos niveles de azufre, residuos de carbono, azufre y compuestos metálicos y tienen propiedades de alta viscosidad y baja volatilidad también.

La Organización Marítima Internacional (OMI) es responsable de las regulaciones sobre las emisiones de los buques con el objetivo de proteger y mejorar el medio ambiente oceánico. El Anexo VI del Convenio internacional para la Prevención de la Contaminación de los Buques (MARPOL) entró en vigor el 19 de mayo de 2005 y el 1o de julio de 2010 entró en vigor un Anexo VI con límites más estrictos. En el anexo VI se establecen límites a las emisiones de dióxido de azufre y óxidos de nitrógeno tanto en las zonas de control de emisiones (TA) como en las aguas mundiales. Los límites de las emisiones de gases de los buques, en particular el sox y el nox, están sujetos a una serie de cambios escalonados a lo largo de los años, que se describen en los cuadros 1 y 2.

Con el fin de cumplir con estos requisitos de emisión, existen diversas tecnologías de reducción que podrían ser adoptadas por los armadores. En el cuadro 3 se muestra un resumen de los sistemas de reducción de emisiones utilizados actualmente en buques (Burel et al. 2013). Entre todas estas medidas, las alternativas más realistas son tres si el enfoque es reducir las emisiones de sox y nox, sugeridas por Acciaro (2014). El primero es el cambio a combustibles de mayor calidad, bajos en contenido de azufre. El segundo es el uso de sistemas de limpieza de gases de escape, a menudo denominados depuradores marítimos, en combinación con la reducción catalítica selectiva para reducir los óxidos de nitrógeno para los nuevos buques. Y el tercero es el uso de buques que operan con GNL. Las especificaciones, ventajas y desventajas del buque de estas tres alternativas se pueden demostrar en el Cuadro 4. En Acciaro (2014) se discute además que el uso de depuradores en el mar no está bien establecido debido a la falta de estudios técnicos detallados y cifras de costos precisas. Por lo tanto, la alternativa de instalar sistemas de limpieza de gases de escape está fuera del alcance y la atención se centra en los combustibles destilados (los aceites destilados incluyen combustibles diésel y combustibles, por ejemplo, aceite de gas marino (MGO) y aceite de combustible intermedio (IFO)) o en GNL.

Entre las tecnologías que se evalúan actualmente, la posibilidad de que los buques cambien al GNL como combustible principal ha ganado preocupaciones significativas durante los últimos años. El uso de GNL como combustible para buques tiene ventajas potencialmente sustanciales, ya que el GNL permite una reducción significativa de nox, sox. Es bastante atractivo, en particular, para el cumplimiento del TCE, como se demuestra claramente en el cuadro 3. Sin embargo, la madurez técnica, la disponibilidad y los costos parecen ser los problemas más críticos para el éxito del GNL como combustible marítimo a gran escala (Acciaro et al. 2013).

Los rendimientos de inversión de dos alternativas de uso de aceites destilados o GNL dependen en gran medida de las diferencias de precios entre los aceites destilados y el GNL. Sin embargo, los precios futuros del GNL son en gran medida desconocidos, ya que no existe un mercado internacional de gas natural y los precios futuros de IFO y MGO son en gran medida volátiles causados por situaciones económicas y políticas inestables a nivel mundial. La incertidumbre asociada con las diferencias de precios entre los combustibles no podía tenerse en cuenta en un análisis tradicional de flujo de efectivo descontado (DCF) al realizar la evaluación económica de la inversión naval. El enfoque tradicional supone que la gestión, habiendo tomado la decisión de iniciar una inversión de capital, gestionará los flujos de efectivo continuamente según lo previsto hasta el final de su vida útil pre-especificada. Este enfoque ignora la capacidad de la dirección para adaptar o revisar las decisiones en respuesta a acontecimientos inesperados del mercado (Lai y Trigeorgis 1995; Bendall y Pesebre 1988; Bendall y Stent 2007).

Real Options Analysis (ROA), en cambio, incorpora tanto la incertidumbre inherente al entorno empresarial operativo como la capacidad de gestionar, controlar o alterar activamente (aunque cambiar entradas o tecnología, expandir, abandonar, aplazar, etc.) Un proyecto en respuesta a las circunstancias cambiantes en las que se dispone de nueva información (Trigeorgis 1991, 1993a, 1993b; Bendall y Stent 2007). Hay un amplio cuerpo de literatura en el campo de las opciones reales. Trigeorgis (1995, 1996), entre otros, proporcionan un buen resumen del campo. Hasta ahora, el Análisis de Opciones Reales (ROA) se ha aplicado con éxito en la industria naviera para analizar estrategias de gestión, véase Alizadeh y Nomikos (2009) para una revisión, incluida la decisión de entrar o salir de un determinado mercado (Dixit 1989, 1992); la prórroga de un acuerdo de carta temporal (Bjerksund y Ekern 1995); la inversión en un nuevo servicio (Bendall y Stent 2003); el cambio entre los mercados secos y húmedos (Sádal et al. 2008, 2009); la inversión en nuevos buques o cartera de buques (Hopp y Tsolakis 2004; Bendall y Stent 2003, 2005, 2007; Dikos 2008); o el cambio de bandera para un buque (Kavussanons y Tsekrekos 2011).

Hasta hace poco, las opciones reales utilizadas para la inversión relacionadas con el cumplimiento medioambiental en el transporte marítimo se pueden ver en Acciario et al. (2013) y Acciario (2014), que propone un modelo de apoyo a la toma de decisiones para los armadores basado en el uso de una opción de aplazamiento con el fin de evaluar la viabilidad de la inversión de posapostamiento en buques de reacondicionamiento para el cumplimiento medioambiental. Una de las principales limitaciones de Acciario et al. (2013) es que se fijó la diferencia de precios entre los precios del GNL y los destilados. Aunque la limitación se superó en Acciario (2014) haciendo el cambio diferencial de precios anualmente, los precios de GNL y destilados son sólo una muestra de las distribuciones de precios de combustible. Si se cambia la ruta de la muestra, también se cambiará el ahorro de costes, y esto puede influir significativamente en los resultados.

En nuestro documento, proponemos un modelo de opción de aplazamiento en el que los precios del combustible se caracterizan por el movimiento geométrico Brownian que revierte la media, y se utilizan 300 rutas de muestra para calcular la frecuencia de una oportunidad de inversión. Un programa dinámico está diseñado para determinar el valor de la flexibilidad mediante el uso de un algoritmo de simulación de Monte Carlo menos cuadrados.

Las principales diferencias de nuestra investigación con estudios previos descansan en tres aspectos. En primer lugar, los enfoques de inversión que incorporan incertidumbre son abundantes, pero muy poco ha tratado satisfactoriamente con variables no estacionarias. En nuestro estudio, los precios de los combustibles se caracterizan por procesos estocásticos no estacionarios, porque parece que no es posible hacer la predicción de estos precios a largo plazo. En segundo lugar, se evalúa el tiempo óptimo para invertir cambios con diferentes caminos y bajo diferentes supuestos sobre las condiciones del mercado. En tercer lugar, se discuten varios escenarios que influyen en la opción de tiempo de ejercicio, proporcionando apoyo a las compañías navieras para tomar las decisiones de inversión. El modelo propuesto no sólo proporciona una herramienta para analizar la estrategia de inversión en la incertidumbre, sino que también proporciona una visión de la interdependencia de las variantes que influyen en la inversión en buques propulsados por GNL y mostrará la flexibilidad necesaria en la toma de decisiones para las empresas navieras.

Este documento está estructurado de la siguiente manera. En la siguiente sección se describe un enfoque de modelado analítico propuesto para medir el valor de la flexibilidad a la vez en el marco de la demanda estocástica no estacionaria utilizando metodologías de solución de opciones reales. Esto es seguido por una presentación de las propiedades de datos. A continuación, procedemos a presentar el análisis empírico. Algunas conclusiones y instrucciones para la investigación posterior se abordan en la última sección.

## **CONCLUSIÓN**

La inversión en buques alimentados con GNL se enfrenta actualmente a un alto grado de incertidumbre, como el diferencial entre los precios del GNL y los combustibles marítimos convencionales, la disponibilidad de GNL y la fiabilidad de su cadena de suministro. Las técnicas de flujo de caja descontado no pueden incorporar la flexibilidad para responder a nueva información y aplazar la inversión, por lo tanto,

el análisis de opciones reales es favorecido por el académico para acomodar la flexibilidad en la decisión de inversión de modo que la valoración de un proyecto pueda reflejar la adaptabilidad operativa y estratégica.

La literatura de opciones reales describe métodos para cuantificar el valor de la flexibilidad para ejecutar una estrategia de este tipo. Hasta hace poco, Chow y Regan (2011) han propuesto una metodología de opciones para diseños de red que cuentan con variables multidimensionales y estocásticas. Hasta la fecha ha sido la primera vez que se ha considerado una metodología de este tipo de opciones para aplazar una inversión en un nuevo buque propulsado por GNL relacionado con el cumplimiento ambiental en el transporte marítimo. El modelo de opción de aplazamiento propuesto es un método de evaluación de opciones numéricas que utiliza el algoritmo LSM para resolver un programa dinámico hacia atrás.

Se supone que los precios de los combustibles marítimos siguen el movimiento geométrico Browniano que revierte la media, que se encuentra en el modelo de opción de aplazamiento. El modelo se resuelve siguiendo el algoritmo LSM propuesto por Chow y Regan (2011). Sobre la base de las ecuaciones de movimiento Browniano geométrico que revierten la media, se pueden generar 300 rutas de muestra de precios de combustible semanales simulados durante el período de 2015 a 2040. Una vez que se dan los precios de los combustibles, se pueden calcular los costos totales de dos tipos de buques químicos. El modelo de opción de aplazamiento propuesto en este documento se puede resolver mediante la simulación dentro de Matlab y la opción de distribución de tiempo para ejercer y los valores de opción de llamada se obtienen para cada trayecto.

Los resultados indican que el atractivo del GNL como combustible para el buque en comparación con el uso de combustibles destilados está dominado por varios parámetros, incluida la diferencia de precios entre GNL e IFO; la parte de la operación dentro de los TA, el diferencial de los nuevos valores de los buques entre un buque propulsado por GNL y uno de referencia y el costo de suministro.

El modelo para predecir los costos de los sistemas de GNL a bordo de buques químicos ofrece amplias posibilidades para estudiar variantes adicionales. Las opciones incluyen diferentes tamaños de buques, consumo de combustible de buques, perfiles de ruta y otros costos operativos relacionados con GNL.

En nuestro estudio, sólo examinamos la posibilidad de invertir en un buque propulsado por GNL para cumplir con los requisitos de emisiones de sox y nox. Si bien la contribución del GNL como combustible para el buque a la reducción del CO2 desata un debate considerable y se dejará para un estudio más profundo.

## **TRANSLATED VERSION: FRENCH**

Below is a rough translation of the insights presented above. This was done to give a general understanding of the ideas presented in the paper. Please excuse any grammatical mistakes and do not hold the original authors responsible for these mistakes.

## **VERSION TRADUITE: FRANÇAIS**

Voici une traduction approximative des idées présentées ci-dessus. Cela a été fait pour donner une compréhension générale des idées présentées dans le document. Veuillez excuser toutes les erreurs grammaticales et ne pas tenir les auteurs originaux responsables de ces erreurs.

## **INTRODUCTION**

L'industrie maritime est un important émetteur de polluants atmosphériques tels que les oxydes d'azote (nox), les oxydes de soufre (sox), le monoxyde de carbone (CO) et le dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>), parce que la grande majorité (95 %) de la flotte maritime mondiale fonctionne avec des moteurs alimentés par intermédiaire fuel oil (IFO) pour des raisons économiques (Cullinane et Bergqvist 2014). Bien que les IFI soient rentables, ils contiennent des niveaux élevés d'asphalte, de résidus de carbone, de soufre et de composés métalliques et ont également des propriétés à haute viscosité et à faible volatilité.



L'Organisation maritime internationale (OMI) est responsable de la réglementation sur les émissions des navires visant à protéger et à améliorer l'environnement océanique. L'annexe VI de la convention internationale pour la prévention de la pollution par les navires (MARPOL) est entrée en vigueur le 19 mai 2005 et une annexe VI avec des limites renforcées a été adoptée en octobre 2008, entrée en vigueur le 1er juillet 2010. À l'annexe VI, des limites sont fixées pour les émissions de dioxyde de soufre et d'oxydes d'azote, tant dans les zones de contrôle des émissions (ACE) que dans les eaux mondiales. Les plafonds des émissions de gaz des navires, en particulier les sox et les nox, sont sujets à une série de changements d'étape au fil des ans, qui sont décrits dans les tableaux 1 et 2.

Afin de répondre à ces exigences en matière d'émissions, il existe diverses technologies de réduction qui pourraient être adoptées par les armateurs. Le tableau 3 présente un résumé des systèmes de réduction des émissions actuellement utilisés dans les navires (Burel et al., 2013). Parmi toutes ces mesures, les solutions de rechange les plus réalistes sont trois si l'objectif est de réduire les émissions de sox et de nox, suggérées par Acciario (2014). Le premier est le passage à des carburants de meilleure qualité, à faible teneur en soufre. La seconde est l'utilisation de systèmes de nettoyage des gaz d'échappement, souvent appelés épurateurs maritimes, en combinaison avec une réduction catalytique sélective pour réduire les oxydes d'azote pour les nouveaux navires. Et le troisième est l'utilisation de navires fonctionnant au GNL. Les spécifications, les avantages et les inconvénients des navires de ces trois solutions de rechange peuvent être démontrés dans le tableau 4. Il est également discuté à Acciario (2014) que l'utilisation d'épurateurs en mer n'est pas bien établie en raison de l'absence d'études techniques détaillées et de chiffres précis des coûts. Par conséquent, l'alternative de l'installation de systèmes de nettoyage des gaz d'échappement n'est pas dans la portée et l'accent est mis sur les carburants distillats (les huiles de distillat comprennent les carburants diesel et les mazout, par exemple le gazole marine (MGO) et le mazout intermédiaire (IFO)) ou sur le GNL.

Parmi les technologies actuellement évaluées, la possibilité pour les navires de passer au GNL comme combustible principal a suscité d'importantes inquiétudes au cours des dernières années. L'utilisation du GNL comme carburant pour les navires présente des avantages potentiellement substantiels, puisque le GNL permet une réduction significative des nox, des sox. Il est très attrayant en particulier pour la conformité de la CEA, comme l'a clairement démontré le tableau 3. Toutefois, la maturité technique, la disponibilité et les coûts semblent être les questions les plus critiques pour le succès du GNL en tant que carburant maritime à grande échelle (Acciario et al., 2013).

Les rendements d'investissement de deux alternatives d'utilisation d'huiles distillées ou de GNL dépendent grandement des différences de prix entre les huiles distillées et le GNL. Toutefois, les prix futurs du GNL sont largement inconnus car il n'existe pas de marché international du gaz naturel et les prix futurs de l'ifo et de l'org sont largement volatils en raison de l'instabilité économique et politique mondiale. L'incertitude associée aux écarts de prix entre les carburants n'a pas pu être prise en considération dans une analyse traditionnelle des flux de trésorerie actualisés (DCF) lors de l'évaluation économique de l'investissement des navires. L'approche traditionnelle suppose que la direction, ayant pris la décision d'entreprendre un investissement en capital, gèrera les flux de trésorerie en continu comme prévu jusqu'à la fin de sa durée de vie utile prédésente. Cette approche ne tient pas compte de la capacité de la direction à adapter ou à réviser les décisions en réponse à l'évolution inattendue du marché (Lai et Trigeorgis, 1995; Bendall et Manger, 1988; Bendall et Stent 2007).

L'analyse des options réelles (ROA), en revanche, intègre à la fois l'incertitude inhérente à l'environnement d'exploitation et la capacité de gérer, de contrôler ou de modifier activement (quoique pour changer d'intrant ou de technologie, élargir, abandonner, reporter, etc.) Un projet en réponse à l'évolution des circonstances lorsque de nouvelles informations sont disponibles (Trigeorgis, 1991, 1993a, 1993b; Bendall et Stent 2007). Il y a un large corpus de littérature dans le domaine des options réelles. Trigeorgis (1995, 1996) entre autres fournissent un bon résumé du domaine. Jusqu'à présent, l'analyse des options réelles (ROA) a été appliquée avec succès dans l'industrie du transport maritime pour analyser les stratégies de gestion, voir Alizadeh et Nomikos (2009) pour un examen, y compris la décision d'entrer ou de quitter un certain marché (Dixit 1989, 1992); la prolongation d'un accord de charte du temps (Bjersund et Ekern, 1995); l'investissement dans un nouveau service (Bendall et Stent, 2003); le passage des marchés

secs à humides (Sødal et al., 2008, 2009); l'investissement dans de nouveaux navires ou portefeuille de navires (Hopp et Tsolakis, 2004; Bendall et Stent 2003, 2005, 2007; Dikos 2008); ou le changement de pavillon pour un navire (Kavussanons et Tsekrekos 2011).

Jusqu'à récemment, les options réelles utilisées pour les investissements liés à la conformité environnementale dans le transport maritime peuvent être observées dans Acciario et coll. (2013) et Acciario (2014), qui propose un modèle d'aide à la décision pour les armateurs basé sur l'utilisation d'une option de report afin d'évaluer la viabilité du report des investissements dans la modernisation des navires pour la conformité environnementale. L'une des principales limites d'Acciario et coll. (2013) est que l'écart de prix entre les prix du GNL et les distillats a été fixé. Bien que la limitation ait été surmontée à Acciario (2014) en faisant le changement différentiel de prix chaque année, les prix du GNL et des distillats ne sont qu'un échantillon des distributions de prix du carburant. Si le chemin d'accès de l'échantillon est modifié, les économies seront également modifiées, ce qui pourrait avoir une incidence importante sur les résultats.

Dans notre document, nous proposons un modèle d'option de report où les prix du carburant sont caractérisés par le mouvement géométrique brownien moyen-retour, et 300 chemins d'échantillonnage sont utilisés pour calculer la fréquence d'une opportunité d'investissement. Un programme dynamique est conçu pour déterminer la valeur de la flexibilité en faisant usage d'un algorithme de simulation de Monte Carlo les moins carrés.

Les principales différences de notre recherche avec les études précédentes reposent sur trois aspects. Premièrement, les approches d'investissement intégrant l'incertitude sont abondantes, mais très peu ont traité de manière satisfaisante avec les variables non stationnaires. Dans notre étude, les prix du carburant sont caractérisés par des processus stochastiques non stationnaires, car il ne semble pas possible de faire la prédiction de ces prix à long terme. Deuxièmement, comment le moment optimal pour investir change avec des voies différentes et selon différentes hypothèses sur les conditions du marché est évalué. Troisièmement, divers scénarios influençant le temps d'exercer l'option sont discutés, ce qui permet aux compagnies maritimes de prendre les décisions d'investissement. Le modèle proposé fournit non seulement un outil pour analyser la stratégie d'investissement dans l'incertitude, mais il fournit également un aperçu de l'interdépendance des variantes influençant l'investissement dans les navires alimentés par le GNL et montrera la flexibilité requise dans la prise de décision pour les compagnies maritimes.

Ce document est structuré comme suit. La section suivante décrit une approche de modélisation analytique proposée pour mesurer la valeur de la flexibilité dans le report en vertu de la demande stochastique non stationnaire à l'aide de méthodes de solutions d'options réelles. Elle est suivie d'une présentation des propriétés de données. Nous procédons ensuite à la présentation de l'analyse empirique. Certaines conclusions et orientations pour d'autres recherches sont abordées dans la dernière section.

## CONCLUSION

L'investissement dans les navires alimentés au GNL est actuellement confronté à un degré élevé d'incertitude, comme l'écart entre les prix du GNL et des carburants maritimes conventionnels, la disponibilité du GNL et la fiabilité de sa chaîne d'approvisionnement. Les techniques de flux de trésorerie actualisés ne peuvent pas intégrer la souplesse nécessaire pour répondre aux nouvelles informations et reporter l'investissement, par conséquent, l'analyse des options réelles est favorisée par le milieu universitaire pour tenir compte de la souplesse dans la décision d'investissement afin que l'évaluation d'un projet puisse refléter l'adaptabilité opérationnelle et stratégique.

La littérature sur les options réelles décrit les méthodes de quantification de la valeur de la flexibilité pour exécuter une telle stratégie. Jusqu'à récemment, Chow et Regan (2011) ont proposé une méthodologie d'option pour les conceptions de réseau qui comportent des variables multidimensionnelles et stochastiques. À ce jour, c'est la première fois qu'une telle méthode d'option est envisagée pour reporter un investissement dans un nouveau navire alimenté au GNL lié à la conformité environnementale dans le transport maritime. Le modèle d'option de report proposé est une méthode d'évaluation d'option numérique utilisant l'algorithme LSM pour résoudre un programme dynamique rétroassable.

On suppose que les prix des carburants maritimes suivent le mouvement géométrique brownien qui revient en moyenne, qui figure dans le modèle d'option de report. Le modèle est résolu suite à l'algorithme LSM proposé par Chow et Regan (2011). Sur la base des équations géométriques de mouvement browniens qui reviennent en moyenne, 300 trajectoires d'échantillons de prix hebdomadaires simulés du carburant sur la période de 2015 à 2040 peuvent être générées. Une fois les prix du carburant donnés, les économies des coûts totaux de deux types de navires chimiques peuvent être calculées. Le modèle d'option de report proposé dans ce document peut être résolu par simulation au sein de Matlab et la distribution du temps d'exercice de l'option et les valeurs d'option d'appel sont obtenues pour chaque chemin.

Les résultats indiquent que l'attrait du GNL en tant que carburant des navires par rapport à l'utilisation de carburants distillés est dominé par plusieurs paramètres, y compris la différence de prix entre le GNL et l'ifo; la part de l'exploitation à l'intérieur des ACE, le différentiel des valeurs des nouveaux navires entre un navire alimenté au GNL et un navire de référence et le coût d'approvisionnement.

Le modèle permettant de prévoir les coûts des systèmes de GNL à bord des navires chimiques offre de vastes possibilités d'étudier d'autres variantes. Les options comprennent différentes tailles de navires, la consommation de carburant des navires, les profils d'itinéraires et d'autres coûts opérationnels liés au GNL.

Dans notre étude, nous examinons seulement la possibilité d'investir dans un navire alimenté au GNL pour se conformer aux exigences en matière d'émissions de sox et de nox. Bien que la contribution du GNL en tant que carburant du navire à la réduction du CO2 suscite un débat considérable et qu'il sera laissé à une étude plus approfondie.

#### **TRANSLATED VERSION: GERMAN**

Below is a rough translation of the insights presented above. This was done to give a general understanding of the ideas presented in the paper. Please excuse any grammatical mistakes and do not hold the original authors responsible for these mistakes.

#### **ÜBERSETZTE VERSION: DEUTSCH**

Hier ist eine ungefähre Übersetzung der oben vorgestellten Ideen. Dies wurde getan, um ein allgemeines Verständnis der in dem Dokument vorgestellten Ideen zu vermitteln. Bitte entschuldigen Sie alle grammatikalischen Fehler und machen Sie die ursprünglichen Autoren nicht für diese Fehler verantwortlich.

#### **EINLEITUNG**

Die Schifffahrt ist ein erheblicher Emittent von Luftschadstoffen wie Stickoxiden (nox), Schwefeloxiden (sox), Kohlenmonoxid (CO) und Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>), da die überwiegende Mehrheit (95%) der weltweiten Schifffahrtsflotte mit Motoren mit Intermediate Fuel Oil (IFO) aus wirtschaftlichen Gründen betrieben wird (Cullinane und Bergqvist 2014). Obwohl ifos kostengünstig sind, enthalten sie einen hohen Gehalt an Asphalt, Kohlenstoffrückständen, Schwefel und metallischen Verbindungen und haben auch eine hohe Viskosität und geringe Volatilitätseigenschaften.

Die Internationale Seeschifffahrtsorganisation (IMO) ist für Vorschriften über Schiffsemissionen zum Schutz und zur Verbesserung der Meeresumwelt zuständig. Der Anhang VI des internationalen Übereinkommens zur Verhütung der Meeresverschmutzung durch Schiffe (MARPOL) trat am 19. Mai 2005 in Kraft, und am 1. Juli 2010 trat ein Anhang VI mit verschärften Grenzwerten in Kraft. In Anhang VI werden Grenzwerte für die Emissionen von Schwefeldioxid und Stickoxiden sowohl in Emissionskontrollgebieten (ECA) als auch in globalen Gewässern festgelegt. Die Obergrenzen der Schiffsgasemissionen, insbesondere sox und nox, unterliegen einer Reihe von Schrittweiseänderungen im Laufe der Jahre, die in den Tabellen 1 und 2 beschrieben sind.

Um diese Emissionsanforderungen zu erfüllen, gibt es verschiedene Emissionsminderungstechnologien, die von den Reedern übernommen werden könnten. Tabelle 3 zeigt eine Zusammenfassung der derzeit auf Schiffen verwendeten Emissionsreduktionssysteme (Burel et al. 2013). Unter all diesen Maßnahmen sind die realistischsten Alternativen drei, wenn der Schwerpunkt auf

der Verringerung der sox- und nox-Emissionen liegt, wie Acciaro (2014) vorgeschlagen hat. Der erste ist die Umstellung auf höherwertige Kraftstoffe mit geringem Schwefelgehalt. Das zweite ist der Einsatz von Abgasreinigungssystemen, die oft als Schiffswäscher bezeichnet werden, in Kombination mit einer selektiven katalytischen Reduktion zur Verringerung von Stickoxiden für neue Schiffe. Und das dritte ist die Verwendung von Schiffen, die mit LNG betrieben werden. Schiffsspezifikationen, Vor- und Nachteile dieser drei Alternativen lassen sich in Tabelle 4 nachweisen. In Acciaro (2014) wird weiter diskutiert, dass der Einsatz von Wäschern auf See aufgrund fehlender detaillierter technischer Studien und genauer Kostenzahlen nicht gut etabliert ist. Daher liegt die Alternative zur Installation von Abgasreinigungsanlagen nicht auf diesem Thema und der Schwerpunkt liegt auf Destillatbrennstoffen (Destillatöle sind Dieselmotorkraftstoffe und Heizöle, z. B. Marinegasöl (MGO) und Intermediate Fuel Oil (IFO)) oder LNG.

Unter den Technologien, die derzeit evaluiert werden, hat die Möglichkeit für Schiffe, auf LNG als Hauptbrennstoff umzusteigen, in den letzten Jahren erhebliche Bedenken gewonnen. Die Verwendung von LNG als Brennstoff für Schiffe hat potenziell erhebliche Vorteile, da LNG eine signifikante Reduzierung von nox, sox ermöglicht. Sie ist insbesondere für die Einhaltung der Vorschriften durch den euh sehr attraktiv, wie Tabelle 3 deutlich zeigt. Die technische Reife, Verfügbarkeit und Kosten scheinen jedoch die wichtigsten Fragen für den Erfolg von LNG als Seekraftstoff in großem Maßstab zu sein (Acciaro et al. 2013).

Die Investitionsrendite von zwei Alternativen zur Verwendung von Destillatölen oder LNG hängt stark von den Preisunterschieden zwischen Destillatölen und LNG ab. Die zukünftigen Preise für LNG sind jedoch weitgehend unbekannt, da es keinen internationalen Erdgasmarkt gibt und die zukünftigen Preise von IFO und MGO aufgrund der weltweit instabilen wirtschaftlichen und politischen Situation weitgehend volatil sind. Die Unsicherheit im Zusammenhang mit den Preisunterschieden zwischen Kraftstoffen konnte bei der wirtschaftlichen Bewertung der Schiffsinvestitionen bei einer traditionellen Analyse des Discounted Cashflow (DCF) nicht berücksichtigt werden. Der traditionelle Ansatz geht davon aus, dass das Management, nachdem es die Entscheidung getroffen hat, eine Kapitalanlage zu initiieren, die Cashflows kontinuierlich wie geplant bis zum Ende der vorgegebenen Nutzungsdauer steuern wird. Dieser Ansatz ignoriert die Fähigkeit des Managements, Entscheidungen als Reaktion auf unerwartete Marktentwicklungen anzupassen oder zu überarbeiten (Lai und Trigeorgis 1995; Bendall und Manger 1988; Bendall und Stent 2007).

Real Options Analysis (ROA) hingegen berücksichtigt sowohl die Unsicherheit, die dem betrieblichen Geschäftsumfeld innewohnt, als auch die Fähigkeit, ein Projekt aktiv zu verwalten, zu steuern oder zu verändern (wenn auch um Eingaben oder Technologien zu wechseln, zu erweitern, aufzugeben, aufzuschieben usw.), ein Projekt als Reaktion auf die sich ändernden Umstände, unter denen neue Informationen verfügbar werden (Trigeorgis 1991, 1993a, 1993b; Bendall und Stent 2007). Es gibt eine breite Palette von Literatur auf dem Gebiet der realen Optionen. Trigeorgis (1995, 1996) liefert unter anderem eine gute Zusammenfassung des Feldes. Bisher wurde die Real Option Analysis (ROA) erfolgreich in der Schifffahrtsindustrie angewendet, um Managementstrategien zu analysieren, siehe Alizadeh und Nomikos (2009) für eine Überprüfung, einschließlich der Entscheidung, in einen bestimmten Markt ein- oder auszutreten (Dixit 1989, 1992); Verlängerung eines Zeitcharterabkommens (Bjerksum und Ekern 1995); die Investition in einen neuen Dienst (Bendall und Stent 2003); den Wechsel zwischen Trocken- und Nassmärkten (Sédal et al. 2008, 2009); Investitionen in neue Schiffe oder Schiffsportfolios (Hopp und Tsolakis 2004; Bendall und Stent 2003, 2005, 2007; Dikos 2008); oder den Flaggenwechsel für ein Schiff (Kavussanons und Tsekrekos 2011).

Bis vor kurzem sind die realen Optionen für Investitionen im Zusammenhang mit der Einhaltung der Umweltvorschriften in der Schifffahrt in Acciaro et al. (2013) und Acciaro (2014) zu sehen, die ein Entscheidungsmodell für Reeder vorschlagen, das auf der Verwendung einer Option beruht, um die Rentabilität von Investitionen in die Nachrüstung von Schiffen für die Einhaltung der Umweltvorschriften zu prüfen. Eine der Haupteinschränkungen in Acciaro et al. (2013) ist, dass das Preisgefälle zwischen LNG-Preisen und Destillaten behoben wurde. Obwohl die Beschränkung in Acciaro (2014) durch jährliche Preisunterschiede überwunden wurde, sind die Preise für LNG und Destillate nur eine Stichprobe der

Kraftstoffpreisverteilung. Wenn der Beispielpfad geändert wird, werden auch Kosteneinsparungen geändert, was die Ergebnisse erheblich beeinflussen kann.

In unserem Papier schlagen wir ein Aufschuboptionsmodell vor, bei dem die Kraftstoffpreise durch die mittlere geometrische Brownsche Bewegung gekennzeichnet sind und 300 Stichprobenpfade verwendet werden, um die Häufigkeit einer Investitionsmöglichkeit zu berechnen. Ein dynamisches Programm wurde entwickelt, um den Wert der Flexibilität zu bestimmen, indem ein Am wenigsten Quadrate Monte Carlo Simulationsalgorithmus verwendet wird.

Die Hauptunterschiede unserer Forschung mit früheren Studien bestehen aus drei Aspekten. Erstens sind Investitionsansätze, die Unsicherheit einbeziehen, reichlich vorhanden, aber sehr wenig hat sich zufriedenstellend mit nichtstationären Variablen auseinandergesetzt. In unserer Studie sind die Kraftstoffpreise durch nicht stationäre stochastische Prozesse gekennzeichnet, da es nicht möglich zu sein scheint, diese Preise langfristig vorhersagen zu können. Zweitens wird bewertet, wie der optimale Zeitpunkt für Investitionen mit unterschiedlichen Pfaden und unter unterschiedlichen Annahmen über die Marktbedingungen bewertet wird. Drittens werden verschiedene Szenarien diskutiert, die die Zeit für die Ausübung der Option beeinflussen und den Reedereien Unterstützung bei der Entscheidungsfindung bei den Investitionen bieten. Das vorgeschlagene Modell bietet nicht nur ein Instrument zur Analyse der Investitionsstrategie unter Unsicherheit, sondern auch einen Einblick in die Interdependenz von Varianten, die die Investition in LNG-Betrieben beeinflussen, und zeigt die erforderliche Flexibilität bei der Entscheidungsfindung für Reedereien.

Dieses Papier ist wie folgt strukturiert. Im nächsten Abschnitt wird ein vorgeschlagener analytischer Modellierungsansatz beschrieben, um den Wert der Flexibilität bei der Verschiebung bei nichtstationärer stochastischer Nachfrage unter Verwendung von Lösungsmethoden für reale Optionen zu messen. Es folgt eine Darstellung der Dateneigenschaften. Wir legen dann die empirische Analyse vor. Einige Schlussfolgerungen und Richtungen für weitere Forschungen werden im letzten Abschnitt behandelt.

## **SCHLUSSFOLGERUNG**

Die Investitionen in MIT LNG betriebene Schiffe sind derzeit mit einer hohen Unsicherheit konfrontiert, wie z. B. Dem Unterschied zwischen den Preisen für LNG und konventionellen Seekraftstoffen, der Verfügbarkeit von LNG und der Zuverlässigkeit seiner Lieferkette. Die diskontierten Cashflow-Techniken können nicht die Flexibilität einbeziehen, auf neue Informationen zu reagieren und die Investition aufzuschieben, daher wird die Analyse der realen Optionen von der Wissenschaft bevorzugt, um der Flexibilität bei der Investitionsentscheidung Rechnung zu tragen, so dass die Bewertung eines Projekts die betriebliche und strategische Anpassungsfähigkeit widerspiegeln kann.

Die Real Options Literatur beschreibt Methoden zur Quantifizierung des Wertes der Flexibilität, um eine solche Strategie auszuführen. Bis vor kurzem haben Chow und Regan (2011) eine Optionsmethodik für Netzwerkdesigns vorgeschlagen, die multidimensionale und stochastische Variablen aufweisen. Bisher war es das erste Mal, dass eine solche Optionsmethode in Betracht gezogen wurde, um eine Investition in ein neues LNG-Schiff im Zusammenhang mit der Einhaltung der Umweltvorschriften in der Schifffahrt aufzuschieben. Das vorgeschlagene Verzögerungsoptionsmodell ist eine numerische Option Auswertungsmethode, die den LSM-Algorithmus verwendet, um ein rückwärtsdynamisches Programm zu lösen.

Es wird davon ausgegangen, dass die Preise für Seekraftstoffe der mittelmäßigen geometrischen Brownschen Bewegung folgen, die im Aufschuboptionsmodell enthalten ist. Das Modell wird nach dem von Chow und Regan (2011) vorgeschlagenen LSM-Algorithmus gelöst. Basierend auf den mittelmäßigen geometrischen Brownschen Bewegungsgleichungen können 300 Stichprobenpfade simulierter wöchentlicher Kraftstoffpreise im Zeitraum 2015 bis 2040 generiert werden. Sobald die Kraftstoffpreise angegeben sind, können die Einsparungen der Gesamtkosten für zwei Arten von Chemischen Behältern berechnet werden. Das in diesem Dokument vorgeschlagene Aufschuboptionsmodell kann durch Simulation innerhalb von Matlab und die Verteilung der Zeit für die Ausübungsoption gelöst werden, und die Aufrufoptionswerte werden für jeden Pfad ermittelt.

Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass die Attraktivität von LNG als Schiffskraftstoff im Vergleich zur Verwendung von Destillatbrennstoffen von mehreren Parametern dominiert wird, einschließlich des Preisunterschieds zwischen LNG und IFO; der Anteil des Betriebs innerhalb der ecas, die Differenz der neuen Schiffswerte zwischen einem LNG-Schiff und einem Referenzschiff und die Versorgungskosten.

Das Modell zur Vorhersage der Kosten für LNG-Anlagen an Bord chemischer Schiffe bietet umfangreiche Möglichkeiten, zusätzliche Varianten zu untersuchen. Zu den Optionen gehören verschiedene Schiffgrößen, der Kraftstoffverbrauch von Schiffen, Streckenprofile und andere LNG-bezogene Betriebskosten.

In unserer Studie untersuchen wir nur die Möglichkeit, in ein LNG-Betriebenschiff zu investieren, um die Emissionsanforderungen von sox und nox zu erfüllen. Während der Beitrag von LNG als Schiffskraftstoff zur CO<sub>2</sub>-Reduktion eine erhebliche Debatte auslöst und weiter untersucht werden muss.

## **TRANSLATED VERSION: PORTUGUESE**

Below is a rough translation of the insights presented above. This was done to give a general understanding of the ideas presented in the paper. Please excuse any grammatical mistakes and do not hold the original authors responsible for these mistakes.

## **VERSÃO TRADUZIDA: PORTUGUÊS**

Aqui está uma tradução aproximada das ideias acima apresentadas. Isto foi feito para dar uma compreensão geral das ideias apresentadas no documento. Por favor, desculpe todos os erros gramaticais e não responsabilize os autores originais responsáveis por estes erros.

## **INTRODUÇÃO**

A indústria marítima é um emissor substancial de poluentes atmosféricos, tais como óxidos de azoto (nox), óxidos de enxofre (sox), monóxido de carbono (CO) e dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), porque a grande maioria (95%) da frota de navegação mundial funciona com motores movidos pela Intermediate Fuel Oil (IFO) por razões económicas (Cullinane e Bergqvist 2014). Embora as ifos sejam rentáveis, contêm altos níveis de enxofre, resíduos de carbono, enxofre e compostos metálicos e têm elevada viscosidade e baixa volatilidade também.

A Organização Marítima Internacional (OMI) é responsável por regulamentos sobre emissões de navios que visam proteger e melhorar o ambiente oceânico. O anexo VI da Convenção Internacional para a Prevenção da Poluição dos Navios (MARPOL) entrou em vigor em 19 de maio de 2005 e foi adotado em outubro de 2008 um anexo VI com limites mais apertados, que entrou em vigor em 1 de julho de 2010. No anexo VI, são estabelecidos limites às emissões de dióxido de enxofre e óxidos de azoto, tanto nas zonas de controlo das emissões (AIE) como nas águas globais. As tampas das emissões de gases de navio, em especial os sox e os nox, estão sujeitas a uma série de alterações ao longo dos anos, que são descritas nos quadros 1 e 2.

Para satisfazer estes requisitos de emissão, existem tecnologias de redução diversificadas que poderiam ser adotadas pelos armadores. O quadro 3 apresenta um resumo dos sistemas de redução de emissões atualmente utilizados nos navios (Burel et al. 2013). Entre todas estas medidas, as alternativas mais realistas são três se o foco for reduzir as emissões de sox e nox, sugerida pela Acciaro (2014). A primeira é a mudança para combustíveis de maior qualidade, com baixo teor de enxofre. A segunda é a utilização de sistemas de limpeza de gases de escape, muitas vezes referidos como esfregões marítimos, em combinação com a redução catalítica seletiva para reduzir os óxidos de azoto para novos navios. E a terceira é a utilização de navios que operam em GNL. As especificações, vantagens e desvantagens das três alternativas podem ser demonstradas no quadro 4. Em Acciaro (2014) discute-se ainda que a utilização de esfregões no mar não está bem estabelecida devido à falta de estudos técnicos detalhados e de valores de custos precisos. Por conseguinte, a alternativa à instalação de sistemas de limpeza de gases de escape está fora do âmbito e o

foco está nos combustíveis destilados (os óleos destilados incluem gasóleo e óleos de combustível, por exemplo, óleo de gás marinho (MGO) e óleo de combustível intermédio (IFO)) ou no GNL.

Entre as tecnologias atualmente avaliadas, a possibilidade de os navios mudarem para o GNL como principal combustível tem vindo a ganhar preocupações significativas nos últimos anos. A utilização do GNL como combustível para os navios tem vantagens potencialmente substanciais, uma vez que o GNL permite uma redução significativa dos *nox*, *sox*. É bastante atraente, em especial para o cumprimento do ECA, como ficou claramente demonstrado no quadro 3. No entanto, a maturidade técnica, a disponibilidade e os custos parecem ser as questões mais críticas para o sucesso do GNL como combustível marítimo em larga escala (Acciaro et al. 2013).

Os retornos de investimento de duas alternativas de utilização de óleos de destilado ou de GNL dependem muito das diferenças de preços entre os óleos de destilado e o GNL. No entanto, os preços futuros do GNL são em grande parte desconhecidos, uma vez que não existe um mercado internacional de gás natural e os preços futuros das IFO e MGO são em grande parte voláteis causados por situações económicas e políticas globais instáveis. A incerteza associada aos diferenciais de preços entre os combustíveis não pôde ser tomada em consideração numa análise tradicional de cash flow (DCF) com desconto na avaliação económica do investimento naval. A abordagem tradicional pressupõe que a gestão, tendo tomada a decisão de iniciar um investimento de capital, irá gerir os fluxos de caixa continuamente, como previsto até ao final da sua vida útil pré-especificada. Esta abordagem ignora a capacidade da administração de adaptar ou rever decisões em resposta a desenvolvimentos inesperados do mercado (Lai e Trigeorgis 1995; Bendall e Manger 1988; Bendall e Stent 2007).

A Análise de Opções Reais (ROA), pelo contrário, incorpora tanto a incerteza inerente ao ambiente de negócio operacional como a capacidade de gerir, controlar ou alterar ativamente, (ainda que para mudar de entradas ou tecnologia, expandir, abandonar, adiar, etc.) Um projeto em resposta às circunstâncias em mudança quando novas informações ficam disponíveis (Trigeorgis 1991, 1993a, 1993b; Bendall e Stent 2007). Há um vasto corpo de literatura no campo das opções reais. Trigeorgis (1995, 1996) entre outros fornecem um bom resumo do campo. Até agora, a Real Option Analysis (ROA) foi aplicada com sucesso à indústria naval para analisar estratégias de gestão, ver Alizadeh e Nomikos (2009) para uma revisão, incluindo a decisão de entrar ou sair de um determinado mercado (Dixit 1989, 1992); prorrogação de um acordo de carta do tempo (Bjerksund e Ekern 1995); o investimento num novo serviço (Bendall e Stent 2003); o interruptor entre mercados secos e húmidos (Sødal et al. 2008, 2009); O investimento em novos navios ou carteira de navios (Hopp e Tsolakis 2004; Bendall e Stent 2003, 2005, 2007; Dikos 2008); ou a mudança de bandeira para um navio (Kavussanons e Tsekrekos 2011).

Até recentemente, as verdadeiras opções utilizadas para investimentos relacionados com o cumprimento ambiental no transporte marítimo podem ser vistas em Acciaro et al. (2013) e Acciaro (2014), que propõe um modelo de apoio à decisão para os armadores com base na utilização de uma opção de adiamento, a fim de avaliar a viabilidade do adiamento do investimento em reajustes de navios para o cumprimento ambiental. Uma das principais limitações em Acciaro et al. (2013) é que o diferencial de preços entre os preços de GNL e os destilados foi fixado. Embora a limitação tenha sido ultrapassada em Acciaro (2014) ao fazer a variação anual do diferencial de preços, os preços do GNL e dos destilados são apenas uma amostra da distribuição dos preços dos combustíveis. Se a trajetória da amostra for alterada, a poupança de custos também será alterada, o que poderá influenciar significativamente os resultados.

No nosso artigo, propomos um modelo de opção de adiamento onde os preços dos combustíveis são caracterizados pelo movimento geométrico médio browniano, e 300 caminhos de amostra são usados para calcular a frequência de uma oportunidade de investimento. Um programa dinâmico é projetado para determinar o valor da flexibilidade fazendo uso de um algoritmo de simulação de Monte Carlo de menos quadrados.

As principais diferenças da nossa investigação com estudos anteriores assentam em três aspetos. Em primeiro lugar, as abordagens de investimento que incorporam incertezas são abundantes, mas muito pouco tem lidado de forma satisfatória com variáveis não estacionárias. No nosso estudo, os preços dos combustíveis caracterizam-se por processos estocásticos não estacionários, pois parece não ser possível fazer a previsão destes preços a longo prazo. Em segundo lugar, avalia-se a forma como o tempo ideal para

investir muda com diferentes caminhos e sob diferentes pressupostos sobre as condições de mercado. Em terceiro lugar, são discutidos vários cenários que influenciam o tempo de exercício da opção, proporcionando apoio às empresas marítimas para tomarem as decisões de investimento. O modelo proposto não só fornece um instrumento para analisar a estratégia de investimento sob incerteza, como também fornece uma visão da interdependência das variantes que influenciam o investimento em navios movidos a GNL e mostrará a flexibilidade necessária na tomada de decisões para as companhias marítimas.

Este papel é estruturado da seguinte forma. A secção seguinte descreve uma abordagem de modelização analítica proposta para medir o valor da flexibilidade no diferimento sob a procura estocástica não estacionária utilizando metodologias de solução de opções reais. Segue-se uma apresentação das propriedades de dados. Em seguida, procedemos para apresentar a análise empírica. Algumas conclusões e direções para a investigação posterior são abordadas na última secção.

## CONCLUSÃO

O investimento em navios alimentados a GNL enfrenta atualmente um elevado grau de incerteza, como o diferencial entre os preços do GNL e os combustíveis marítimos convencionais, a disponibilidade de GNL e a fiabilidade da sua cadeia de abastecimento. As técnicas de cash flow descontadas não podem incorporar a flexibilidade para responder a novas informações e adiar o investimento, pelo que a análise de opções reais é favorecida pela academia para acomodar a flexibilidade na decisão de investimento, de modo a que a avaliação de um projeto possa refletir a adaptabilidade operacional e estratégica.

As verdadeiras opções que a literatura descreve métodos para quantificar o valor da flexibilidade para executar tal estratégia. Até recentemente, Chow e Regan (2011) propuseram uma metodologia de opção para desenhos de rede que apresentam variáveis multidimensionais e estocásticas. Até à data, foi a primeira vez que se considera uma metodologia de opção para adiar um investimento num novo navio movido a GNL relacionado com o cumprimento ambiental no transporte marítimo. O modelo de opção de adiamento proposto é um método de avaliação de opção numérica usando o algoritmo LSM para resolver um programa dinâmico para trás.

Presume-se que os preços dos combustíveis marítimos seguem o movimento geométrico browniano que reverte a média, que está contido no modelo de opção de diferimento. O modelo é resolvido seguindo o algoritmo LSM proposto por Chow e Regan (2011). Com base nas equações de movimento geométrico browniano que revertem, 300 caminhos de amostra de preços de combustível semanais simulados durante o período de 2015 a 2040 podem ser gerados. Uma vez que os preços dos combustíveis são dados, a poupança dos custos totais para dois tipos de vasos químicos pode ser calculada. O modelo de opção de adiamento proposto neste papel pode ser resolvido por simulação dentro do Matlab e a distribuição do tempo para a opção de exercício e os valores da opção de chamada são obtidos para cada caminho.

Os resultados indicam que a atratividade do GNL como combustível do navio em comparação com a utilização de combustíveis destilados é dominada por vários parâmetros, incluindo a diferença de preços entre o GNL e a IFO; a quota de exploração no interior das AECT, o diferencial dos novos valores dos navios entre um navio movido a GNL e um navio de referência e o custo de abastecimento.

O modelo de previsão dos custos para os sistemas de GNL a bordo de navios químicos oferece amplas possibilidades de estudar variantes adicionais. As opções incluem diferentes tamanhos dos navios, consumo de combustível de navios, perfis de rota e outros custos operacionais relacionados com o GNL.

No nosso estudo, apenas examinamos a possibilidade de investir num navio movido a GNL para cumprir os requisitos de emissão de sox e nox. Embora a contribuição do GNL como combustível para a redução do CO<sub>2</sub> desencadeie um debate considerável e seja deixado para estudo mais aprofundado.