

REVUE INTERNATIONALE DES ECONOMISTES DE LANGUE FRANÇAISE

RIELF 2023, Vol. 8, N°1

Association Internationale
des Economistes de Langue Française



avec la collaboration de



UNIwersYTET
EKONOMICZNY
W POZNANIU

l'Université des Sciences Economiques et de Gestion de Poznań



L'Université Bernardo O'Higgins - Chili

Rédacteur en chef

Krzysztof MALAGA, USEGP, Pologne

Rédactrice adjointe

Małgorzata MACUDA, USEGP, Pologne

Secrétaire de rédaction

Dorota CZYŻEWSKA-MISZTAL, USEGP, Pologne

Comité éditorial

Akoété Ega AGBODJI, Togo
Wissem AJILI BEN YOUSSEF, France
Alastaire ALINSATO, Bénin
Loubna ALSAGIHR OUEIDAT, Liban
Camille BAULANT, France
Matouk BELATTAF, Algérie
Francis BISMANS, France, Belgique
Horst BREZINSKI, Allemagne
Abdelaziz CHERABI, Algérie
Bernard COUPEZ, France
Jean-Jacques EKOMIE, Gabon
Jules Roger FEUDJO, Cameroun
Camelia FRATILA, Roumanie
Ewa FRĄCKIEWICZ, Pologne
Rosette GHOSSOUB SAYEGH, Liban
Marian GORYNIA, Pologne
Driss GUERRAOUI, Maroc
Juliana HADJITCHONEVA, Bulgarie
Vidal IBARRA-PUIG, Mexique
Nafii IBENRISSOUL, Maroc
Soumaïla Mouleye ISSOUFOU, Mali

Michel LELART, France
Laura MARCU, Roumanie
Tsvetelina MARINOVA, Bulgarie
Boniface MBIH, France
Mbodja MOUGOUE, États-Unis
Francisco OCARANZA, Chili
Thierry PAIRAULT, France
Jacques POISAT, France
Carlos QUENAN, France
Marek RATAJCZAK, Pologne
Alain REDSLOB, France
Jeannette ROGOWSKI, États-Unis
Paul ROSELE CHIM, France
Claudio RUFF ESCOBAR, Chili
Alain SAFA, France
Baiba ŠAVRIŅA, Lettonie
Piotr STANEK, Pologne
Abdou THIAO, Sénégal
Roger TSAFACK NANFOSSO, Cameroun
François VAILLANCOURT, Canada
Isabel VEGA MOCOROA, Espagne

Bureau de rédaction

Eliza SZYBOWICZ, soutien éditorial, USEGP, Pologne
Marta DOBRECKA, rédactrice technique, USEGP, Pologne

© Copyright by Association Internationale des Economistes de Langue Française, Université des Sciences Economiques et de Gestion de Poznań
Paris, Poznań 2023

La RIELF offre son contenu complet en accès libre sous licence Creative Commons BY NC SA 4.0

ISSN 2551-895X
e-ISSN 2727-0831

Edition digitale et imprimée
Editions de l'Université des Sciences Economiques et de Gestion de Poznań
Projet de couverture : Izabela Jasiczak, Bernard Landais, Krzysztof Malaga, Eduardo Téllez

TABLE DES MATIÈRES

Avant-propos (Claudio Ruff ESCOBAR et Krzysztof MALAGA).....	3
Alexis MATHEU, Paola JUICA Apport des modèles mathématiques et big data pour la prise de décisions de l'entreprise ; le cas d'épidémies telles que le SARS-CoV-2 dans le secteur de la santé au Chili	9
Cristian CORNEJO, Purificación GALINDO-VILLARDÓN Meta-Biplot comme mesure des variables de protection sociale pour les pays européens et latinoaméricains	20
Carlos SEBRANGO, Lizet SÁNCHEZ Prévision à court terme en temps réel de l'épidémie de COVID-19 à Cuba en utilisant la modélisation	34
Manuel E. CORTÉS La culture d'agrumes dans les communautés agricoles chiliennes : Vers un développement durable	49
Alexander A. PARSHINTSEV Élaboration et approbation d'un index global intellectuel capital orienté sur le sujet pour une analyse comparative sur tout le pays	63
Bastián GUTIÉRREZ, Roberto CORTÉS, Macarena DEHNHARDT Modèle logistique de désertion à travers des techniques de régression et un arbre de décision pour l'efficience dans la destination des ressources : Le cas d'une université privée chilienne	75
Camilo GONZÁLEZ Modèle d'élasticité de prix/demande du point de vue bayésien : le cas d'une entreprise de détail chilienne	90
Claudio RUFF, Marcelo RUIZ, Luis BENITES Modèle de caractérisation de la situation de qualité des universités chiliennes à partir d'indicateurs financiers et de gestion	106

Pedro CASTILLO

Concurrence dans la distribution au détail de combustibles liquides : Exploration de la dimension spatiale 124

Lidiya S. PARSHINTSEVA

Préparation estimée et vulnérabilité des pays face à la pandémie de COVID-19 : Elaboration et approbation de l'index global 145

Bartłomiej LACH, Krzysztof MALAGA

Évolution de la liberté économique dans les pays d'Amérique du Sud et de l'Union Européenne durant les années 1996–2022..... 163

Hassan Maman ABDO, Mahaman Laouan ABOUBE, Mbodja MOUGOUÉ

Convergence économique au sein de l'espace ouest-africain : L'intégration économique régionale à l'épreuve des faits 184

AVANT-PROPOS

Le numéro 1/2023 de la RIELF, que nous avons le plaisir de présenter aux lecteurs, a été édité par rédacteur invité Dr. Claudio RUFF ESCOBAR, en collaboration avec le Dr. Francisco OCARANZA BOSIO de l'Université Bernardo O'Higgins de Santiago du Chili. Il se compose de 12 articles dont les onze premiers concernent l'Amérique du Sud. L'article douzième, quant à lui, fait référence à l'espace ouest-africain.

Dans le premier article, *Apport des modèles mathématiques et big data pour la prise de décisions de l'entreprise ; le cas d'épidémies telles que le SARS-CoV-2 dans le secteur de la santé au Chili*, **Alexis MATHEU** et **Paola JUICA** proposent d'analyser, à partir des modèles théoriques mathématiques, l'apport de ce secteur de la science pour trouver et prévoir de possibles solutions afin de diminuer les effets de cette pandémie par le virus COVID-19. Pour cela, ils utilisent des analyses statistiques basées sur trois modèles, phénoménologiques non linéaires, configuration de données et modèle logistique généralisé, en espérant qu'ils contribueront à une meilleure évaluation et compréhension des mesures prises face à la crise sanitaire et qui seront adoptées à l'avenir pour faire face à de nouveaux virus, en utilisant mieux les données et les outils technologiques dont dispose l'humanité.

Dans le deuxième article, *Meta-Biplot comme mesure des variables de protection sociale pour les pays européens et latinoaméricains*, **Cristian CORNEJO** et **Purificación GALINDO-VILLARDÓN** constatent, que dans le cadre de la sécurité sociale, les systèmes de pensions constituent des mécanismes de protection sociale offrant des revenus aux personnes qui perdent leur capacité d'auto-génération en raison de leur âge (droits et bénéfices de la vieillesse), de leur incapacité (droits et bénéfices d'invalidité) ou du décès d'une des sources principales de revenus d'une famille (droits et bénéfices de survie). En ce qui concerne la Sécurité Sociale, les pays européens sont ceux qui ont le plus d'expérience. Quant à l'Amérique Latine, elle a été l'une des premières à introduire dans ses systèmes de pensions des schémas de capitalisation individuelle comme composant obligatoire depuis déjà plus de 30 ans, lorsque le Chili abandonna son système prévisionnel de distribution pour un de capitalisation individuelle. Ensuite, plusieurs pays en Amérique latine et en Europe suivirent le même chemin. Avec des systèmes de protection sociale bien conçus et implémentés, les pays peuvent renforcer le capital humain et améliorer la productivité, réduire les inégalités, stimuler la résilience et mettre fin au cycle de la pauvreté intergénérationnelle.

Dans le troisième article, *Prévision à court terme en temps réel de l'épidémie de COVID-19 à Cuba en utilisant la modélisation*, **Carlos SEBRANGO** et **Lizet SÁNCHEZ** notent qu'en l'absence d'information fiable sur les mécanismes de transmission d'une infection émergente, de simples modèles phénoménologiques peuvent apporter une estimation précoce de l'étendue potentielle d'épidémies en temps réel. Un avertissement sur la taille finale d'une épidémie et en particulier de la COVID-19 actuellement actif peut servir aux autorités sanitaires pour y faire face. Une variété de modèles non-linéaires ont été développés pour définir les cas cumulés de maladies épidémiques infectieuses (e.g. Richards, logistique, modèles Gompertz). Tous ces modèles peuvent utiliser correctement les données pour obtenir des prévisions à court terme en temps réel. Typiquement, il s'agit de suivre la procédure d'estimation post-sélection, i.e., de sélectionner un modèle parmi tous ceux disponibles et d'ignorer ceux reposant sur l'incertitude dans l'estimation et l'inférence vu que ces procédures sont basées sur un seul modèle. Dans ce travail, ils établissent une prédiction en temps réel de la taille finale, point crucial de l'épidémie, et des prévisions 10 jours à l'avance de cas cumulatifs en utilisant plusieurs modèles non-linéaires où ces paramètres sont estimés via modélisation. La méthode est appliquée à l'épidémie de COVID-19 en 2020 à Cuba.

Dans le quatrième article, *La culture d'agrumes dans les communautés agricoles chiliennes : Vers un développement durable*, **Manuel E. CORTÉS** souligne l'importance des agrumes dans les communautés agricoles de la Province de Limarí du point de vue du développement agricole durable dans ces communautés, en soulignant les résultats de l'expérience des cultivateurs ruraux. D'abord, l'état de développement de la culture des agrumes au Chili. Ensuite, cette activité est traitée dans la perspective des communautés agricoles de Limarí. En troisième lieu, on présente une analyse pilote de la culture des agrumes dans la communauté agricole. Ce travail souligne l'attrait que présente le secteur des agrumes pour les communautés agricoles, en particulier la commercialisation du traditionnel citron jaune. Il se penche aussi sur l'implantation de programmes d'éducation agro-environnementale parmi ses habitants pour promouvoir le soin des ressources naturelles comme l'eau et la terre. La croissance et le développement de la culture des agrumes dans les communautés agricoles de Limarí doivent être consistants, avec une analyse de la disponibilité de ces ressources et leur utilisation responsable.

À son tour, dans le cinquième article, *Élaboration et approbation d'un index global intellectuel capital orienté sur le sujet pour une analyse comparative sur tout le pays*, **Alexander A. PARSHINTSEV** prétend que de nos jours, l'apprentissage, la formation, les innovations et la numérisation sont devenus des facteurs clés du développement. Dans ces conditions, le capital intellectuel devient l'un des éléments de base qui forment la compétitivité économique. En supposant que le capital intellectuel contribue à la réalisation de la majorité des objectifs de développement durable, la réalisation d'une évaluation complexe du capital

intellectuel revêt un intérêt particulier. Son étude est consacrée à l'élaboration de la méthodologie de calcul de l'indicateur global intégral pour évaluer le niveau de capital intellectuel qui pourrait être utilisé pour une analyse comparative entre les pays. L'auteur présente les suggestions sur les éléments de l'indice, le contenu et la structure même du capital intellectuel au niveau macro ; l'élaboration d'un système d'indicateurs statistiques pour évaluer l'état et le développement du capital intellectuel sur la base de l'analyse et de la synthèse des données disponibles, en tenant compte de l'expérience internationale dans le contexte du développement de l'innovation ; le développement d'un indice global intégral du capital intellectuel pour les comparaisons entre les pays. Les résultats de l'analyse expresse basée sur la liste restreinte d'indicateurs sont également présentés, mettant en évidence les leaders et les retardataires en 2016 et 2020.

Dans le sixième article, *Modèle logistique de, désertion à travers des techniques de régression et un arbre de décision pour l'efficience dans la destination des ressources : Le cas d'une université privée chilienne*, **Bastián GUTIÉRREZ**, **Roberto CORTÉS** et **Macarena DEHNHARDT** arrivent à la conclusion que lorsque l'éducation est devenue un droit fondamental qu'il faut conserver et consolider, une problématique apparaît, qui a suscité de nombreuses discussions académiques et qui prétend considérer de manière holistique et critique le phénomène de massification croissante des offres de formation, manifesté dans l'augmentation exponentielle de l'accès au troisième cycle. Certaines approches postulent que, non seulement il est nécessaire d'implémenter des politiques pour amplifier la couverture de l'accès, mais il faut aussi se pencher sur la qualité de l'éducation, en considérant la désertion et la rétention universitaire. Dans ce contexte, leur recherche vise à établir un modèle d'analyse qui permette le développement de la rétention et la prévention des causes de désertion. Les auteurs utilisent pour cela la méthodologie d'apprentissage supervisé déterminant les variables d'analyse à travers les techniques de régression et un arbre de décision, en créant un modèle logistique de désertion, capable d'améliorer l'efficience dans la destination de ressources. Finalement, ce travail visera à apporter une meilleure compréhension des phénomènes associés à la désertion et la rétention universitaire, pour aider dans la gestion et le processus de prise de décisions par les institutions d'enseignement supérieur.

Dans le septième article, *Modèle d'élasticité de prix/demande du point de vue bayésien: Le cas d'une entreprise de détail chilienne*, **Camilo GONZÁLEZ** présente les données d'une entreprise chilienne de détail pour modéliser l'élasticité d'un point de vue bayésien. L'élasticité mesure le comportement des produits sur la base des prix et de la demande. Elle peut être obtenue à travers des régressions linéaires du logarithme des prix et les unités vendues. Le problème se pose avec les réductions, les jours spéciaux, etc. Cette relation temporelle provoque des biais dans les estimations que l'entreprise compense en réalisant une chaîne de régressions. La statistique bayésienne fixe une distribution pour les paramètres, et ensuite, avec

la plausibilité, utilise la règle de Bayes pour obtenir une distribution a posteriori. L'auteur utilise une a priori Normal-Gamma-Inverse pour spécifier le modèle de régression linéaire. Pour l'application, on obtient les élasticités au niveau de ligne à travers le modèle classique et les élasticités de produit avec le modèle bayésien, en incorporant l'information de la ligne. À travers un t-test on conclut que la moyenne des élasticités de la chaîne ne diffère pas de celles obtenues par le modèle bayésien. Par conséquent, en complétant les deux points de vue, on obtient de bons résultats qui peuvent être utilisés dans le commerce.

Dans le huitième article, *Modèle de caractérisation de la situation de qualité des universités chiliennes à partir d'indicateurs financiers et de gestion*, **Claudio RUFF**, **Marcelo RUIZ** et **Luis BENITES** constatent quel'un des indicateurs les plus significatifs de l'effectivité de systèmes d'assurance de qualité est le processus d'accréditation des institutions d'enseignement supérieur, car il considère une variété d'éléments essentiels au moment d'accréditer la qualité des systèmes de formation utilisés dans ces institutions. Dans ce contexte, leur recherche vise à créer un modèle de caractérisation, évolution et projection de la situation d'accréditation des universités chiliennes rattachées au Système d'Information de l'Enseignement Supérieur (SIES). Ils emploient une méthodologie de type quantitatif exploratoire corrélationnel et prédictif qui considère 56 institutions d'enseignement supérieur chiliennes, cataloguées comme universités, et leurs indicateurs publiés entre 2017 et 2021 par le SIES, afin de créer un modèle basé sur l'évolution des indicateurs consolidés et d'établir une information de référence sur les secteurs les plus pertinents dans les résultats du processus d'accréditation. Ainsi, cette recherche se présente comme un modèle contribuant à la planification stratégique des universités pour atteindre une meilleure qualité et davantage d'années d'accréditation.

Dans le neuvième article, *Concurrence dans la distribution au détail de combustibles liquides : Exploration de la dimension spatiale*, **Pedro CASTILLO** vise à étudier le niveau de concurrence spatiale entre les stations-services existant sur le marché de distribution au détail des combustibles liquides, à partir de l'analyse comparée de leur positionnement géospatial et de leur influence et variations de prix sur le marché national. Selon l'auteur dans le cas du Chili, l'industrie se caractérise par sa forte concentration en nombre de fournisseurs et intégration verticale avec les segments de distribution de gros, transport et stockage, d'où l'importance de l'analyse en matière de concurrence. De plus, il existe une grande différenciation des produits en termes de localisation géographique, ce qui rend l'analyse spatiale essentielle. Ainsi, il a analysé en premier lieu l'impact du nombre de stations proches, du même réseau, et d'un réseau rival ou indépendantes. Les résultats sont configurés selon deux approches. La première conclut que les résultats numériques sont consistants dans la dynamique des prix et le positionnement territorial des stations, car il apparaît que les stations indépendantes ont un effet négatif sur le niveau de prix dans un rayon de 20 minutes, avec un réseau-action moyen de 0,19%.

De même, on note un impact supérieur sur la distribution d'essence de 93 octanes et le Diesel que de l'essence de 97 octanes, car les segments de Diesel et 93 octanes sont les plus compétitifs de l'industrie, et dans le contexte où les stations indépendantes participent le plus. Dans la deuxième, les résultats montrent le rôle dominant de l'entreprise Copec : ce réseau est celui de plus grande influence négative sur le niveau des prix de ses rivales. Comme dans le premier modèle, les résultats varient par type de combustible, le rôle des réseaux d'essence de 97 octanes étant le plus important. Les résultats sont hétérogènes au niveau régional, plus élevés dans les zones géographiques densément peuplées par rapport aux zones australes et éloignées des principaux centres urbains.

Dans le dixième article, *Préparation estimée et vulnérabilité des pays face à la pandémie de COVID-19 : Elaboration et approbation de l'index global*, **Lidiya S. PARSHINTSEVA** stipule que la pandémie de COVID-19 et ses conséquences socio-économiques ont provoqué une augmentation notable du rôle de l'estimation de la préparation et la vulnérabilité des pays. Il s'agit d'un complément à la recherche existante et aux classements multidimensionnels, ainsi que d'une présentation des résultats d'une évaluation nationale complète de la préparation et de la vulnérabilité à la pandémie basée sur les indicateurs multidimensionnels proposés par les auteurs. L'objectif de cette recherche était d'estimer le niveau de préparation nationale et la vulnérabilité d'un point de vue complexe. Un index multidimensionnel global a été calculé et utilisé pour donner un classement des pays à partir de cette méthodologie. L'index a permis aux auteurs de conclure qu'il y a une différence importante dans le niveau de préparation face à une pandémie et une disproportion entre certains éléments du système pour chaque pays. L'analyse des données, les sources et les rapports ont souligné le besoin d'étendre la liste des indicateurs pour évaluer le niveau de vulnérabilité. L'opportunité d'utiliser cet index est prouvée par l'analyse corrélative statistique entre les sous-index et le niveau de morbidité et mortalité due au COVID-19. L'index est utilisé pour former des groupes multidimensionnels et le partitionnement de données permet d'estimer les conséquences économiques de la pandémie. Les résultats du partitionnement de données ont permis de former quatre groupes de pays : (1) très vulnérables avec faible niveau de préparation ; (2) vulnérables avec faible niveau de préparation ; (3) vulnérables avec haut niveau de préparation ; (4) peu vulnérables avec haut niveau de préparation. L'analyse comparative des conséquences économiques (changement annuel PIB en 2020–2019 par rapport à PIB en 2019–2017), taux de chômage et changement de l'inflation ont montré des disproportions de l'influence de la pandémie par groupes de pays.

Dans le onzième article, *Évolution de la liberté économique dans les pays d'Amérique du Sud et de l'Union Européenne durant les années 1996–2022*, **Bartłomiej LACH** et **Krzysztof MALAGA** reconnaissent que le but de leur recherche est de décrire et d'évaluer l'évolution de la liberté économique dans les pays d'Amérique du Sud et de l'Union européenne dans les années 1996–2022. La base d'inférence

sont les coefficients de liberté économique publiés depuis 1995 par The Heritage Foundation à Washington et *Wall Street Journal* pour 184 pays à travers le monde. L'analyse comparative est effectuée par pays et en trois sous-groupes, qui sont : les pays d'Amérique du Sud, les pays européens qui ont rejoint l'Union européenne avant 2003 (EU1) et après 2003 (EU2). Dans la recherche empirique, les méthodes d'analyse de corrélation, σ -convergence, σ -divergence et analyse comparative multivariée sont utilisées. Le programme R et les packages *dtw* et *dtwclus* sont également appliqués. En conséquence, une évaluation approfondie de l'évolution de la liberté économique a été réalisée dans les 41 pays évalués, ainsi que séparément dans les trois groupes de pays analysés. Il a été montré qu'en termes de liberté économique, les pays de la EU1 l'emportent sur les pays de la EU2 et d'Amérique du Sud. En conclusion on présente remarques générales sur la relation entre les étapes des changements dans la liberté économique et les réformes institutionnelles visant une démocratisation plus complète des pays et le développement d'une économie de marché moderne.

Enfin, dans le douzième article, qui est le seul traitant de l'Afrique, *Convergence économique au sein de l'espace ouest-africain : L'intégration économique régionale à l'épreuve des faits*, **Hassan Maman ABDO**, **Mahaman Laouan ABOUBE** et **Mbo-dja MOUGOUÉ**, proposent d'abord une discussion à la lumière des travaux récents sur la convergence économique ou non des pays ouest-africains qui sont dans le processus de régionalisation des échanges depuis 1975. Ils examinent, ensuite, les déterminants de la convergence en prenant appui sur une analyse économétrique spatiale de tous ces États sur la période 1990–2021. Les résultats obtenus font ressortir que les économies sont globalement et fortement divergentes ; les convergences absolue et conditionnelle n'étant pas réalisées. Mais trois clubs de convergence ont été décelés, avec le Sénégal qui fait bande à part. Le taux d'investissement, les dépenses publiques, le taux d'inflation, la parité du pouvoir d'achat, le taux d'ouverture commerciale, le taux de scolarisation et le taux de croissance démographique, variables structurelles de contrôle, ont joué un rôle important dans l'appréciation de la vitesse et du niveau de divergence des économies ouest-africaines. Ceci a mis en évidence les écarts des revenus par tête, le retard dans les mécanismes intégrateurs et les effets des chocs auxquels ces économies sont soumises.

Claudio Ruff Escobar et Krzysztof Malaga

**APPORT DES MODÈLES MATHÉMATIQUES
ET BIG DATA POUR LA PRISE DE DÉCISIONS
DE L'ENTREPRISE ; LE CAS D'ÉPIDÉMIES TELLES
QUE LE SARS-COV-2 DANS LE SECTEUR DE LA SANTÉ
AU CHILI**

**Contribution of mathematical models and big data for company
decision-making; the case of epidemiological events such
as SARS-CoV-2 in the health area in Chile**

Alexis MATHEU¹

Université Bernardo O'Higgins – Chili
Centre de Recherche Institutionnelle
alexis.matheu@ubo.cl
<https://orcid.org/0000-0002-7859-9039>

Paola JUICA²

Université Bernardo O'Higgins – Chili
Centre de Recherche Institutionnelle
paola.juica@ubo.cl
<https://orcid.org/0000-0002-5274-8868>

Abstract : The pandemic caused by the COVID-19 virus has given rise to numerous analyses and studies due to the implications and serious consequences it has had on all areas of human development worldwide. The data unquestionably reflect the degree of impact it has had, not only on the mortality rate, but also on the economic indices of nations. In analysing all these indicators, the question arises as to whether some key elements, such as the number of incidences, the variables of the effective reproductive factor of the disease could better reflect the predictability of the cases and, in turn, evaluate the mitigating measures to placate the incidence of new cases. This analysis is especially significant considering that the pandemic is not over, and that more and better resolutions are still needed to address this

¹ Av. Viel 1497, 8370993 Santiago, Región metropolitana, Chile.

² Av. Viel 1497, 8370993 Santiago, Región metropolitana, Chile.

ongoing crisis. In this context, the present study aims to analyse, from the theoretical mathematical models, what has been the contribution of this area of science to find and predict possible solutions to quell the effects of this global pandemic. For this purpose, statistical analyses based on three models will be used : non-linear phenomenological models, data modeling and the generalised logistic model, which are expected to contribute to a better evaluation and understanding of the measures taken to face this health crisis and, in the future, the importance of understanding the use of data and the technological tools available to mankind today in the face of any new virus.

Keywords : SARS-CoV-2, mathematical models, applied statistics.

Résumé : La pandémie causée par le virus COVID-19 a fait l'objet de nombreuses analyses et études en raison de ses incidences et conséquences graves dans tous les secteurs du développement humain au niveau mondial. Les données rendent compte de son impact non seulement sur le taux de mortalité mais aussi sur les indices économiques des pays. Lorsque l'on analyse tous ces indicateurs, on se demande si certains d'entre eux, tels que le nombre d'incidences et les variables du facteur reproductif effectif de maladie, ne peuvent pas mieux refléter la prédictibilité des cas et ainsi évaluer les mesures permettant d'atténuer l'incidence de nouveaux cas. Cette analyse est particulièrement significative si l'on considère que la pandémie n'est pas terminée et que de plus importantes et meilleurs résolutions sont encore nécessaires pour faire face à la crise en cours. Dans ce contexte, notre étude se propose d'analyser, à partir des modèles théoriques mathématiques, l'apport de ce secteur de la science pour trouver et prévoir de possibles solutions afin de diminuer les effets de cette pandémie. Pour cela, nous utiliserons des analyses statistiques basées sur trois modèles, phénoménologiques non linéaires, configuration de données et modèle logistique généralisé, en espérant qu'ils contribueront à une meilleure évaluation et compréhension des mesures prises face à la crise sanitaire et qui seront adoptées à l'avenir pour faire face à de nouveaux virus, en utilisant mieux les données et les outils technologiques dont dispose l'humanité.

Mots-clés : SARS-CoV-2, modèles mathématiques, statistique appliquée.

JEL classification : C02, I12.

Introduction

D'un point de vue rétrospectif, on constate que l'humanité a dû faire face, dans de nombreuses occasions, à des catastrophes de tous types, certaines naturelles et d'autres provoquées par les êtres humains eux-mêmes (Castañeda & Ramos Serpa, 2020). Ces situations non seulement ont été cause de douleurs en raison des décès, mais aussi de grandes pertes économiques, humaines, personnelles et sociales. Il est donc urgent de réfléchir et d'investir tous les éléments et outils nécessaires pour

aider notre société à mieux faire face à des événements aussi lamentables (Luna-Nemecio, 2020).

Dans ce contexte, alors que nous subissons encore les effets de la pandémie causée par la COVID-19, il faut souligner l'importance de nouvelles informations et études analysant de manière profonde et exhaustive tous les facteurs et circonstances liés à ce fléau qui a frappé le monde au cours des dernières années.

1. Bref référentiel

1.1. Les sciences exactes et les catastrophes

Ce travail se propose donc d'analyser, à partir des modèles théoriques mathématiques, l'apport de ce secteur de la science, et de trouver et prédire des solutions possibles pour diminuer les effets de cette pandémie mondiale. Nous utiliserons l'analyse de statistiques prises des modèles phénoménologiques et logistiques généralisés, ainsi que le modèle déjà utilisé par les statistiques mathématiques comme paramètre d'évaluation de ce type de phénomène.

1.2. Cadre référentiel

Dès janvier 2020, cette crise sanitaire mondiale a exigé de nombreux efforts et l'implémentation d'une série de stratégies afin de diminuer ses effets ; cependant, en portant un regard rétrospectif, les voix critiques s'élèvent pour indiquer que, même si la globalisation est un paradigme incontournable, les mesures adoptées face à cette crise n'ont pas appliqué une vision globale, ce qui explique les conséquences fatales atteignant un niveau jusque-là imprévu (Collado Campaña, 2019 ; Jiménez-Díaz et al., 2021).

Depuis les premiers cas de virus apparus dans la ville de Wuhan, en Chine, de ce que l'on pensait être une sorte de pneumonie peu commune, jusqu'à maintenant, quand le virus a été identifié avec ses mutations (Fraguas, 2020), la COVID-19 a coûté la vie à des millions de personnes et en a contaminé des milliards. Cette maladie est donc devenue une urgence de santé publique globale, qui cependant ne nous a pas tous affligé de la même façon. Ceci dû au fait que l'impact dépendait de la capacité de réaction des nations, du type de mesures adoptées et de la vitesse à laquelle elles ont été appliquées (Barrios & González, 2020). Cette crise sera également surmontée selon les politiques implémentées par les pays et leur capacité de faire face aux conséquences de la phase d'hibernation économique résultant de la fermeture massive des marchés et des transactions nationales et transnationales (Luján Alcaraz, 2020).

2. Méthodologie

Pour la source de données, nous avons analysé les informations sur la COVID-19 au Chili à différents moments de l'année 2020, publiées par le ministère de Santé dans ses rapports officiels. Les deux indicateurs de la pandémie utilisés sont modélisés selon les chiffres réels du Chili à deux moments de plus haut niveau du virus. Il s'agit du comportement de l'incidence de cas et les projections possibles les jours suivants, d'une part, et l'important facteur du taux de reproduction du virus (R_t), d'autre part – il s'agit de la capacité moyenne d'une personne contaminée de transmettre au reste de la population n'importe quel jour. Le deuxième chiffre est de grande importance pour estimer le contrôle final de la pandémie, car sa tendance à zéro élimine la reproduction du virus.

Pour le premier indicateur, trois méthodes de ce qu'on appelle modèles phénoménologiques (modèles non linéaires) sont utilisées, qui ne considèrent pas les mécanismes de transmission de la maladie, mais qui ont l'avantage de ne pouvoir donner des pronostics sur le nombre de cas, le nombre prévu à la fin de la pandémie, où sera le point le plus haut, etc. qu'avec l'information sur les cas antérieurs. Les modèles phénoménologiques utilisent peu de paramètres, font des suppositions plus simples et donnent des estimations plus solides lorsqu'ils sont appliqués dans des contextes de données très limités.

La création d'un modèle de données est faite avec les modèles phénoménologiques les plus utilisés pour les maladies infectieuses : le modèle de Richards (RM) (1959), le modèle logistique généralisé (GLM) et le modèle de Richards généralisé (GRM) (1969). Le premier est un modèle de croissance qui considère quatre variables, un de ses paramètres permet de modéliser les courbes avec une plus grande précision, mais il est critiqué car ce paramètre n'a pas de base biologique. Le second, le GLM, est une fonction utilisée dans divers modèles de croissance pour des populations, propagations de pandémies ou autres ; cette fonction est une généralisation flexible des régressions simples, avec distribution d'erreurs différente de la distribution normale, et le dernier est une généralisation des deux modèles antérieurs.

2.1. Modèle logistique généralisé

Le modèle logistique généralisé (MLG) est une extension du modèle logistique qui inclut un paramètre additionnel, p pour permettre l'extension de la croissance ; $p = 1$ indique une croissance exponentielle précoce, $p = 0$ représente une croissance constante, et $0 < p < 1$ accommode les croissances sous-exponentielles ou polynomiales précoces (Chowell & Viboud, 2016). Le MLG est défini par l'équation différentielle (1) :

$$C'(t) = rC(t)^p \left(1 - \frac{C(t)}{K}\right) \quad (1)$$

où $C(t)$ représente le nombre de cas accumulés dans la période t , $C'(t)$ représente le nombre de nouveaux cas contaminés dans la période t , r est la cause de croissance, p est l'échelle du paramètre de croissance, et K est la capacité de charge ou la taille finale de l'épidémie.

2.2. Modèle de Richards généralisé

Le modèle de Richards généralisé (MRG) est une extension du modèle de Richards, qui assume une phase de croissance initiale exponentielle. Pour prendre en compte les dynamiques de croissance initiale (Roosa et al., 2020a), le MRG a été créé en incorporant le paramètre p , aussi connu comme paramètre de décélération de la croissance. Le MRG a la forme (2) :

$$C'(t) = rC(t)^p \left[1 - \left(\frac{C(t)}{K}\right)^a\right] \quad (2)$$

où $0 \leq p \leq 1$ et l'exposant a mesure la déviation de la dynamique de la courbe logistique simple symétrique. Pour les périodes initiales de la pandémie, ce modèle est capable de capter différents profils de croissance, mentionnés avec le modèle antérieur (Roosa et al., 2020b).

Un modèle correctement calibré selon les données peut être utilisé pour prédire à court terme ou long terme, en créant une prédiction basée sur l'incertitude des modèles donnée par $f(t, \hat{\theta}_1)$, $f(t, \hat{\theta}_2)$, ..., $f(t, \hat{\theta}_{200})$ (ajustements des 200 courbes créées par la procédure de quantification de l'incertitude), qui exige de propager l'incertitude de l'état actuel à un horizon temporel de h unités : $f(t+h, \hat{\theta}_1)$, $f(t+h, \hat{\theta}_2)$, ..., $f(t+h, \hat{\theta}_{200})$.

Si nous pouvons inspecter les résidus pour détecter toute déviation systématique du modèle qui s'ajuste aux données, il est aussi possible de quantifier l'erreur du modèle ajusté en se servant des mesures de rendement. Ces mesures servent aussi à quantifier l'erreur assistée aux pronostics. La somme des carrés de l'erreur (SSE), l'erreur absolue moyenne (MAE) et la racine de l'erreur quadratique moyenne sont parmi les plus utilisées (RMSE) (Chowell, 2017).

Il est également possible de quantifier l'erreur de l'ajustement du modèle aux données en employant les mesures de performance (Kuhn & Johnson, 2013). Elles sont aussi utiles pour quantifier l'erreur associée aux pronostics. Une mesure de rendement très utilisée est l'erreur quadratique moyenne (RMSE), donnée par :

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (f(t_i, \hat{\theta}) - y_{t_i})^2}{n}}$$

Une mesure de rendement est l'erreur moyenne absolue, donnée par :

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n |f(t_i, \hat{\theta}) - y_{t_i}|}{n}$$

De même, le pourcentage d'erreur moyenne absolue s'obtient par :

$$MAPE = \frac{\sum_{i=1}^n \left| \frac{f(t_i, \hat{\theta}) - y_{t_i}}{y_{t_i}} \right|}{n}$$

3. Résultats

Les analyses statistiques des trois modèles de nouveaux cas, à deux moments du virus, sont réalisées avec le système MATLAB (système de calcul numérique), la ligne discontinue apparaissant le jour réel de propagation (figure 1 et 2). Les trois modèles

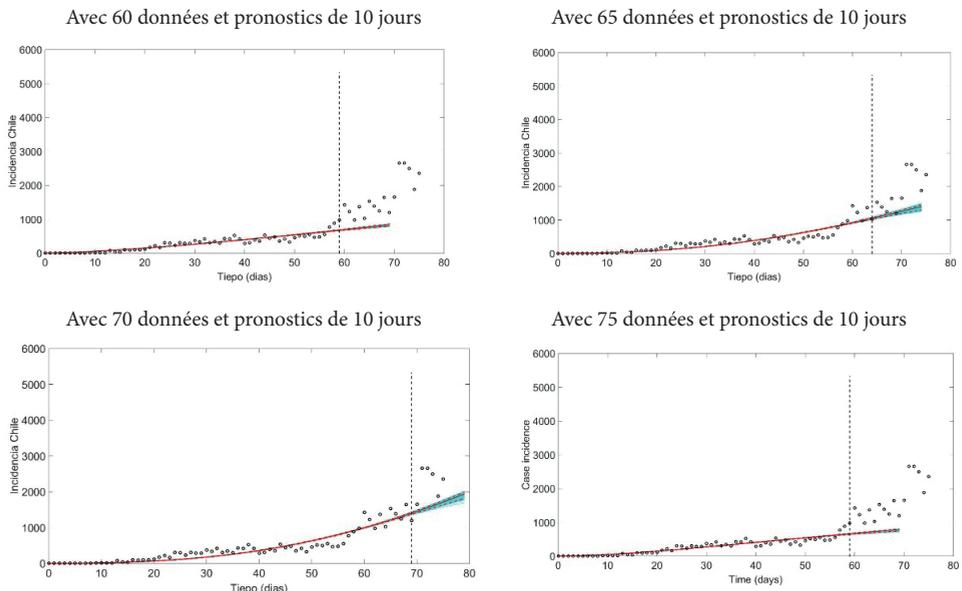


Figure 1. Modèle GLM et sa progression

Source : élaboration à partir de données gouvernementales.

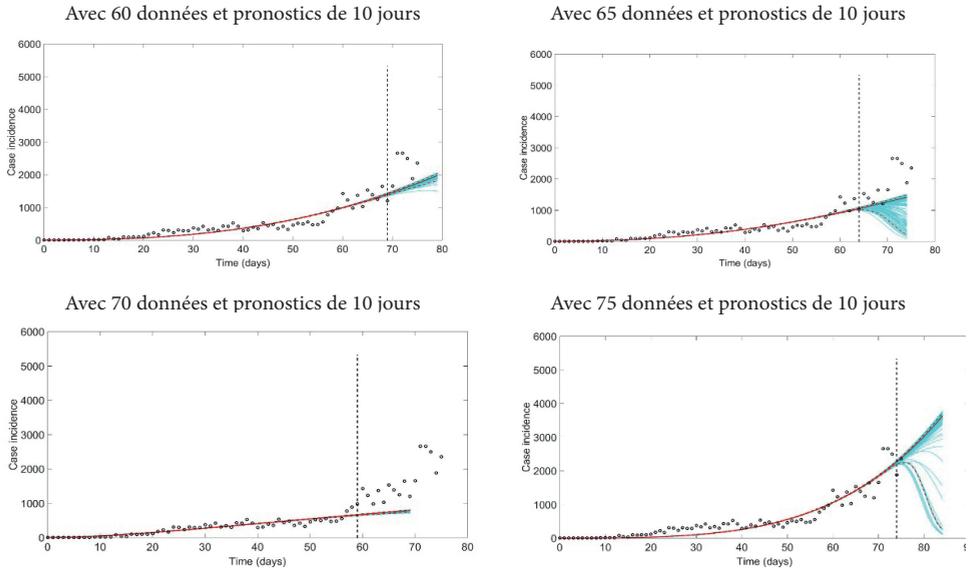


Figure 2. Modèle de Richards et sa progression

Source : élaboration à partir de données gouvernementales.

vont vers un même horizon, la courbe de croissance des cas nouveaux est entrée dans sa croissance exponentielle, la courbe la plus probable prédit jusqu'à 4000 cas dans les jours qui viennent et les cas peuvent augmenter de manière alarmante. Ces modèles nous permettent de prendre des décisions pour chercher la meilleure

Tableau 1. Statistiques ou mesures de rendement (MAE, RMSE y SSE) de l'ajustement obtenu par le modèle logistique généralisé en utilisant différents intervalles de données épidémiques

Période	1-60	1-65	1-70	1-75
MAE	64,78	94,83	111,14	151,76
RMSE	86,89	136,94	148,03	209,28
MAPE	1,51	0,56	0,41	0,43

Source : élaboration à partir de données gouvernementales.

Tableau 2. Statistiques ou mesures de rendement (MAE, RMSE y SSE) de l'ajustement obtenu par le modèle de Richards généralisé en utilisant différents intervalles de données épidémiques

Période	1-60	1-65	1-70	1-75
MAE	62,69	94,28	110,09	149,83
RMSE	87,26	136,06	146,94	207,58
MAPE	1,14	0,58	0,43	0,41

Source : élaboration à partir de données gouvernementales.

ligne à venir, dans les possibilités existantes, selon le virus ou la pandémie étudiée. Dans le cas de la COVID-19, celles-ci pourraient être la distance et la conscience sociale du phénomène, pour conduire à une situation plus favorable (lignes bleu clair des modèles) ; sans cela, la conséquence immédiate serait les situations plus alarmantes qu'indiquent les lignes des modèles, ce qui signifierait un effondrement total du système de santé, comme cela s'est passé dans divers endroits du monde, avec une quantité de décès dans la même croissance exponentielle.

Ces modèles phénoménologiques dynamiques peuvent être employés pour le pronostic à court terme, en particulier pour le pronostic de 10 jours de l'incidence des cas confirmés. Les figures antérieures montrent les pronostics de 10 jours basés sur le modèle logistique et le modèle de Richards.

Pour la modélisation du second facteur, le taux de reproduction du virus (R_t), on utilise deux distributions de probabilité pour la durée de génération ou l'intervalle

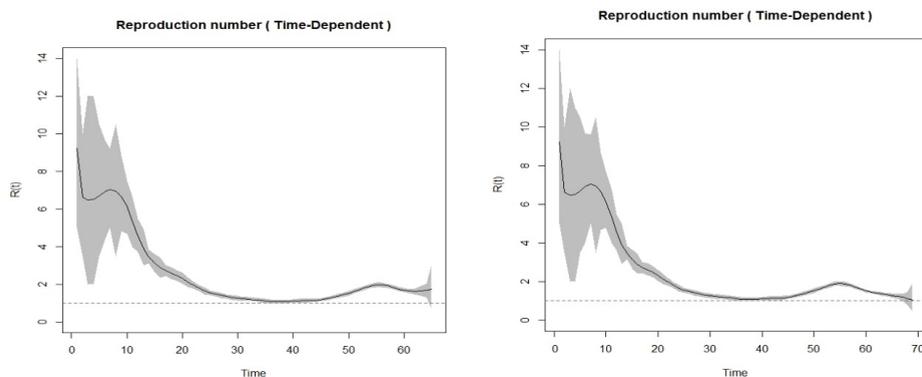


Figure 3. Fonction Gama

Source : élaboration à partir de données gouvernementales.

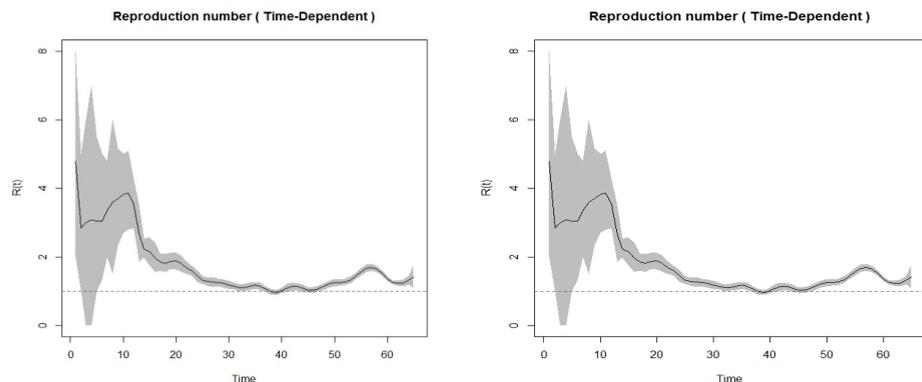


Figure 4. Fonction logonormale

Source : élaboration à partir de données gouvernementales.

de série, les distributions gamma et logonormale. Pour ces deux distributions, dans la période analysée, l'indicateur s'est maintenu stable, proche de 1 avec une légère croissance dans quelques périodes. Cet indicateur est très important dans les cas de pandémies, car lorsqu'il est proche de zéro, on peut être sûr qu'elle est proche de sa fin, situation qui dans ce cas précis ne s'est pas produite (figure 3 et 4).

Les analyses des deux indicateurs nous alertent sur tous les scénarios possibles, comme par exemple les progrès de la maladie selon le virus analysé, c'est-à-dire la croissance exponentielle de nouveaux cas, que nous pouvons voir augmenter de manière multiplicative en peu de jours, avec les conséquences connus de milliers de morts. Un autre scénario consiste à « redresser la courbe », ce qui ne s'obtient qu'avec des mesures très strictes de contrôle et de suivi selon chaque virus ou pandémie. Les fonctions exponentielles au moment de la croissance n'acceptent pas en général de positions intermédiaires.

Ces modèles permettent aux pays d'établir des politiques publiques acceptables pour contenir l'épidémie de COVID-19, comme : isolement, quarantaines, distance sociale, réorganisation professionnelle, restrictions de voyages, etc.

4. Débat

L'un des plus grands génies de l'humanité, le mathématicien Carl Friedrich Gauss (1777–1855), a dit que « La mathématique est la reine des sciences et l'arithmétique la reine des mathématiques. Elle a souvent daigné prêter service à l'astronomie et aux autres sciences naturelles, mais dans toutes les relations elle mérite la première ligne ».

La création d'un modèle mathématique indique le chemin à suivre, c'est le dernier moment pour que tous le comprennent, il est temps de penser au bien commun. Un grand nombre de mesures, décrites dans la révision bibliographique, n'ont pas été prises au bon moment pour être utilisées selon les prédictions des modèles mathématiques. Les pronostics à court terme issus des méthodologies décrites dans ce travail peuvent être des outils précieux pour prendre des décisions de santé publique, guider dans l'attribution des ressources critiques nécessaires au contrôle de la pandémie et répondre aux futures épidémies de maladies infectieuses.

Conclusion

Les modèles phénoménologiques sont utiles dans le contexte de données épidémiologiques limitées ou lorsqu'il faut faire face à des épidémies provoquées par de nouveaux pathogènes, comme le SARS-CoV-2. Cette étude utilise deux modèles

phénoménologiques dynamiques, le modèle logistique et celui de Richards généralisé, pour produire des cônes de pronostic de 10 jours de l'incidence des cas confirmés pour le Chili, en utilisant des intervalles croissants de données épidémiques. Pour l'estimation des paramètres des modèles et le pronostic, l'incertitude est quantifiée en utilisant une approche de *bootstrap* paramétrique qui considère une structure d'erreur de Poisson.

Dans beaucoup d'études antérieures, les modèles phénoménologiques, dans leur majorité, assumaient une phase de croissance exponentielle précoce comme les modèles logistiques Richards, Gompertz, etc. L'un des avantages des modèles phénoménologiques dynamiques présentés ici est qu'ils permettent d'étudier et de caractériser les profils de croissance qui ne peuvent pas être pris en compte dans les modèles phénoménologiques antérieurs. Ces modèles ont été calibrés en utilisant une quantité croissante de données épidémiques (60, 65, 70 et 75 jours).

Ces modèles de croissance phénoménologique admettent seulement des dynamiques d'épidémies avec un seul point culminant, tandis que les épidémies réelles présentent souvent des trajectoires de transmission plus complexes. Dans ces cas, il est recommandable d'utiliser l'approche de modèles de sous-épidémies pour estimer les paramètres de transmission et prévoir les trajectoires épidémiques.

Les pronostics à court terme issus des méthodologies exposées dans ce travail peuvent constituer un outil précieux pour les preneurs de décisions de la santé publique, afin de les guider dans l'assignation de ressources critiques nécessaires au contrôle de l'épidémie et dans la manière de réagir face à de futures épidémies de maladies infectieuses.

References

- Barrios, M., & González, H. (2020). Análisis estratégico sobre el panorama mundial en tiempos de la pandemia, desde la Argentina. *Visión & Global Trends. Analytical Dossier*, 8(1). https://www.vision-gt.eu/wp-content/uploads/2020/04/AD_8_2020.pdf
- Castañeda, C., & Ramos Serpa, G. (2020). Principales pandemias en la historia de la humanidad. *Revista Cubana de Pediatría*, 92. <https://revpediatria.sld.cu/index.php/ped/article/view/1183/714>
- Chowell, G. (2017). Fitting dynamic models to epidemic outbreaks with quantified uncertainty: A primer for parameter uncertainty, identifiability, and forecasts. *Infectious Disease Modelling*, 2(3), 379–398. <https://doi.org/10.1016/J.IDM.2017.08.001>
- Chowell, G., & Viboud, C. (2016). Is it growing exponentially fast? – Impact of assuming exponential growth for characterizing and forecasting epidemics with initial near-exponential growth dynamics. *Infectious Disease Modelling*, 1(1), 71–78. <https://doi.org/10.1016/J.IDM.2016.07.004>

- Collado Campaña, F. (2019). Liderazgo político local de larga continuidad: Alcaldes y notables en las capitales de provincia de Andalucía. *Política y Gobernanza. Revista de Investigaciones y Análisis Político*, 3, 49–74. <https://doi.org/10.30827/POLYGOB.V0I3.9803>
- Fraguas, R. (2020). Hipótesis sobre el origen de la pandemia: reflexiones geopolíticas. *Razón y Fe: Revista hispanoamericana de cultura*, 281(1445), 297–304. <https://revistas.comillas.edu/index.php/razonyfe/article/view/12838/11782>
- Jiménez-Díaz, J. F., Ruiloba-Núñez, J. M., & Collado-Campaña, F. (2021). Liderazgo político para un mundo nuevo: cambios globales y pandemia de la COVID-19. *Revista mexicana de ciencias políticas y sociales*, 242, 109–141. <https://doi.org/10.22201/fcpsy.2448492xe.2021.242.76524>
- Kuhn, M., & Johnson, K. (2013). *Applied predictive modeling*. Springer.
- Luján Alcaraz, J. (2020). Sobre la reactivación social y económica. El papel de la Universidad ante la Pandemia. *Discursos institucionales del Rector de la Universidad de Murcia*. Murcia: Universidad de Murcia. <https://digitum.um.es/digitum/bitstream/10201/95322/1/Discurso%20del%20Rector%20Luj%c3%a1n%20en%20Asamblea%20Regional%202023%20de%20julio%20de%202020.pdf>
- Luna-Nemecio, J. (2020). Determinaciones socioambientales del COVID-19 y vulnerabilidad económica, espacial y sanitario-institucional. *Revista de Ciencias Sociales de la Universidad de Zulia*, 26(2), 21–25. <https://www.redalyc.org/journal/280/28063431004/28063431004.pdf>
- Roosa, K., Lee, Y., Luo, R., Kirpich, A., Rothenberg, R., Hyman, J. M., Yan, P., & Chowell, G. (2020a). Real-time forecasts of the COVID-19 epidemic in China from February 5th to February 24th, 2020. *Infectious Disease Modelling*, 5, 256–263. <https://doi.org/10.1016/j.IDM.2020.02.002>
- Roosa, K., Lee, Y., Luo, R., Kirpich, A., Rothenberg, R., Hyman, J. M., Yan, P., & Chowell, G. (2020b). Short-term forecasts of the COVID-19 Epidemic in Guangdong and Zhejiang, China: February 13–23, 2020. *Journal of Clinical Medicine*, 9(2), 596. <https://doi.org/10.3390/JCM9020596>

Alain REDSLOB

Professeur émérite à l'Université Panthéon Assas (Paris 2)

Président de l'AIELF

L'Association Internationale des Economistes de Langue Française (AIELF) réunit des économistes sans parti pris, respectueux des convictions de celles et de ceux qui les portent. Fusion d'une diversité culturelle dans le creuset d'une communauté d'intérêt, elle rassemble universitaires, chercheurs et hommes de culture qui réfléchissent, coopèrent et diffusent une pensée économique vivée à la passion de la langue de Molière.

Vaste est sa mission. Parce qu'elle instaure, élargit et renforce des liens culturels aux fins de propager notre discipline, dans son aspect humain, institutionnel et formel. Parce qu'elle participe au rayonnement de la recherche, favorise l'élévation des niveaux d'éducation et incite les jeunes à s'investir. Parce qu'en écartant toute pompe, elle encourage le rapprochement des peuples en densifiant des échanges propres à la compréhension de cultures si diverses.

Aujourd'hui, les difficultés abondent, les défis se multiplient, les solutions tardent. À vrai dire, l'économie politique se trouve contrainte d'explorer des champs dont l'étendue grandissante n'a de cesse de le disputer à une aridité parfois inquiétante. Aussi, avec l'ardeur qui nous anime, valorisons nos connaissances, suscitons des confrontations d'opinions, propageons des idées neuves, tout en portant haut les couleurs de ce si beau langage qui est le nôtre.

La Revue Internationale des Economistes de Langue Française (RIELF) ambitionne de prendre sa juste part à cet élan avoué et prometteur.

Prof. dr hab. Maciej ŻUKOWSKI

Recteur de l'USEGP

L'Université des Sciences Economiques et de Gestion de Poznań est l'une des écoles d'économie et d'affaires les plus anciennes et les plus prestigieuses de Pologne. Depuis 1926, nous développons continuellement l'enseignement supérieur et garantissons des études scientifiques de haute qualité et un développement constant des infrastructures de recherche. Nous préparons de nombreux expertises économiques et réalisons des projets innovants. Une éducation de haute qualité, que nous offrons depuis des années, permet à nos étudiants et diplômés de relever avec succès les défis d'un marché du travail dynamique.

L'innovation de nos méthodes de recherche et d'enseignement a été confirmée par de nombreux classements et réalisations de nos étudiants et employés. Nous combinons notre souci de la meilleure qualité d'enseignement avec le développement de la coopération avec d'autres pays et des pratiques commerciales largement définies.

Dr Claudio RUFF ESCOBAR

Recteur de l'Université Bernardo O'Higgins, Chili

L'Université Bernardo O'Higgins (UBO), de Santiago du Chili, est une fondation sans but lucratif, de droit privé, accréditée par la Commission Nationale d'Accréditation (CNA-Chile), pour sa qualité académique, sa gestion et sa politique en matière de relations extérieures avec la Société. Comptant près de 7.000 étudiants répartis sur quatre facultés offrant des programmes de niveaux Licence, Master et Doctorat, ainsi que des départements et centres de recherche, l'Université a pour axe stratégique de développer l'excellence académique et consolider sa politique d'internationalisation, vecteur de croissance académique et culturelle pour toute la communauté universitaire. Cette stratégie est d'ailleurs distinguée par les ranking internationaux (Scimago et Times Higher Education (THE), et régionaux (Revue América Economía), notamment sur les axes de Recherche et d'ouverture à l'international.

L'Université Bernardo O'Higgins compte plus de 125 accords de coopération internationale, parmi lesquels, nombreux sont célébrés avec des pays francophones, cherchant à promouvoir la Francophonie comme axe stratégique d'internationalisation se positionnant ainsi comme l'Université chilienne la plus engagée dans cette vocation tant sur plan académique, que culturel et linguistique. Depuis 2018, l'UBO est membre actif de l'Agence Universitaire de la Francophonie (AUF). Dans ce contexte, l'adhésion au prestigieux réseau de l'AIELF, et l'organisation de son 61^e Congrès à Santiago du Chili en mai 2019, contribuent largement à enrichir cette vision et au rayonnement de la francophonie en Amérique Latine.

Note aux lecteurs : Les textes à soumettre sont à adresser en version électronique à l'adresse de la revue RIELF Krzysztof.Malaga@ue.poznan.pl

Le « guide de soumission » est disponible auprès de site officiel de la RIELF <http://rielf.aielf.org> ou bien sur le site de l'AIELF : <http://www.aielf.org>

