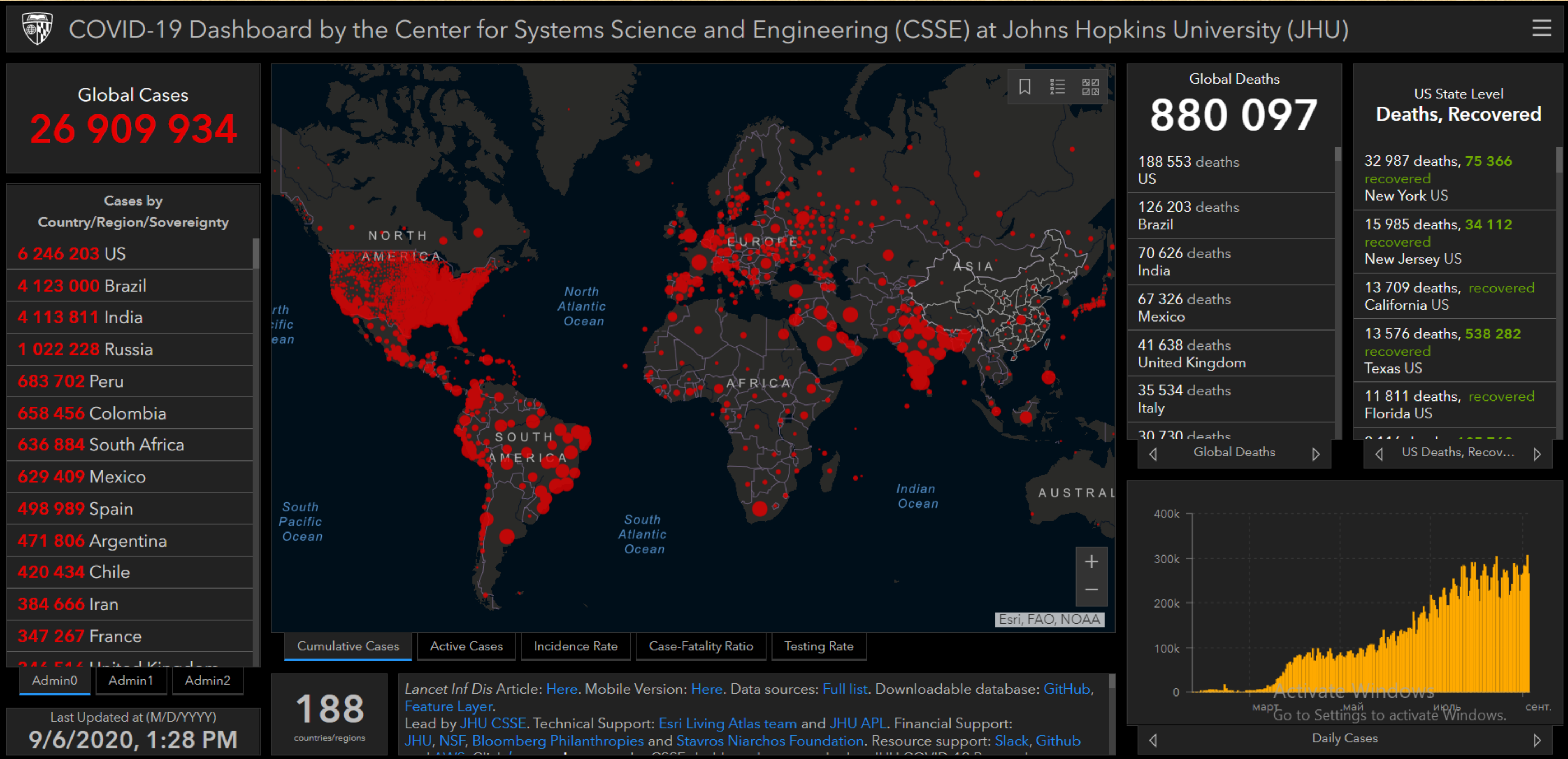


АНАЛИЗ ПАНДЕМИИ И ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ КАРАНТИННЫХ МЕР В КРУПНЕЙШИХ СТРАНАХ МИРА

Ф.Т. АЛЕСКЕРОВ, С.С. ДЕМИН, А.Л. МЯЧИН, В.И. ЯКУБА
НИУ ВШЭ, ИПУ РАН

Вебинар «Экономика и данные: возможности для здравоохранения»,
НИУ ВШЭ, 16.10.2020 Москва

COVID-19



ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ДАННЫЕ

**Законопослушность –
до какой степени
граждане выполняют
указания правительства***

Количество заражённых

**Степень введения отдельных
карантинных мер:**

- **Запрет заграничных путешествий**
- **Запрет внутренних путешествий**
- **Закрытие школ**
- **Закрытие рабочих мест**
- **Отмена публичных мероприятий**
- **Запрет на массовые собрания**
- **Остановка общественного транспорта**
- **Домашний режим**

*** - данные основаны на экспертных оценках**

ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ДАННЫЕ

Источник: The Oxford COVID-19 Government Response Tracker*

Ежедневные данные с 1 января 2020 года

Данные по более чем 180 странам

Данные:

- **степень введения отдельных карантинных мер**
- **количество заражённых**
- **количество смертей**



*** - <https://www.bsg.ox.ac.uk/research/research-projects/coronavirus-government-response-tracker>**

Модель агрегирования уровня карантинных мер по коронавирусу

Карантинные меры, критерии

Критерий	Число градаций
Закрытие школ (с1)	4
Закрытие предприятий (с2)	4
Отмена публичных мероприятий (с3)	3
Ограничение собраний (с4)	5
Отмена общественного транспорта (с5)	3
Требование не покидать жилище (с6)	4
Ограничение на поездки внутри страны (с7)	3
Ограничение на поездки за рубеж (с8)	5

Пороговая модель

Пример для 3-градационных оценок

	с1	с2	с3
Страна А	2	2	2
Страна В	3	3	1

$$A > B$$

Порог: альтернатива со всеми средними оценками лучше, чем альтернатива с хотя бы одной плохой оценкой, даже если все остальные оценки наилучшие.

Модель агрегирования уровня карантинных мер по коронавирусу

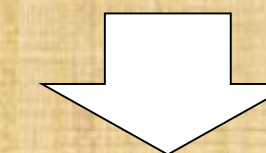
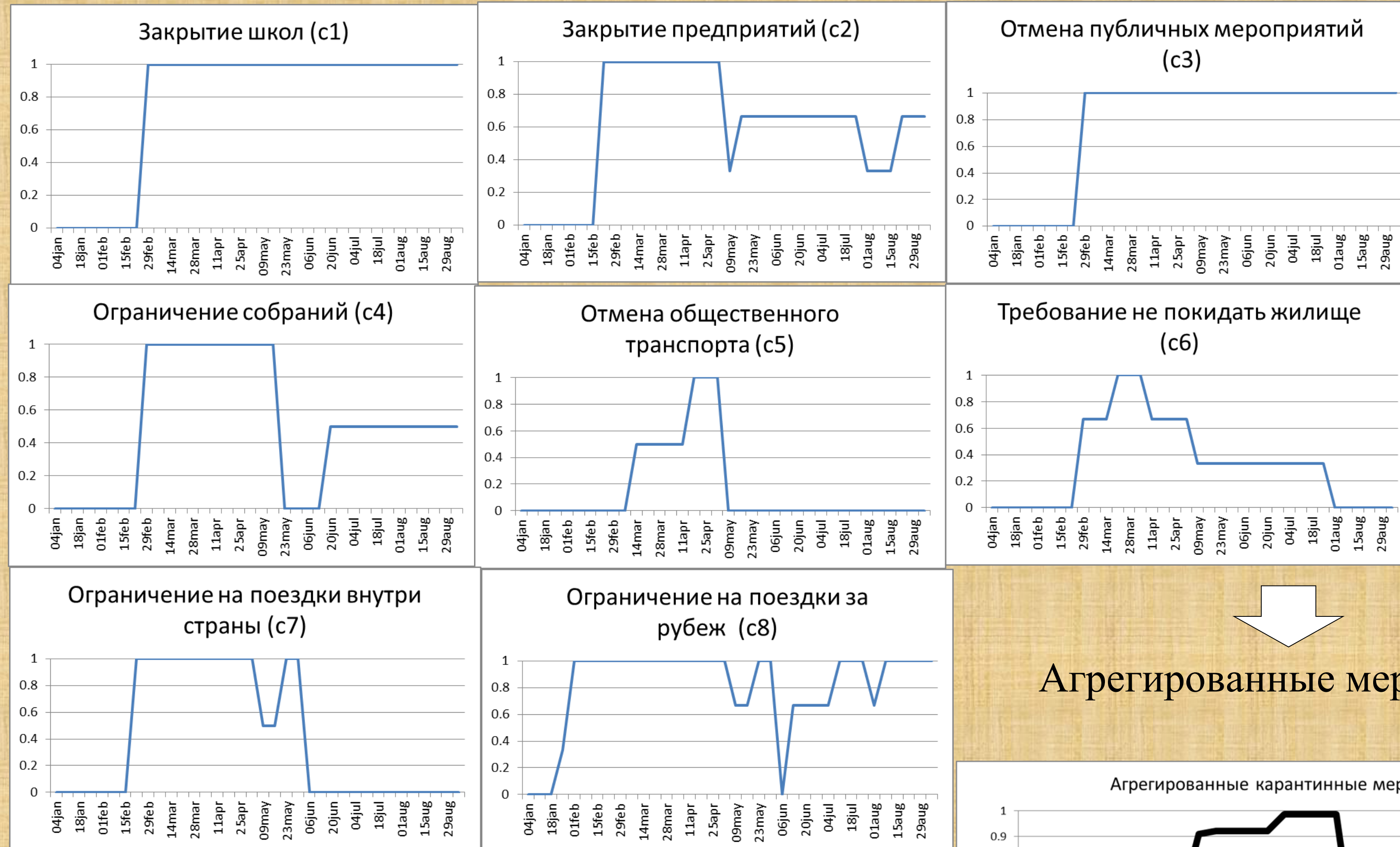
Агрегирование карантинных мер по нескольким критериям производится с помощью порогового правила, которое представляет собой лексикографическое упорядочение количества значений критериев. Страны сравниваются попарно, начиная с критериев, имеющих наименьшее значение, равное 0.

Страна, в которой число критериев с нулевыми значениями меньше, доминирует в парном сравнении с другой страной, в которой число критериев с нулевыми значениями больше.

Если для пары стран число критериев с нулевыми значениями равно, то сравнивается число критериев, имеющих значение 1, и т.д., до максимальных значений критериев.

Агрегированные карантинные меры содержат 468 градаций и нормированы на $[0;1]$

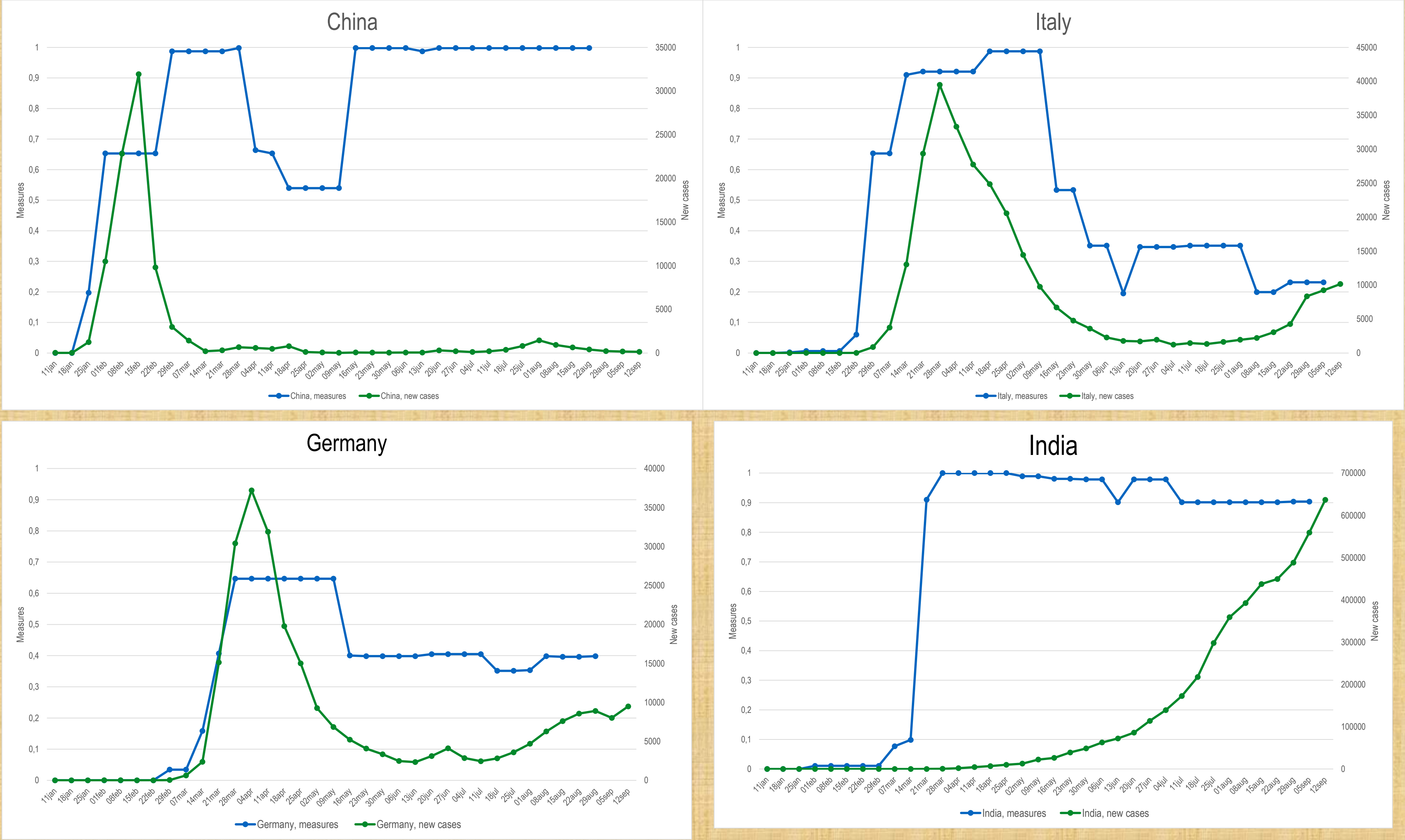
Карантинные меры (Италия)



Агрегированные меры (Италия)

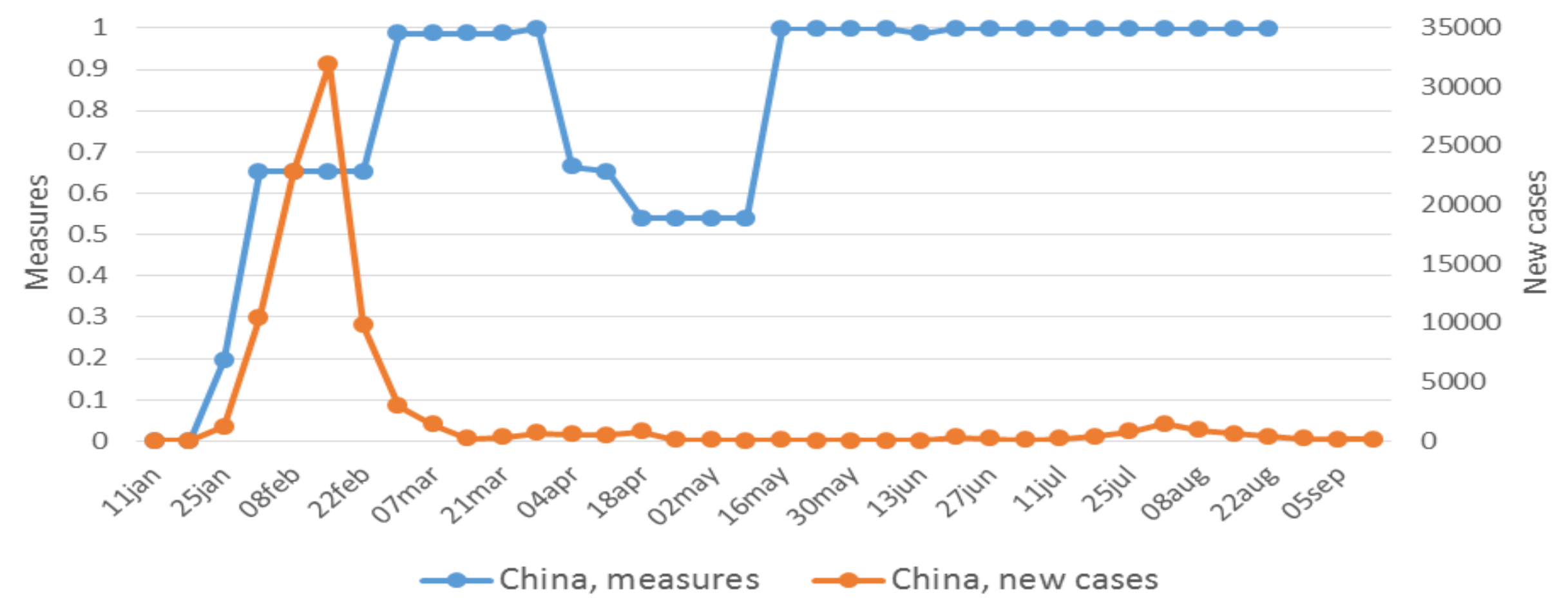


Aggregated measures and new cases per week

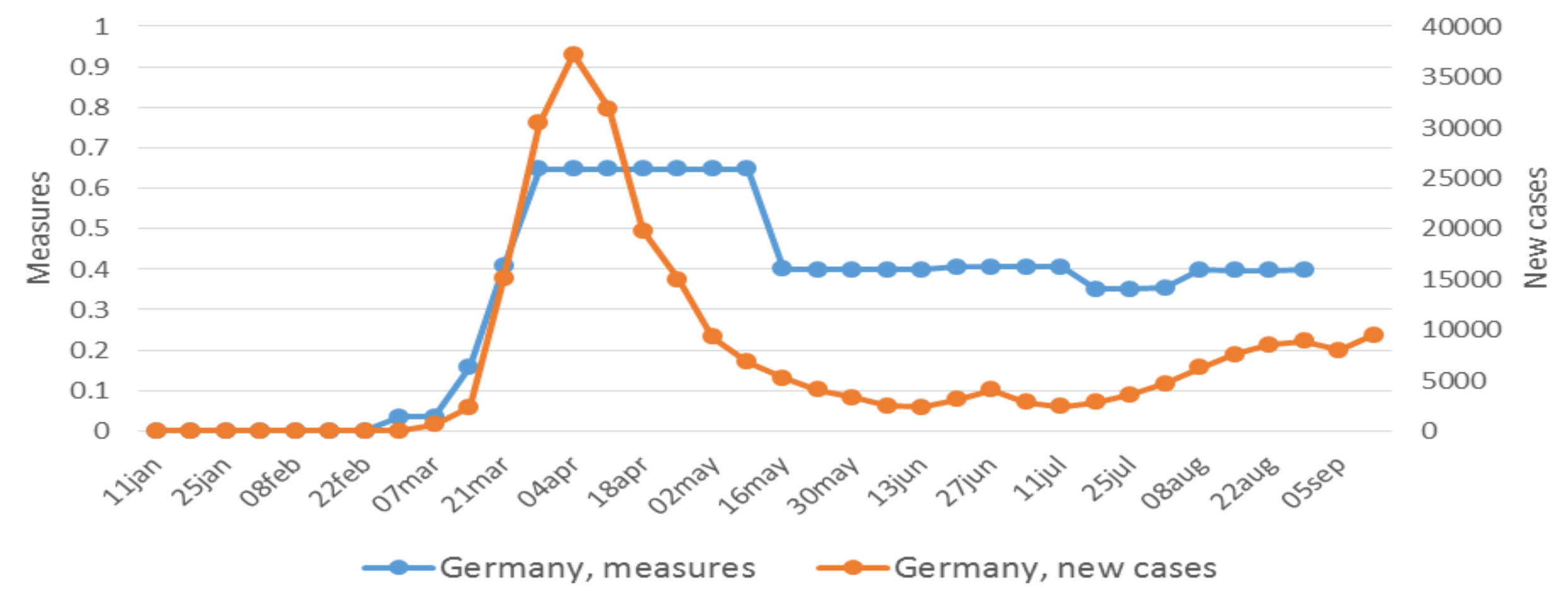


Quarantine measures and new cases

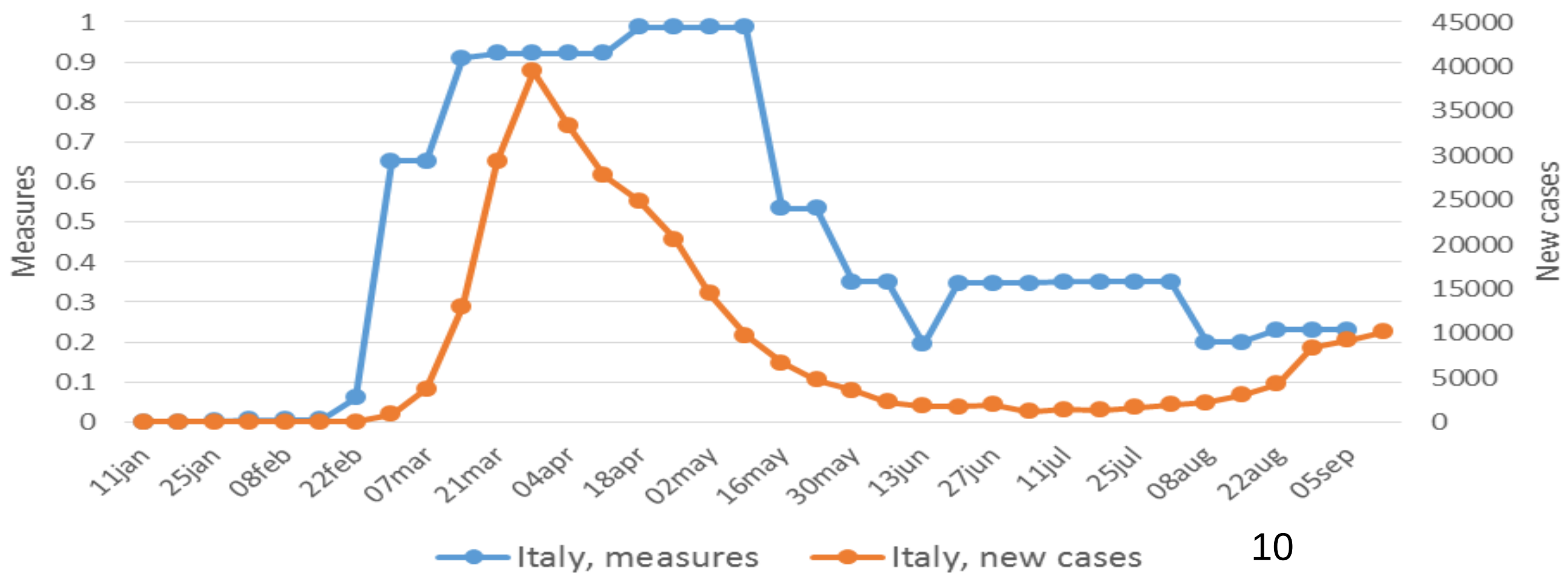
China



Germany



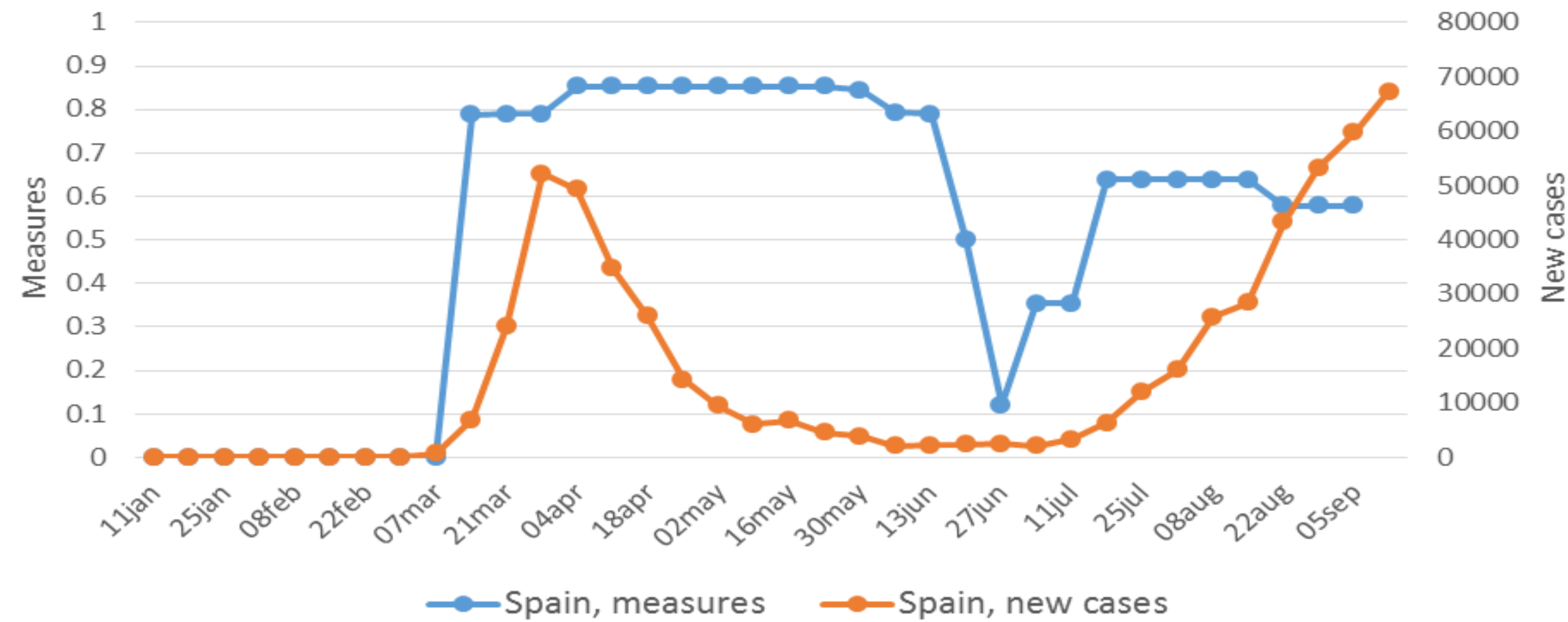
Italy



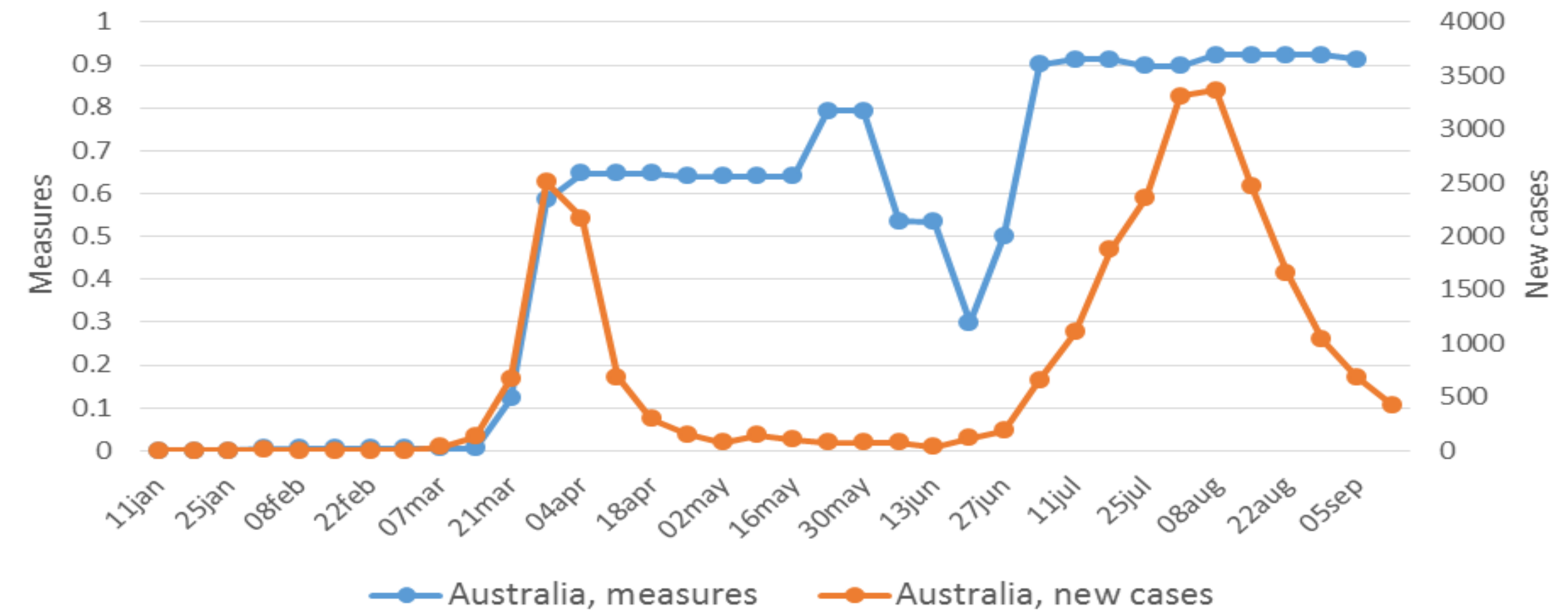
Decreasing number of cases

Quarantine measures and new cases

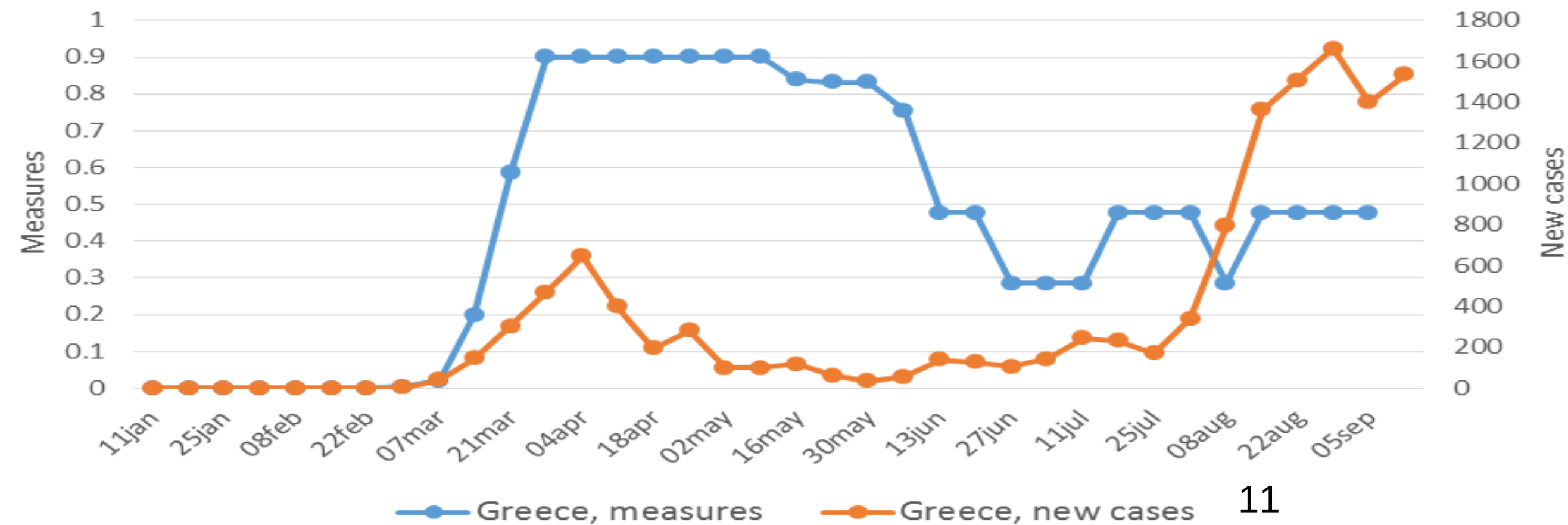
Spain



Australia

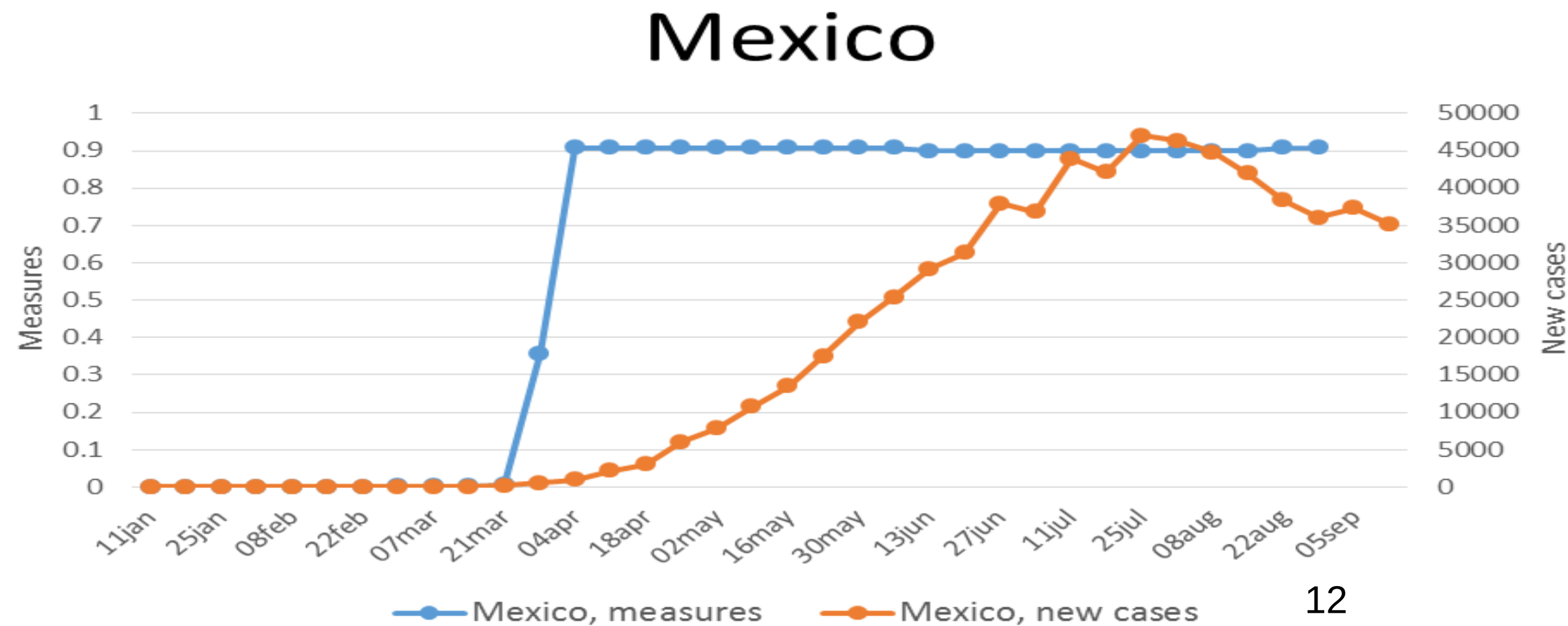
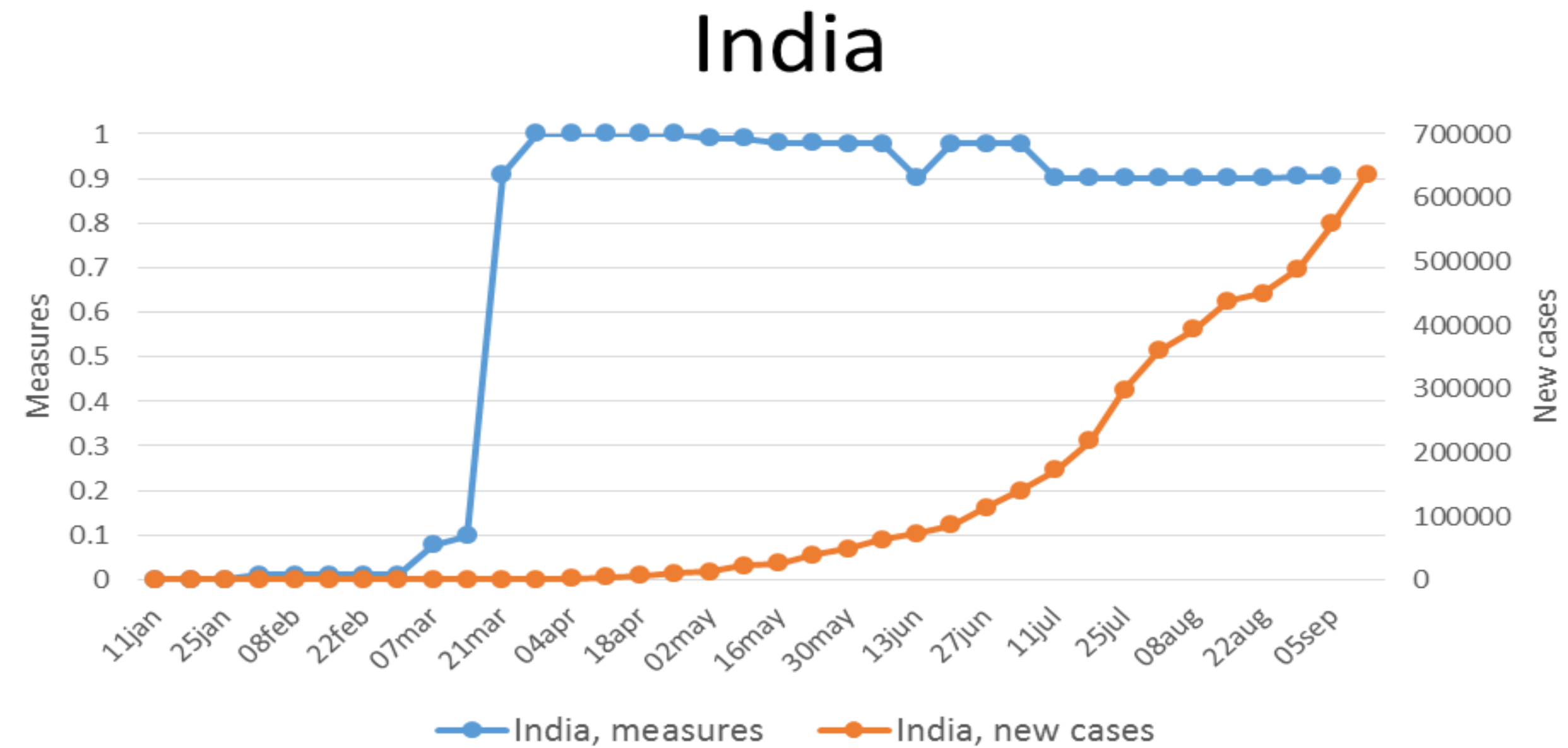
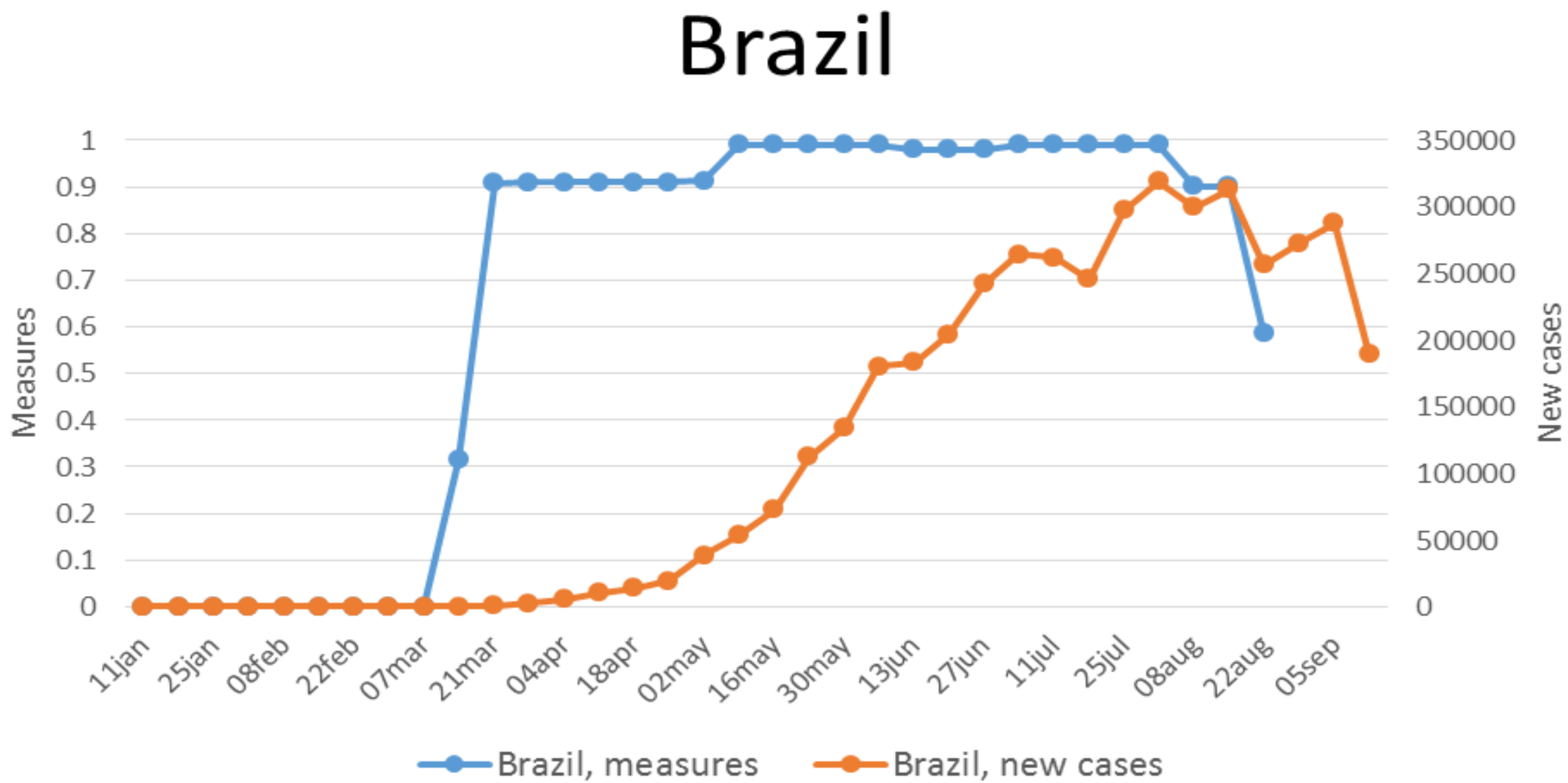


Greece



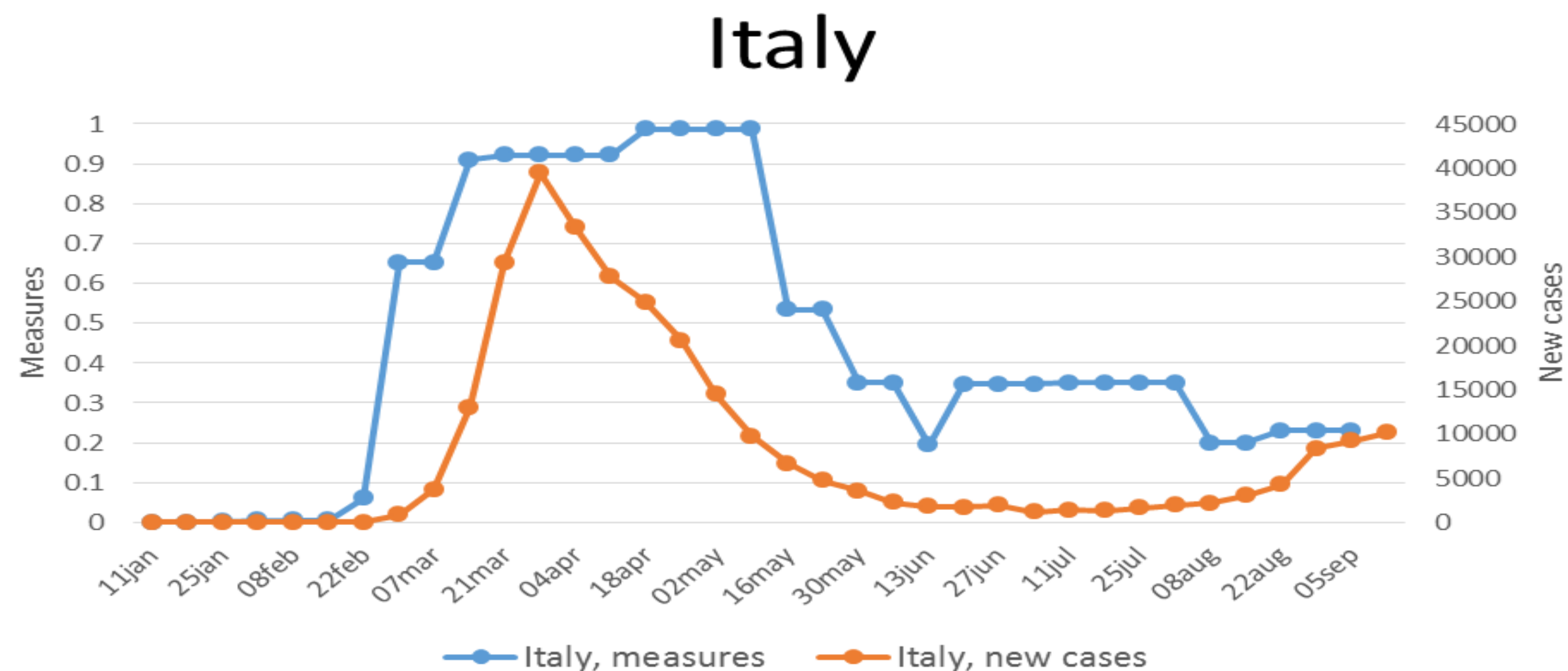
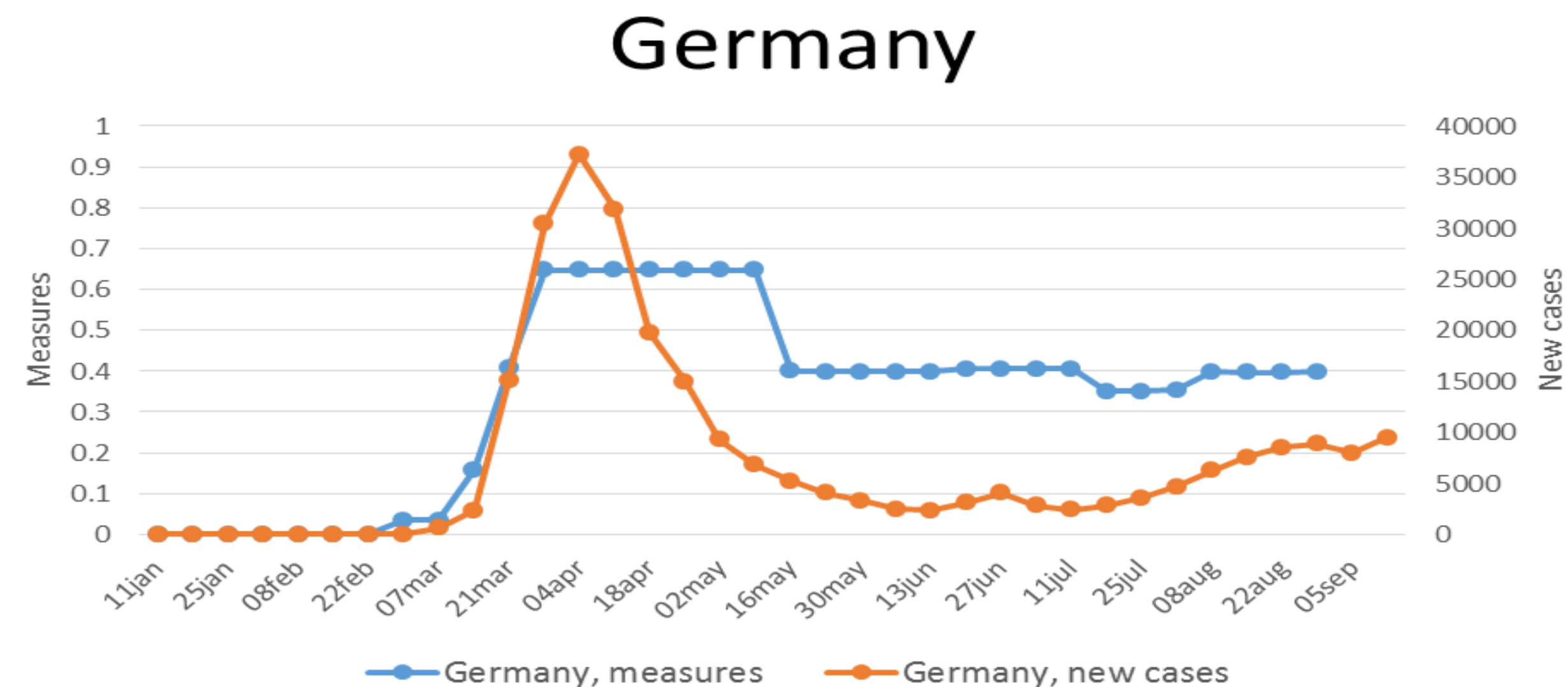
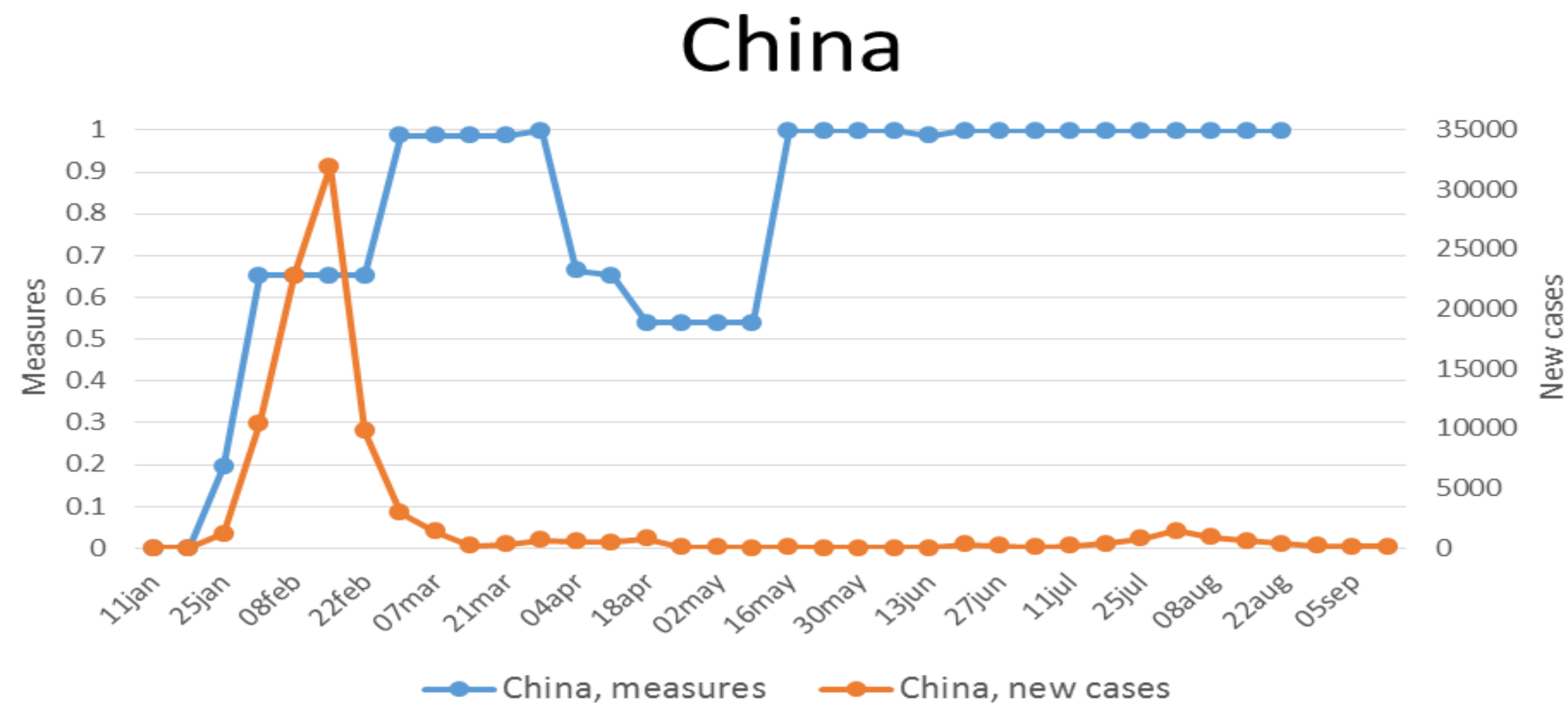
Examples of countries
with the second peak

Quarantine measures and new cases



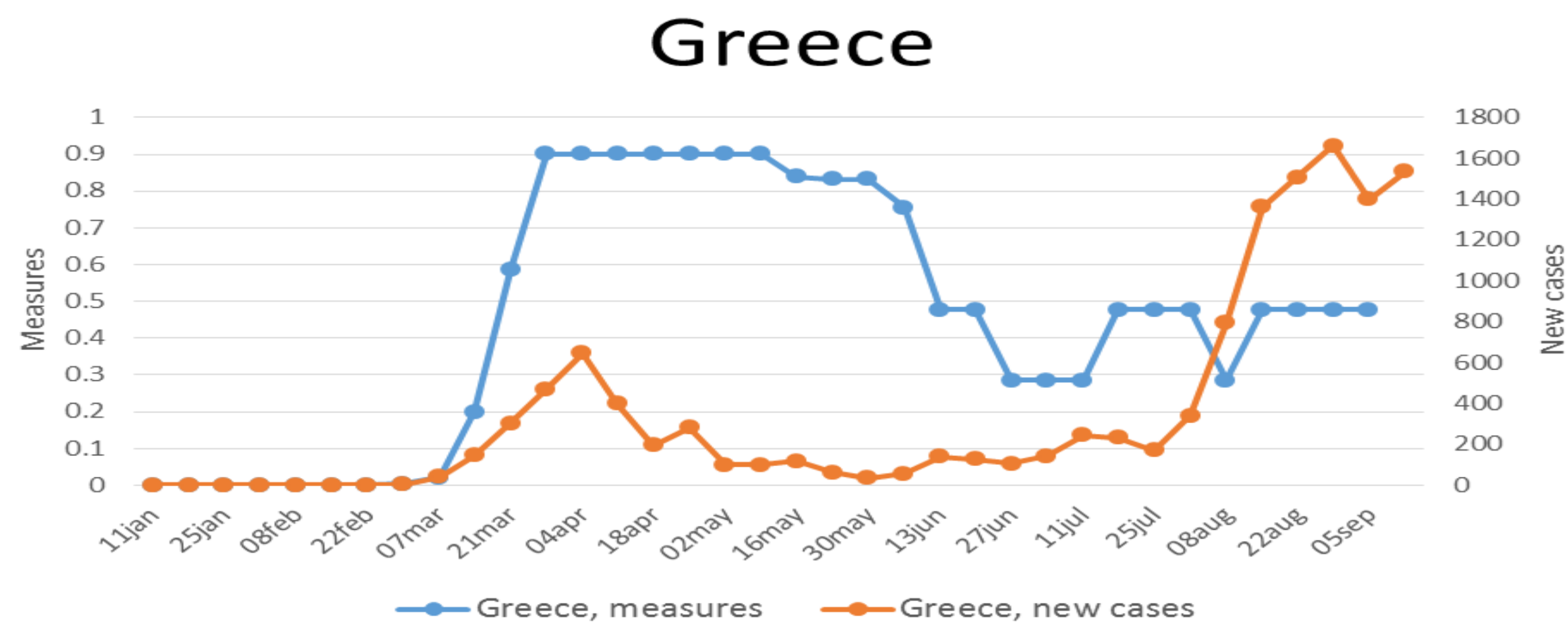
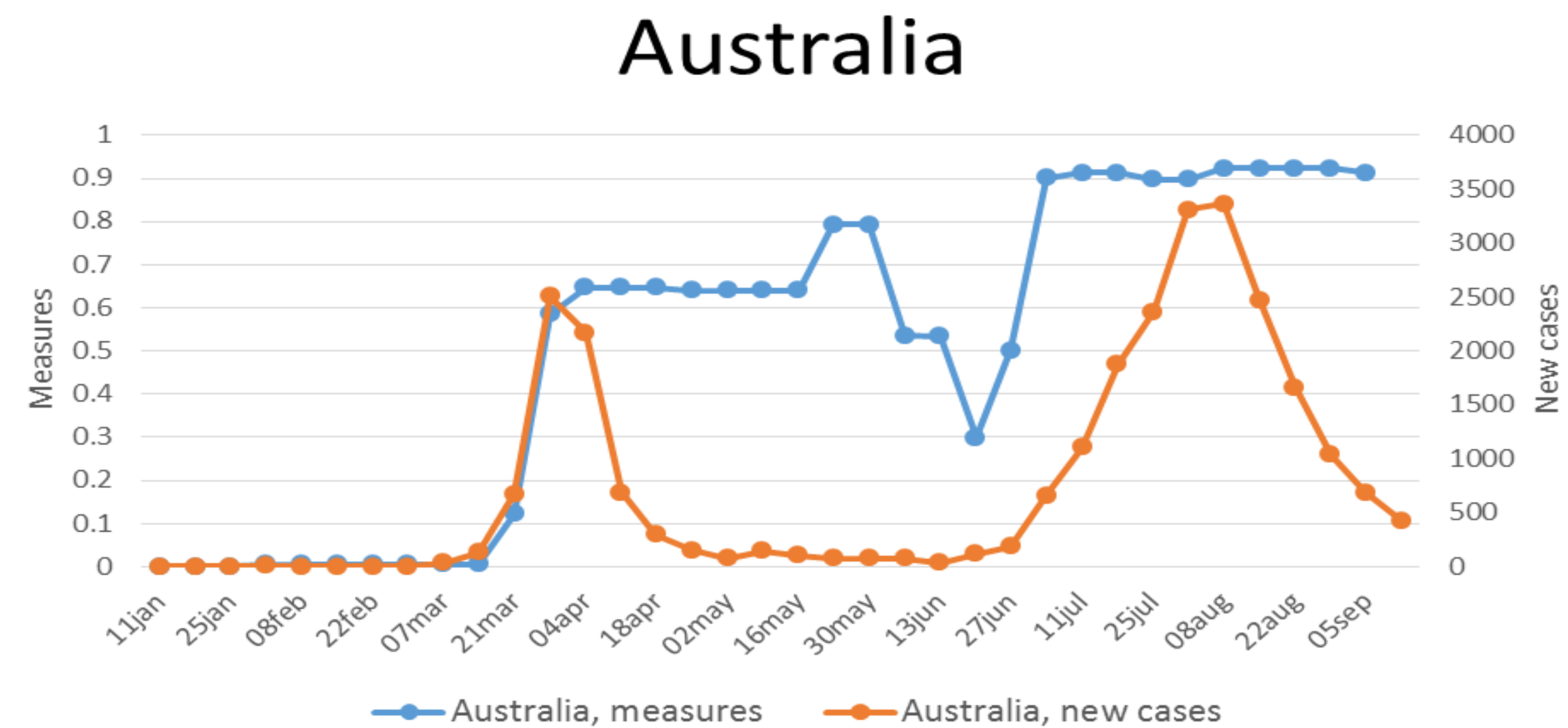
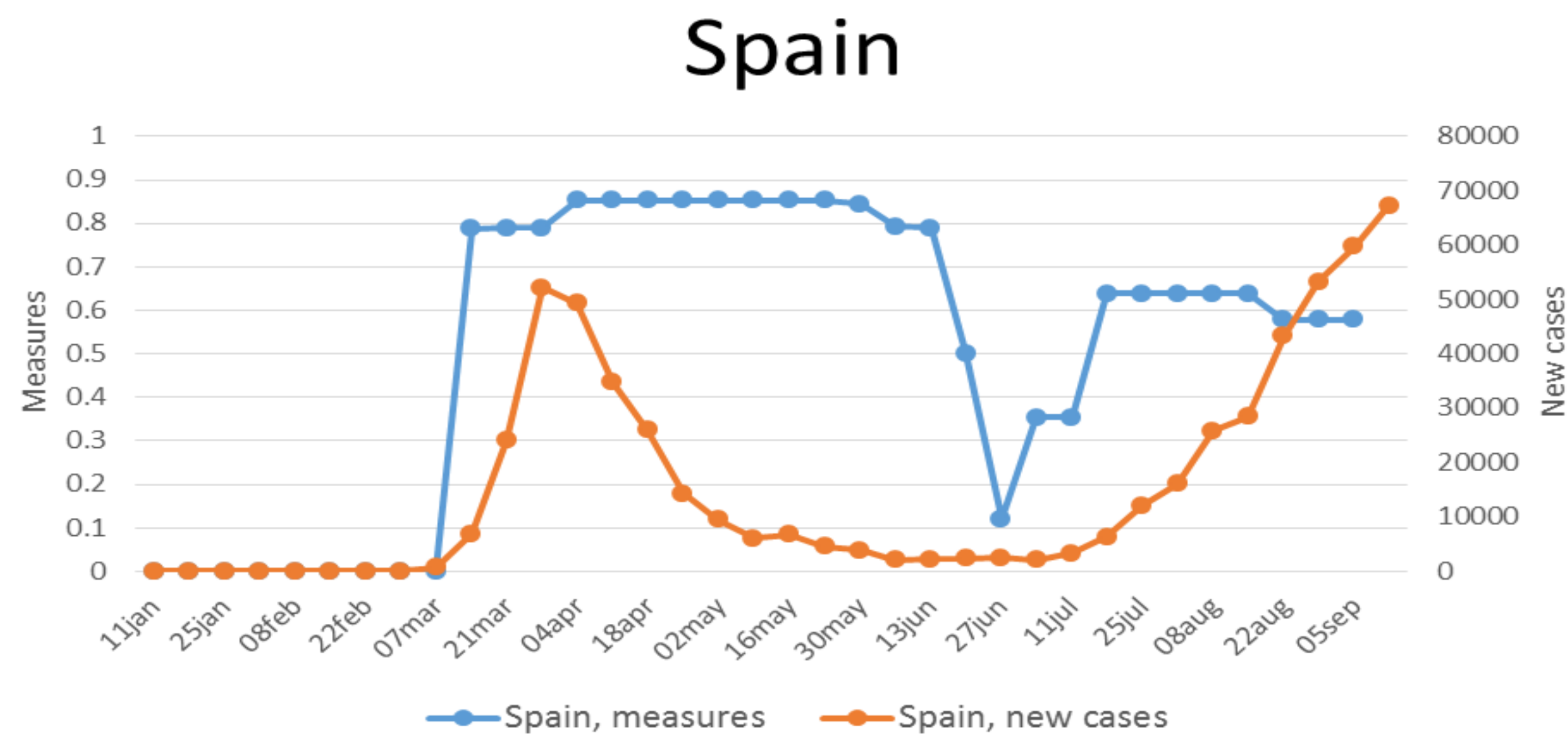
Growing number of cases

Карантинные меры и число новых случаев



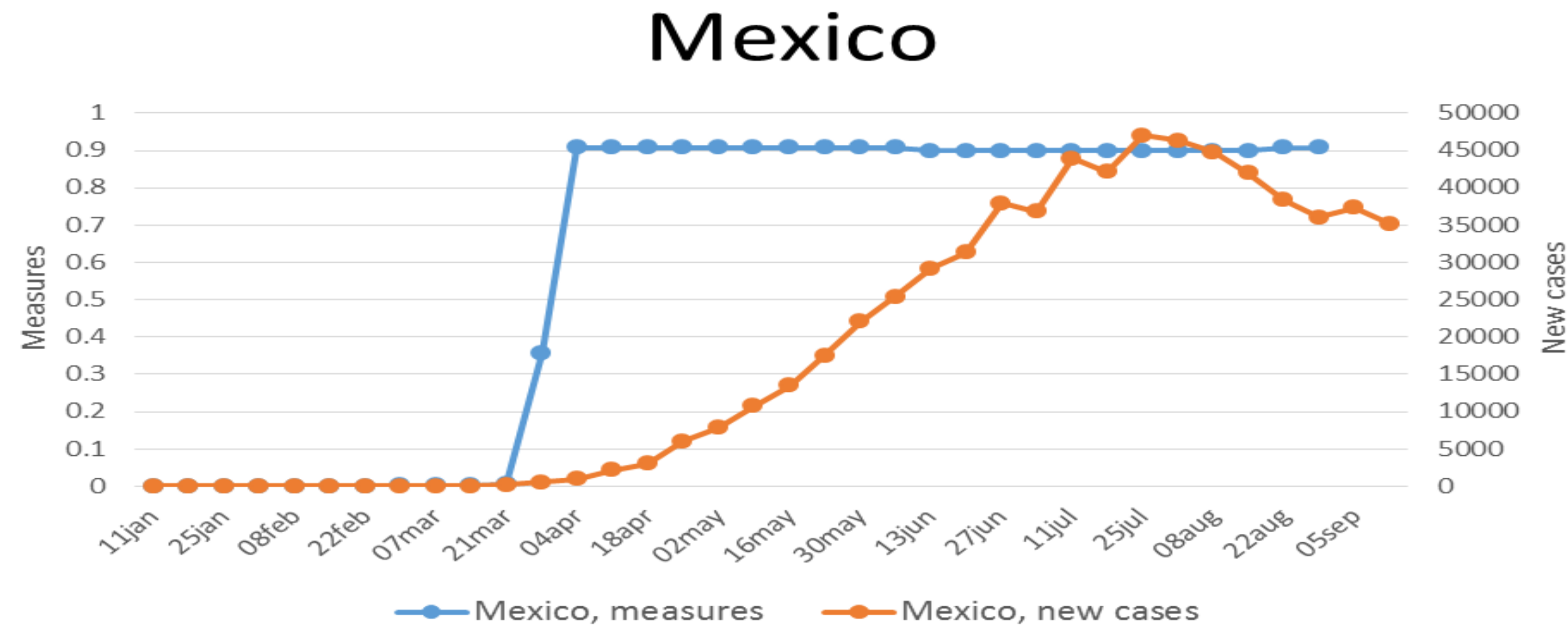
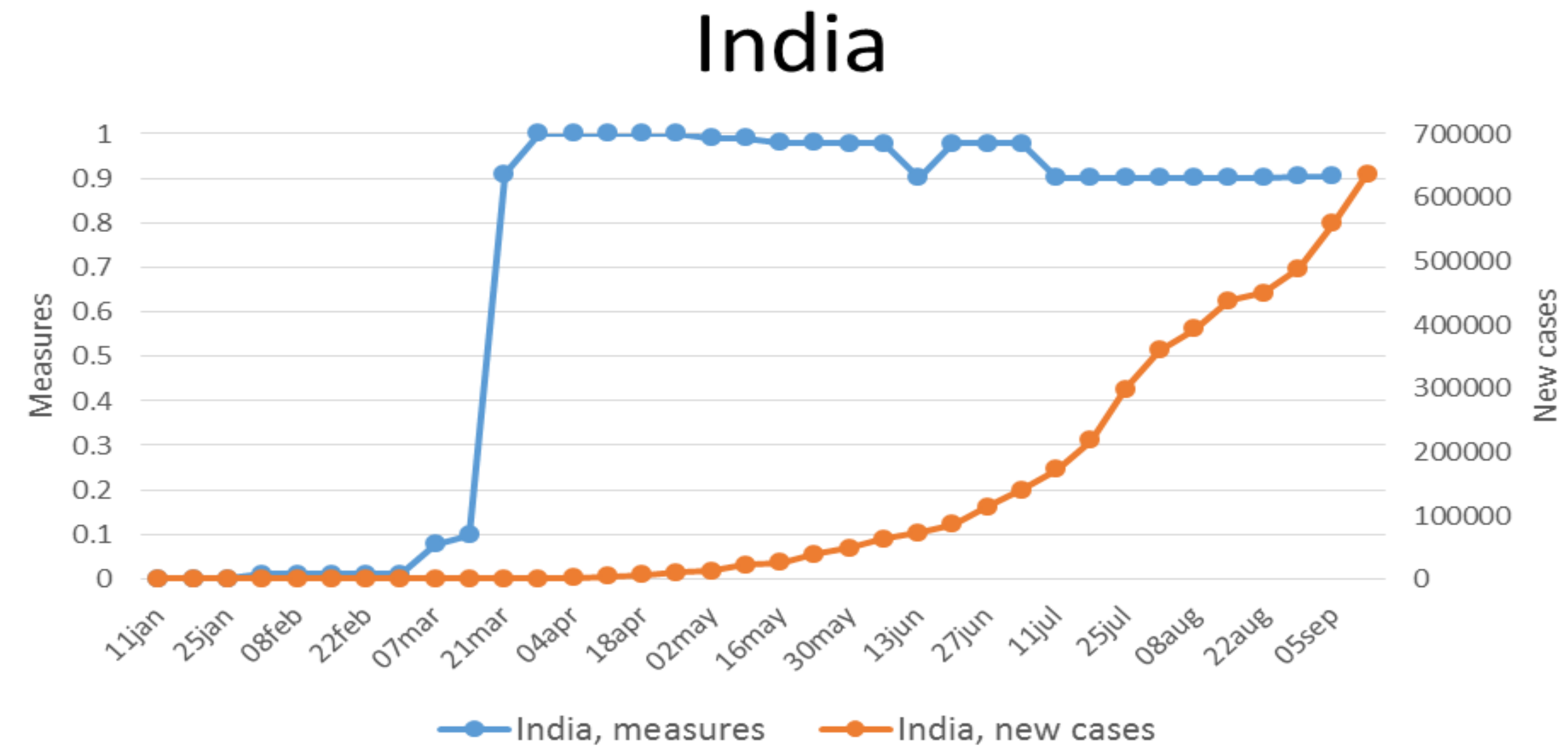
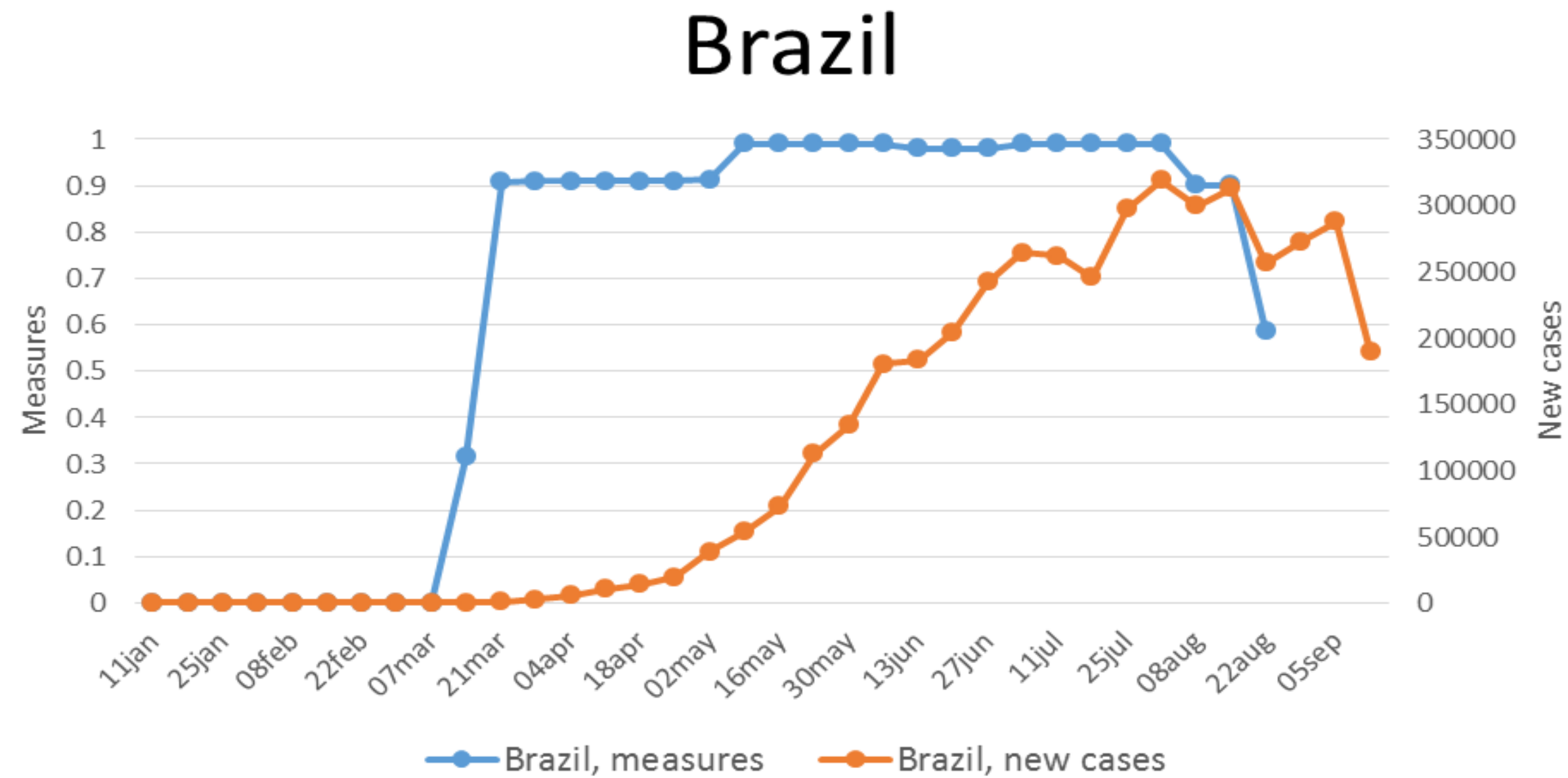
Примеры стран, в которых
наблюдается снижение числа
новых случаев.

Карантинные меры и число новых случаев



Примеры стран, в которых
наблюдается второй пик.

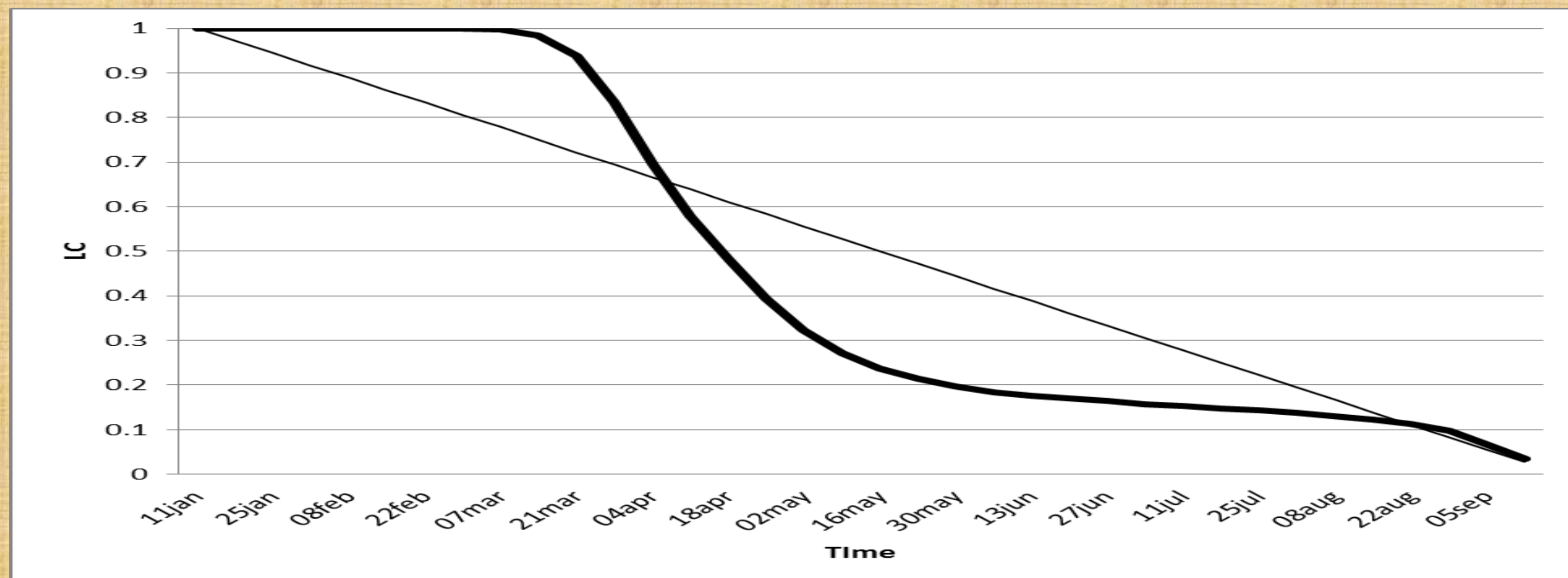
Карантинные меры и число новых случаев



Примеры стран с ростом
числа случаев.

Модель анализа временных рядов числа случаев заболевания коронавирусом.

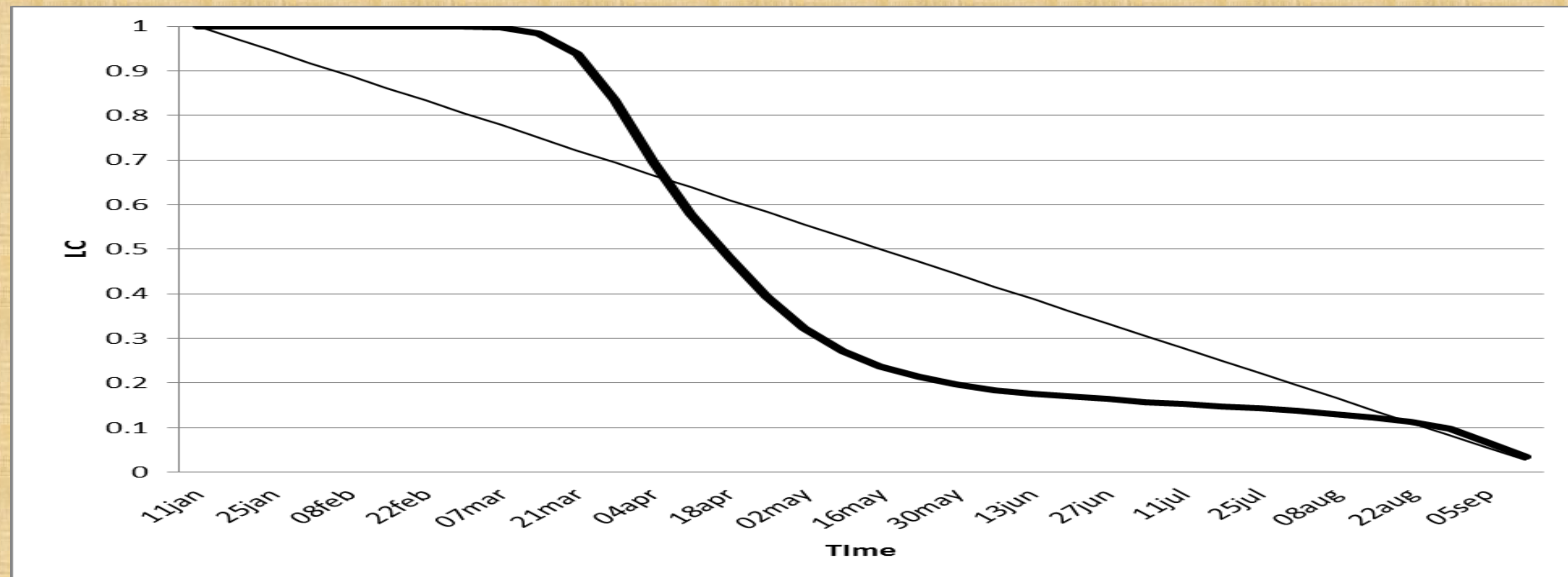
Для выбранного периода вычисляется сумма значений временного ряда за весь выбранный период (длины n), и для текущего k -ого момента времени вычисляется доля значений, начиная с этого момента до конца выбранного периода.



Модель анализа временных рядов числа случаев заболевания коронавирусом.

$$LC(k) = \frac{\sum_{t=k}^n v_t}{\sum_{t=1}^n v_t},$$

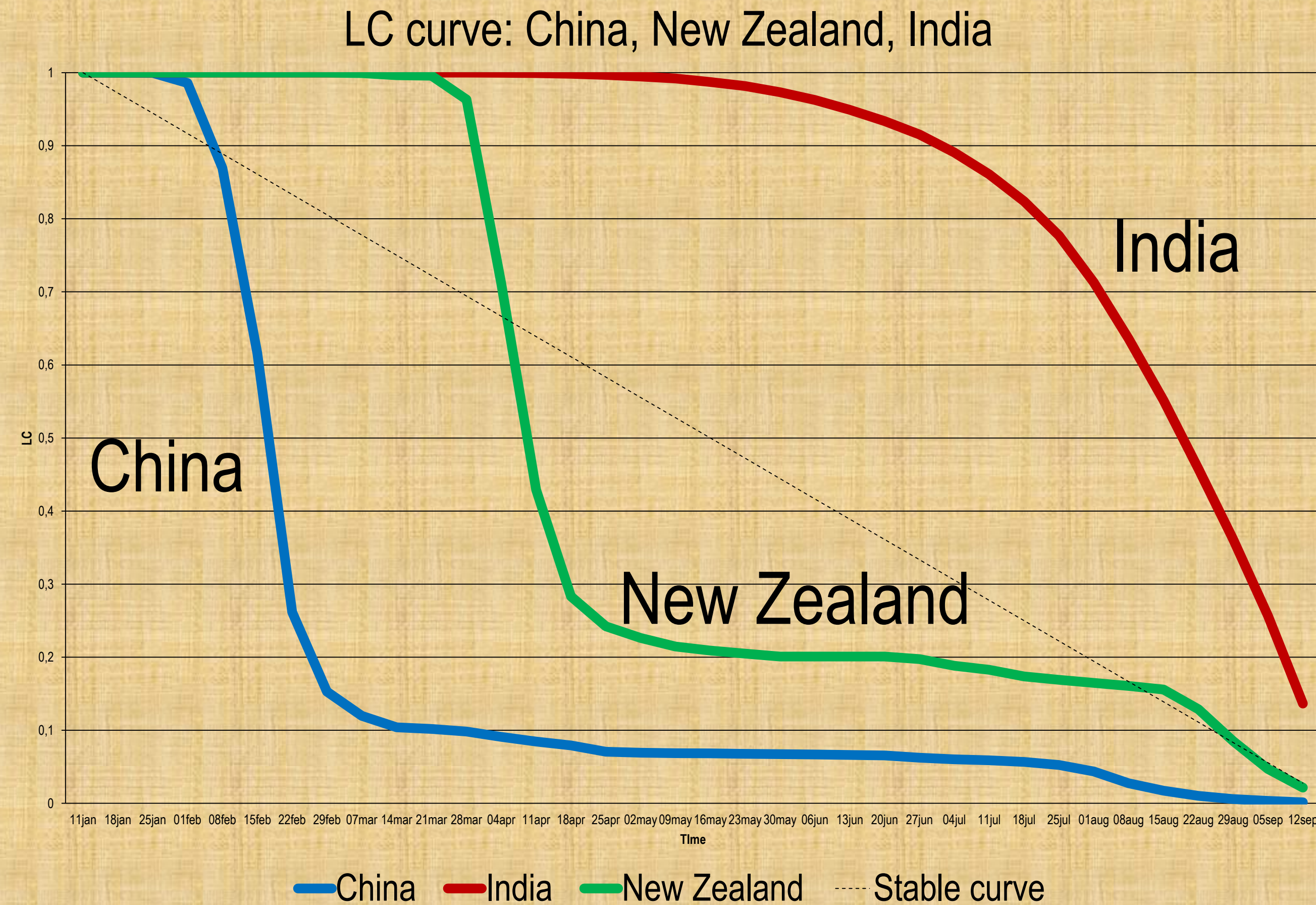
где v_t - значение в момент времени t .



Нестационарность
временного ряда - степень
отклонения от прямой
(биссектрисы)

Значение v_t в момент времени t определено, как число новых случаев, $v_t = a_t - a_{t-1}$, где a_t – суммарное число случаев на момент времени t от 1 до n (предполагается, что данные по числу случаев a_t заданы для t от 0 до n).

The model of non-stationary time series for the cases of infected people per week

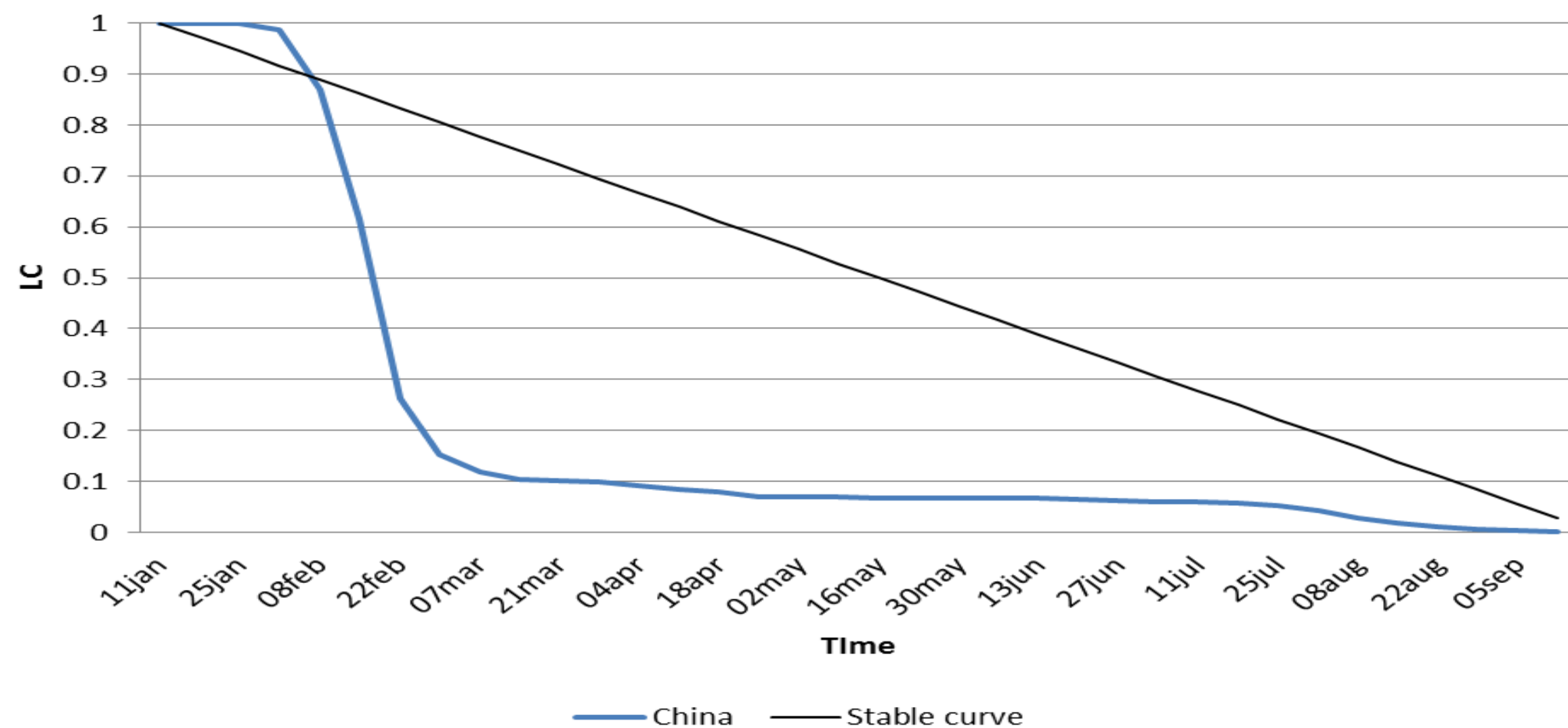


Peak in January – the graph is under diagonal (China)

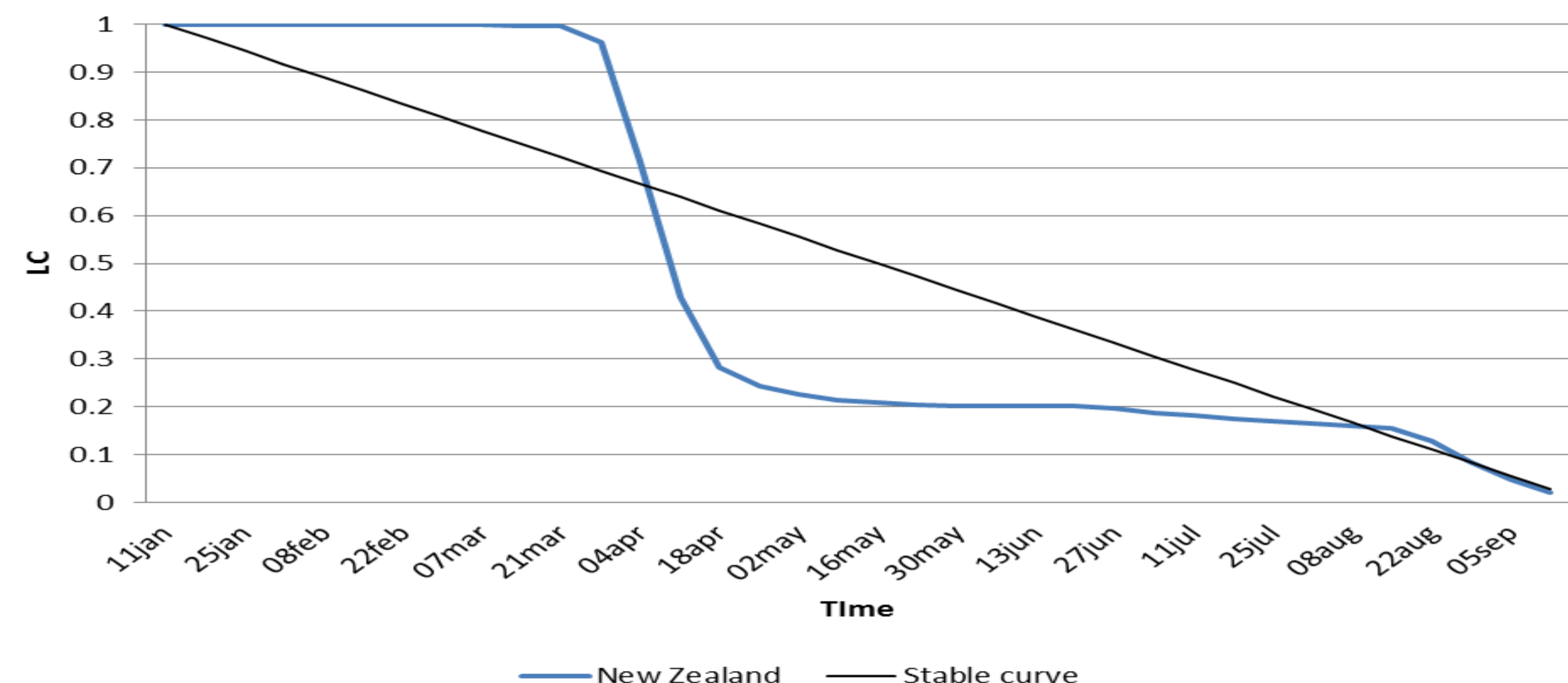
Peak in September – the graph is above diagonal (India)

Кумулятивные кривые

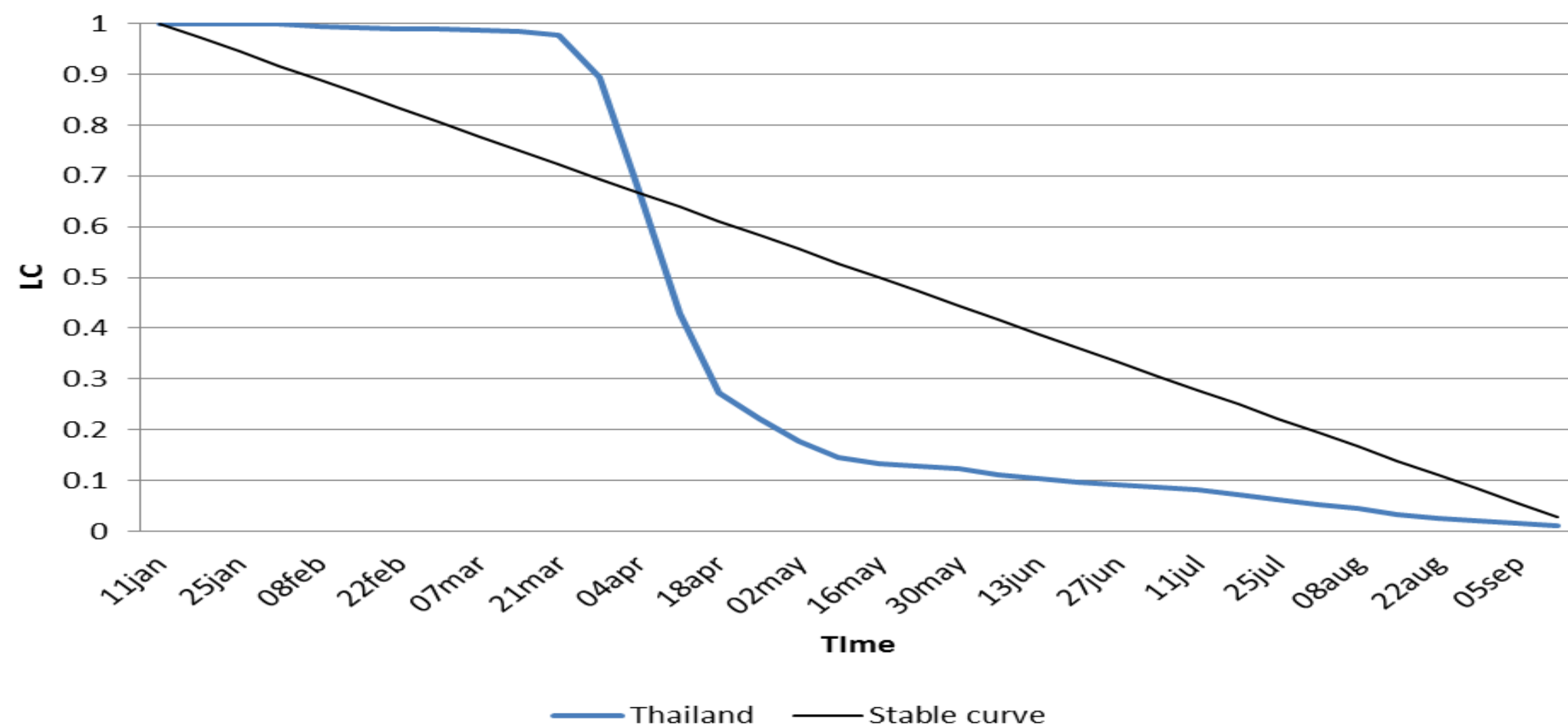
China, LC curve



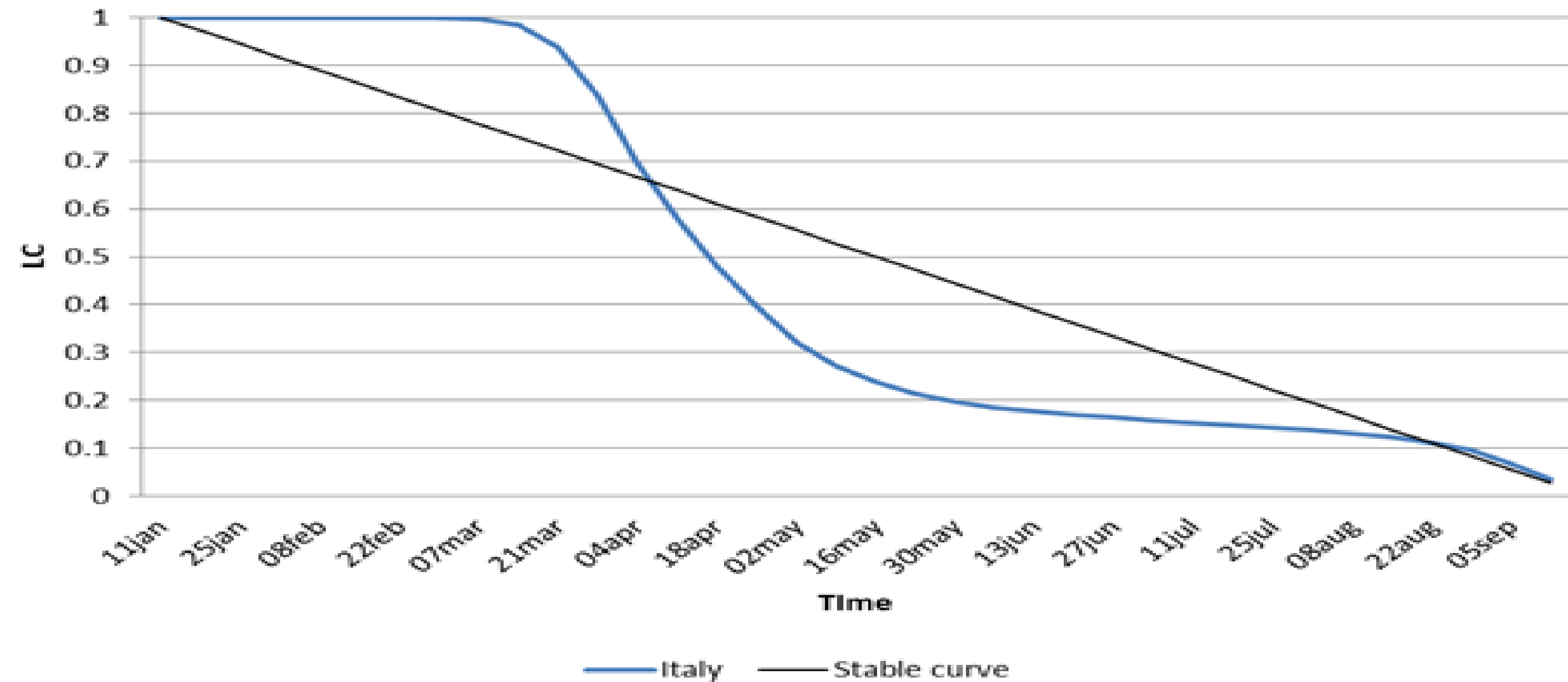
New Zealand, LC curve



Thailand, LC curve

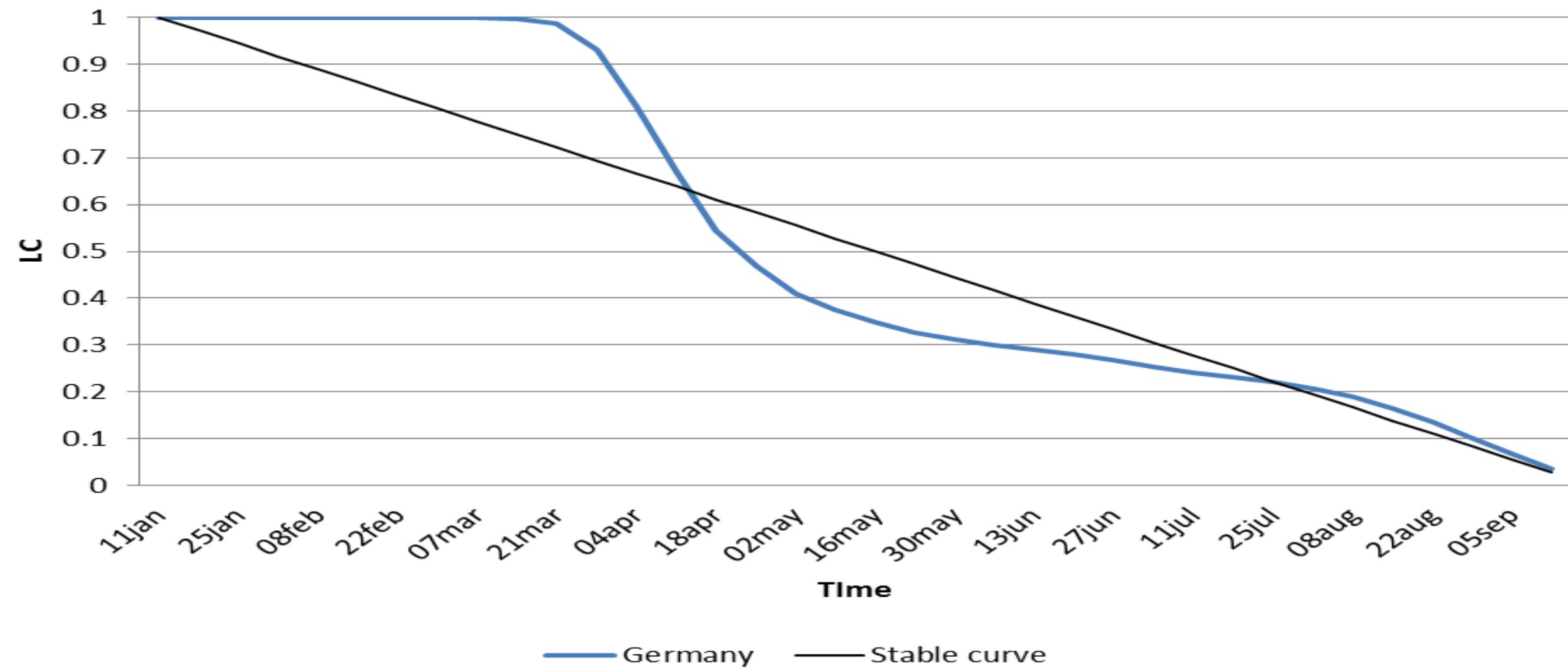


Italy, LC curve

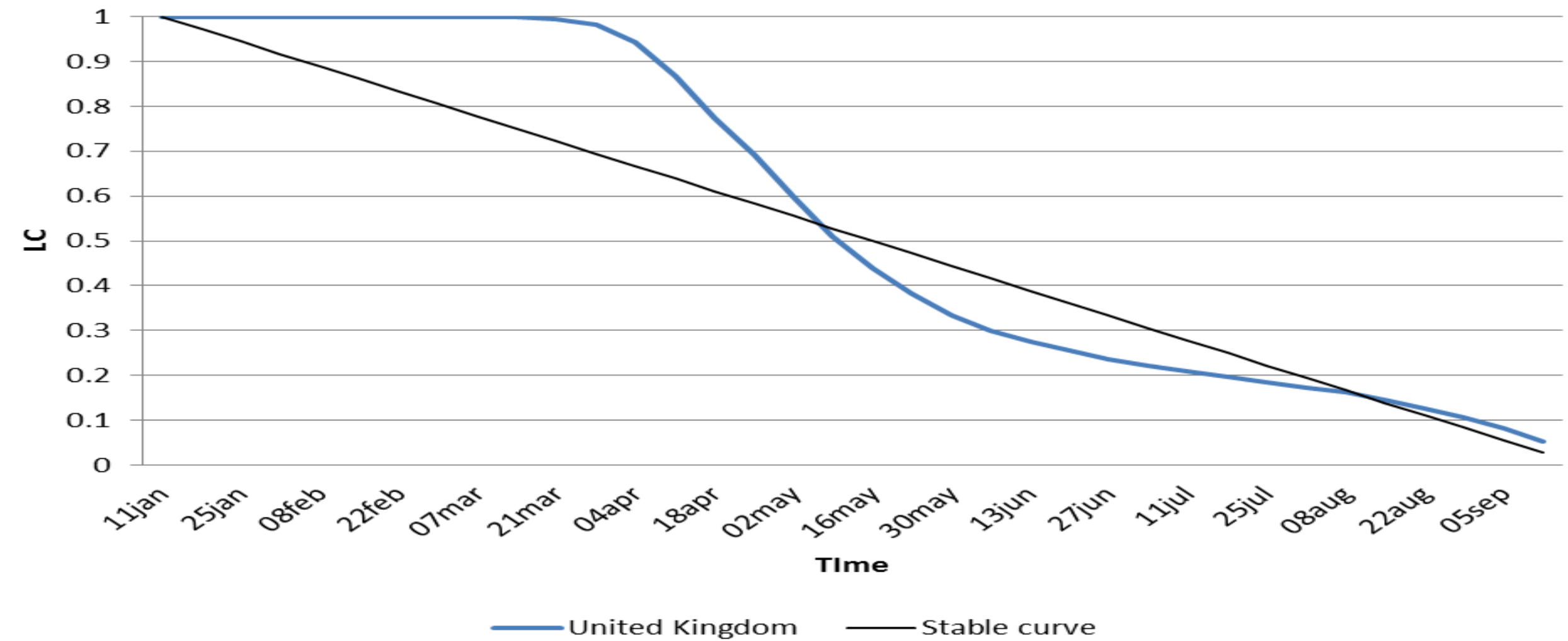


Кумулятивные кривые

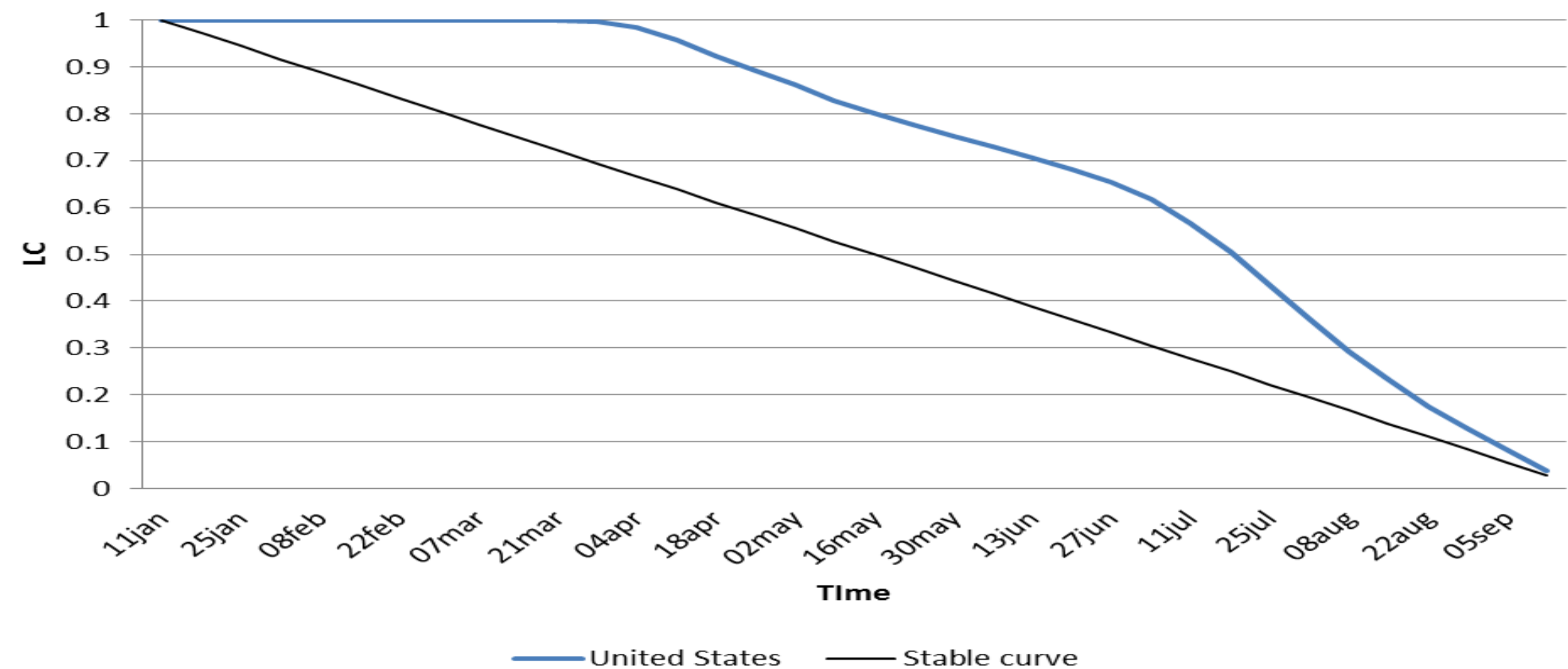
Germany, LC curve



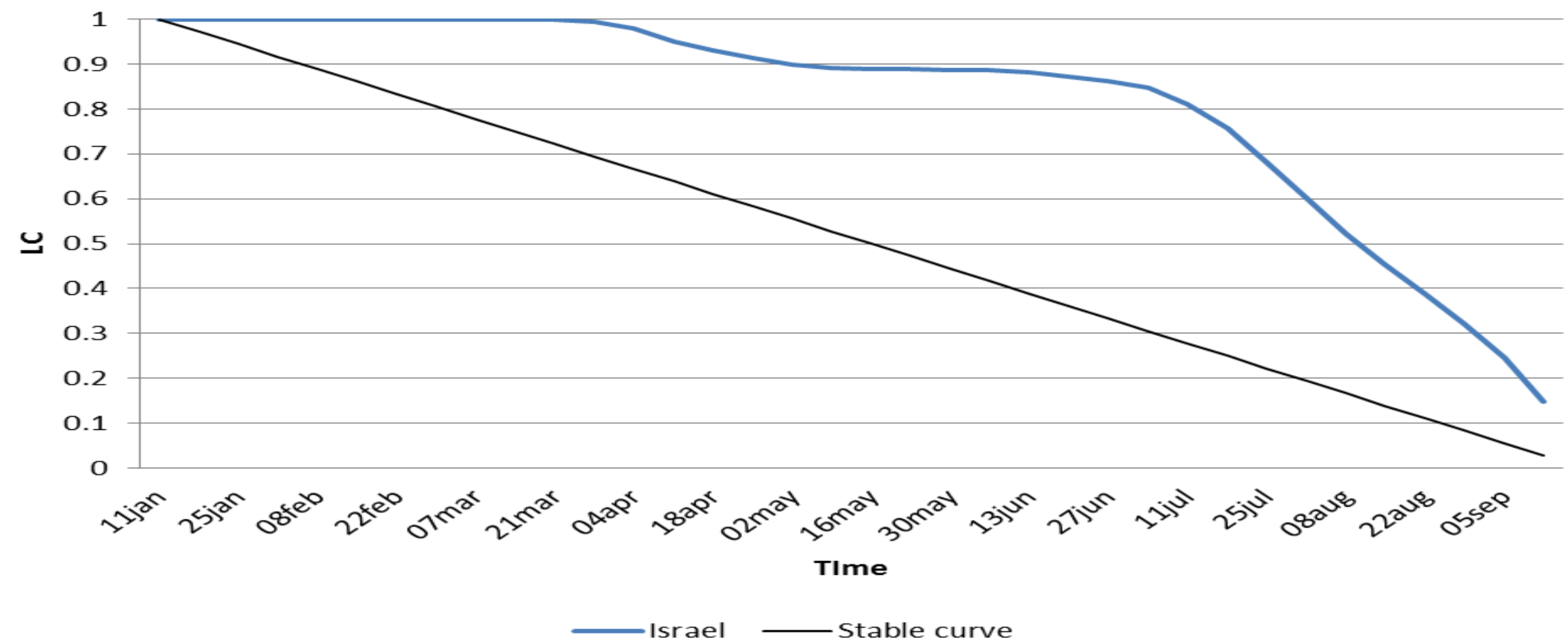
UK, LC curve



USA, LC curve

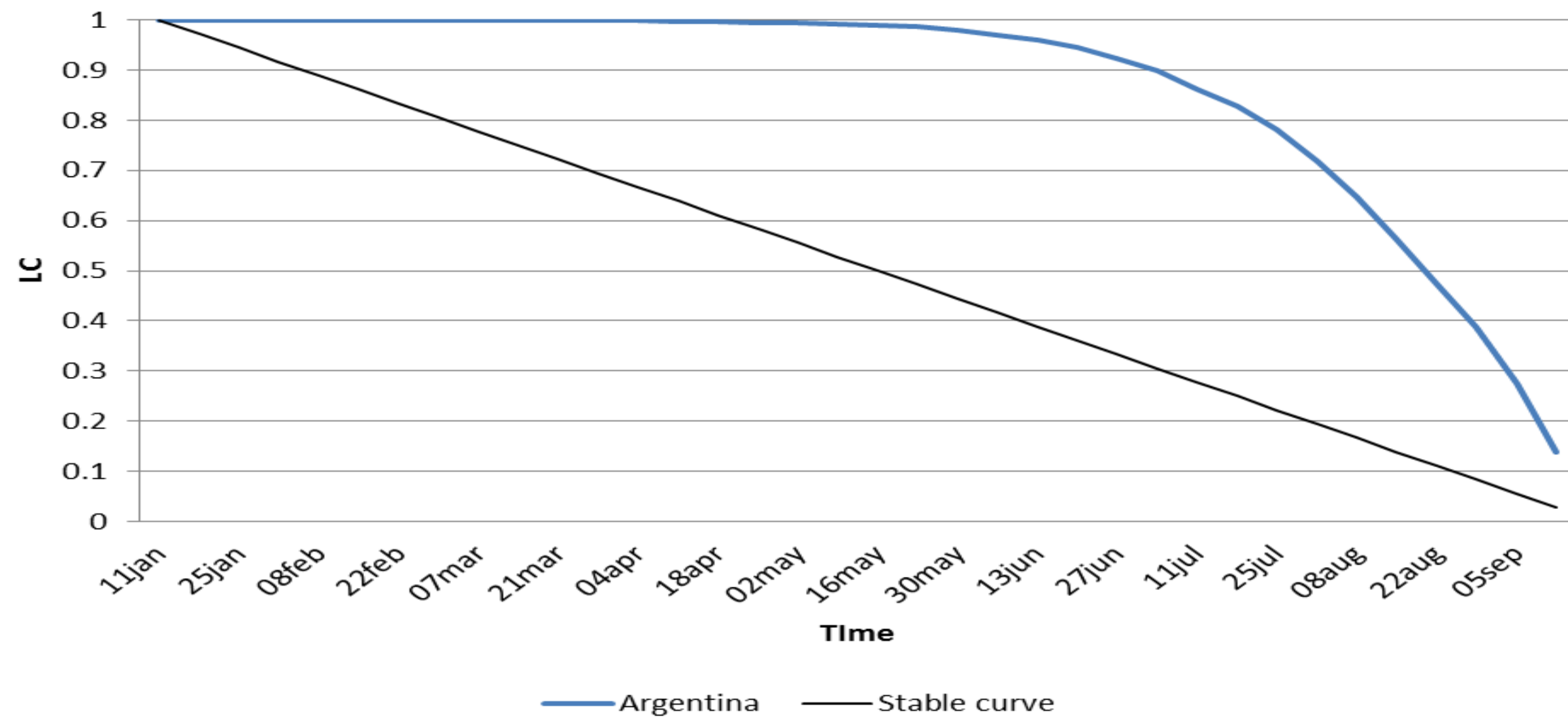


Israel, LC curve

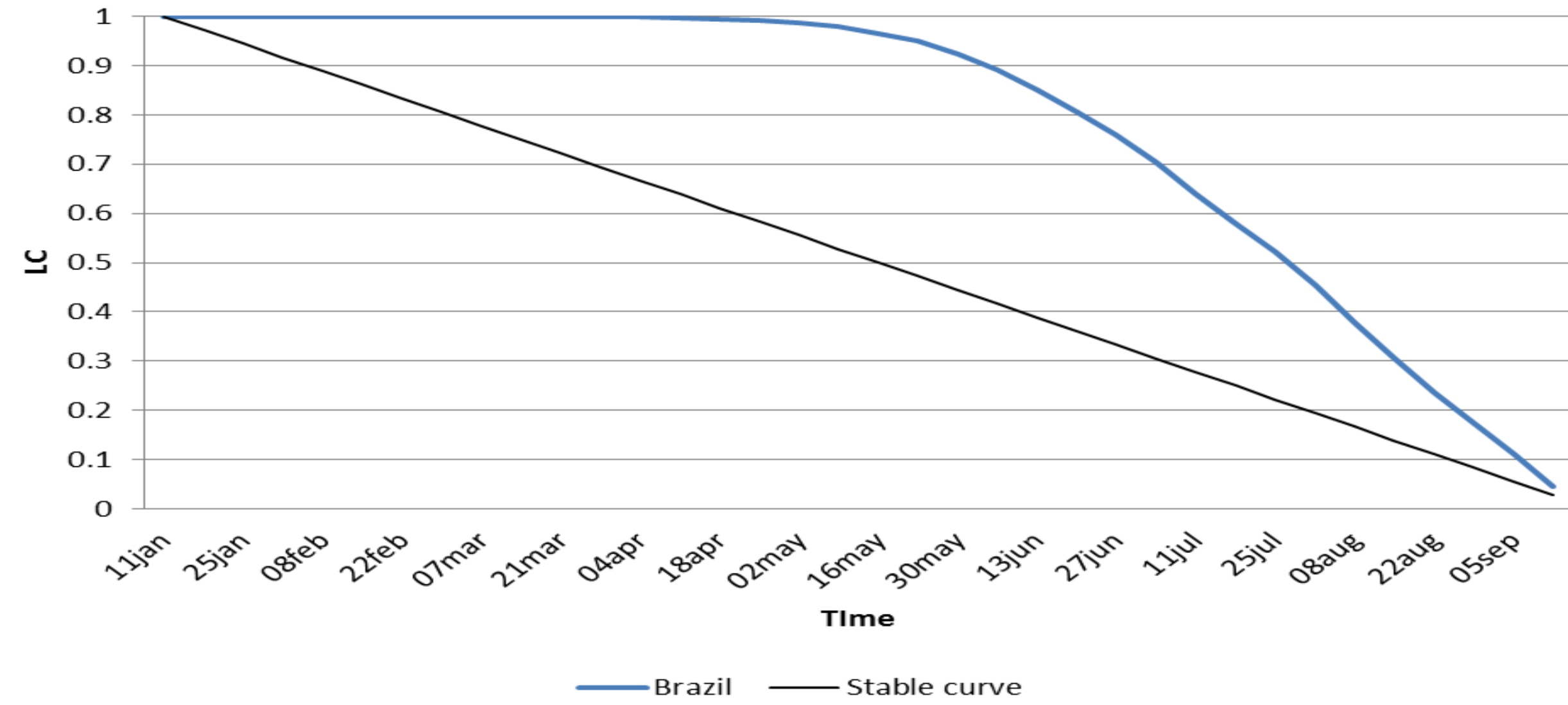


Кумулятивные кривые

Argentina, LC curve



Brazil, LC curve



ВЫЯВЛЕНИЕ ГРУПП СТРАН СО СХОЖЕЙ СТРУКТУРОЙ ПО УРОВНЮ ОБРАЗОВАНИЯ, ЗАКОНОПОСЛУШНОСТИ И ЗАБОЛЕВАЕМОСТИ

Исходные данные:

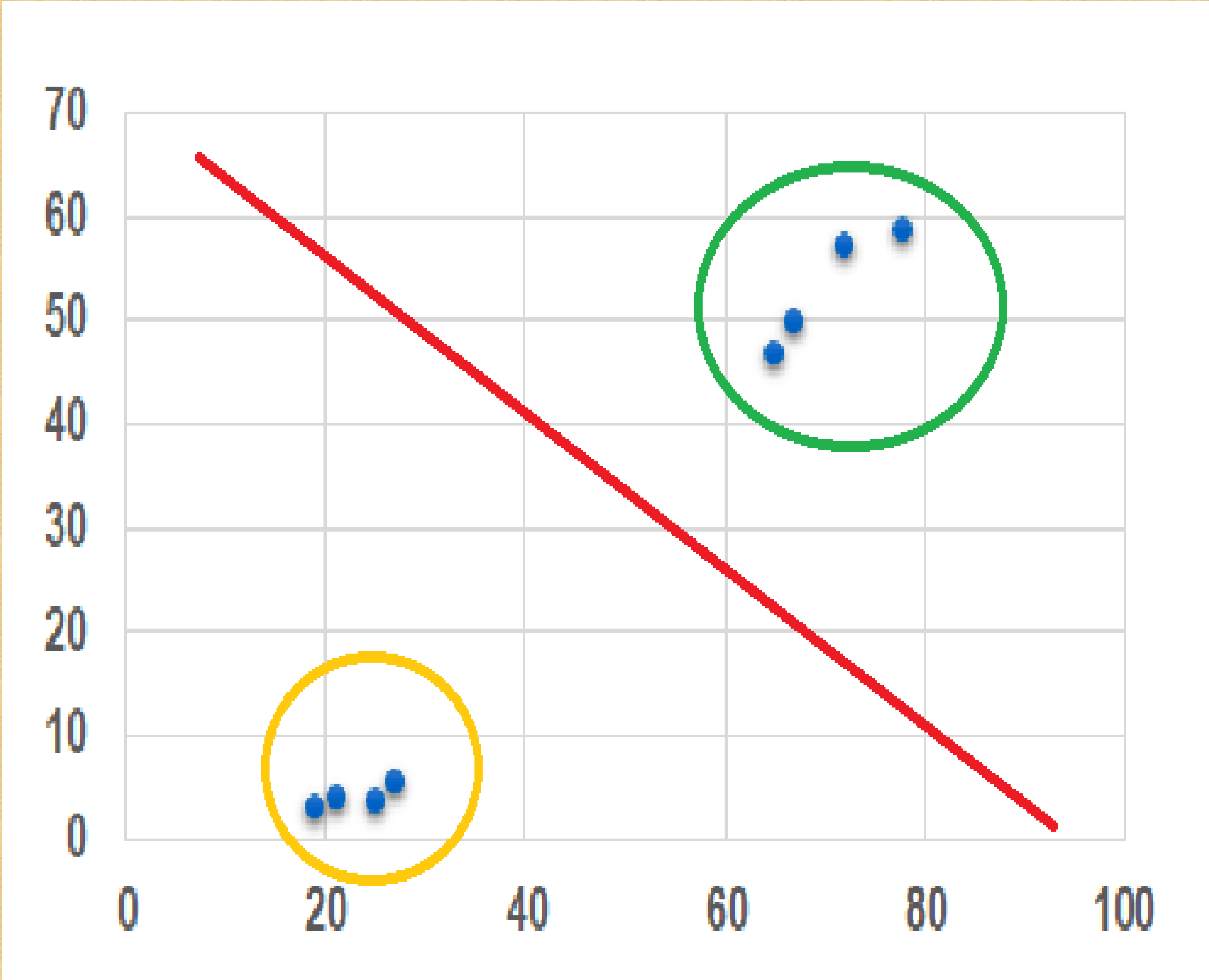
- 66 стран
- Базовая система показателей, характеризующая общий уровень образования в стране, законопослушность граждан и заболеваемость COVID-19

Рассматриваемый период: 01 февраля 2020 – 01 сентября 2020

Методология исследования: классические методы кластерного анализа и анализа паттернов.

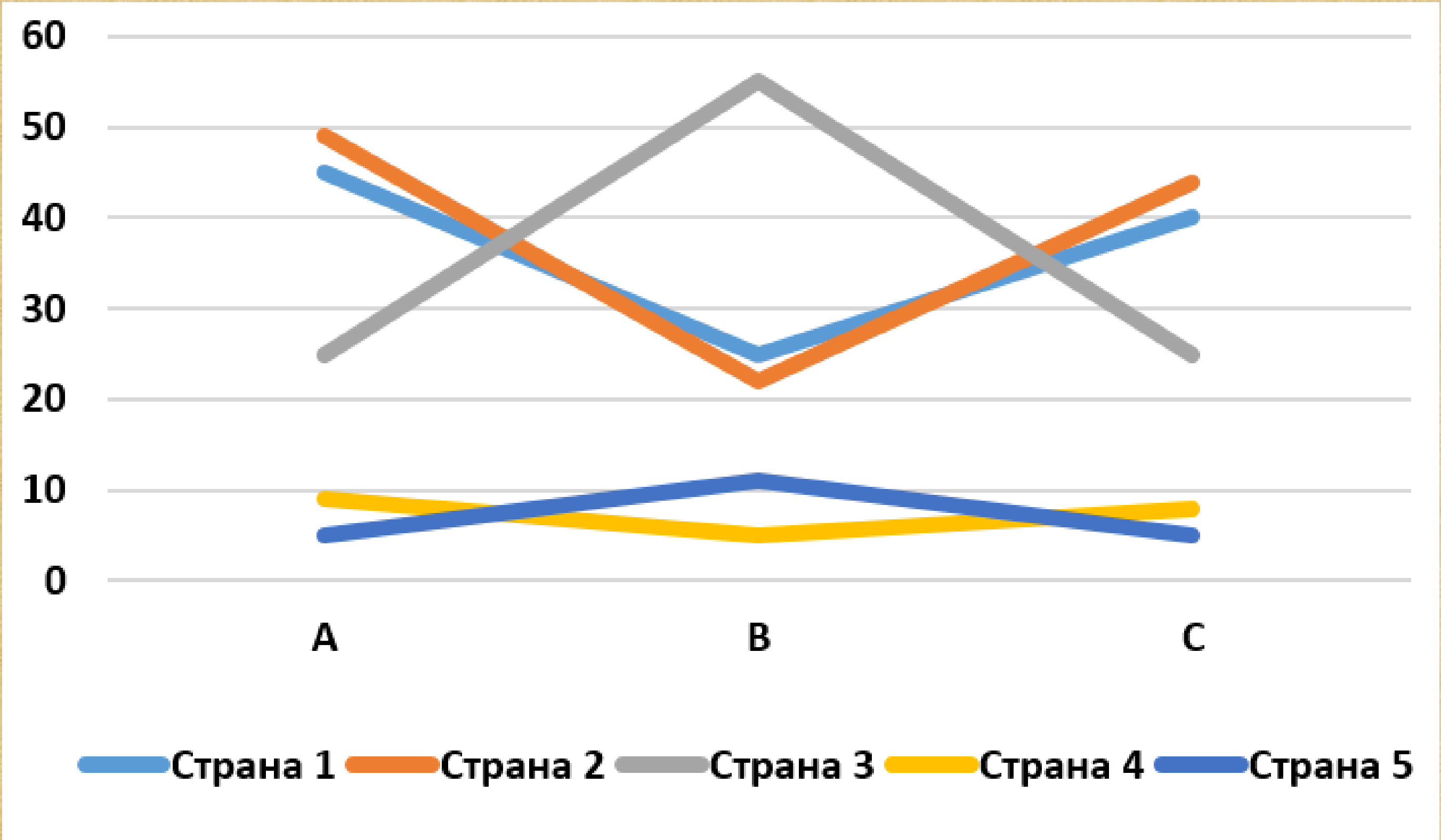
КЛАСТЕРНЫЙ АНАЛИЗ: БАЗОВАЯ ИДЕЯ

Страна	А	В
Страна 1	65	46,8
Страна 2	67	49,9
Страна 3	72	57
Страна 4	78	58,6
Страна 5	25	3,5
Страна 6	27	5,5
Страна 7	21	4
Страна 8	19	3



АЛЬТЕРНАТИВНАЯ МЕТОДОЛОГИЯ

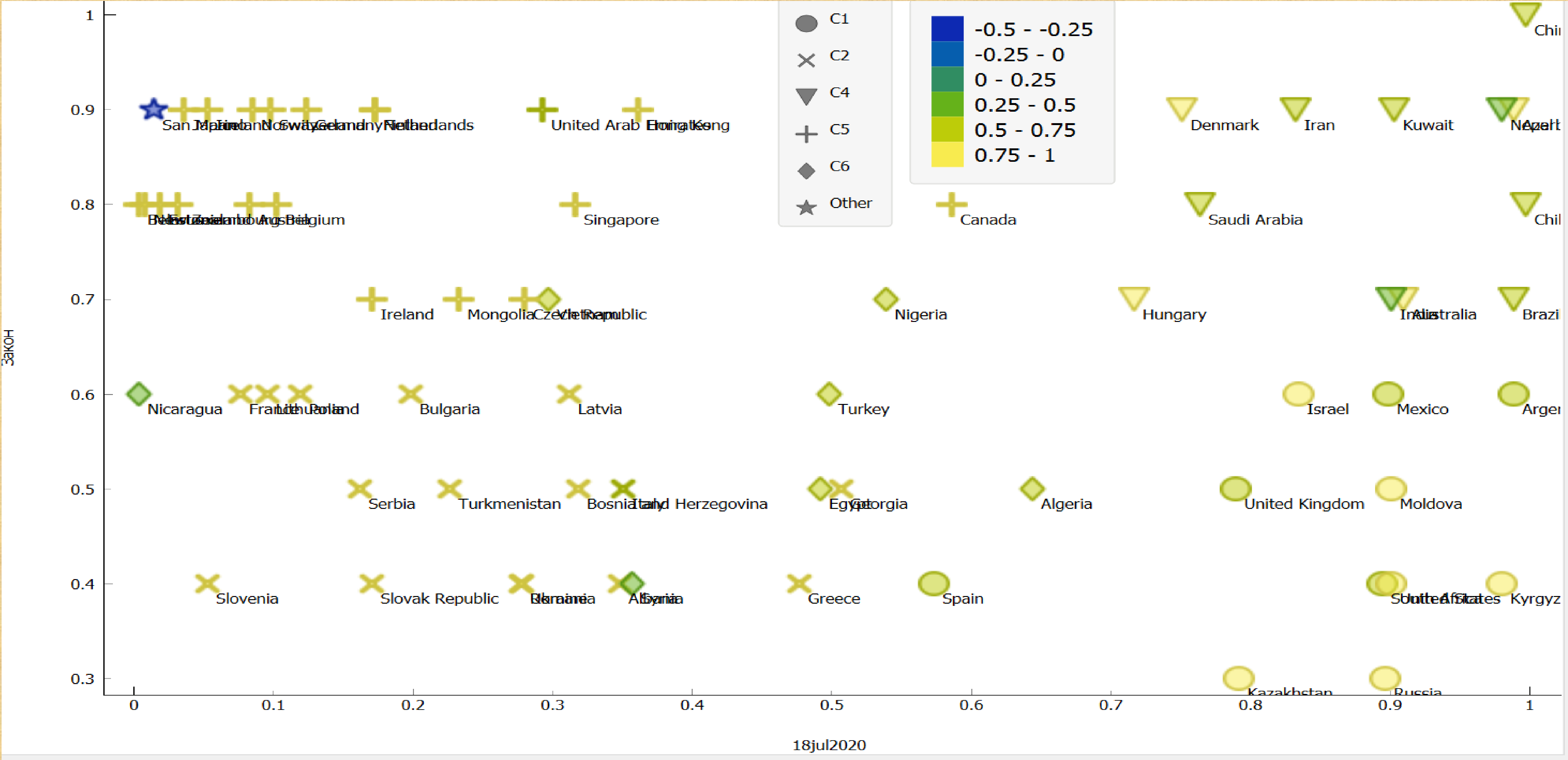
Страны	А	В	С
Страна 1	45	25	40
Страна 2	49	22	44
Страна 3	25	55	25
Страна 4	9	5	8
Страна 5	5	11	5



ПРИМЕР 1: ДАННЫЕ НА 04 АПРЕЛЯ 2020



ПРИМЕР 2: ДАННЫЕ НА 18 ИЮЛЯ 2020



УРАВНЕНИЯ РЕГРЕССИИ

$$N_t = 0,017 + 1,45N_{t-1} - 1,89N_{t-2} + 0,027N_{t-3} + 0,915N_{t-4} + 0,247N_{t-5}$$

$$N_t = 0,01 - 0,07N_{t-1} + 0,223N_{t-2} - 0,65N_{t-3} - 0,216N_{t-4} + 1,67N_{t-5}$$

$$N_t = 0,02N_{t-1} - 0,15N_{t-2} + 0,25N_{t-3} - 0,5N_{t-4} + 1,36N_{t-5}$$

$$N_t = -1,17N_{t-1} + 0,51N_{t-2} - 0,89N_{t-3} + 3,37N_{t-4} - 0,24N_{t-5}$$

$$N_t = 0,027 + 0,19N_{t-1} + 0,3N_{t-2} - 1,77N_{t-3} + 1,245N_{t-4} + N_{t-5}$$

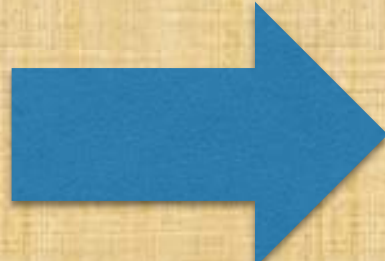
РЕЗУЛЬТАТЫ РЕГРЕССИОННОГО АНАЛИЗА

Регрессионная статистика	
R-квадрат	0,68
Нормированный R-квадрат	0,65
Стандартная ошибка	0,054
Наблюдения	67



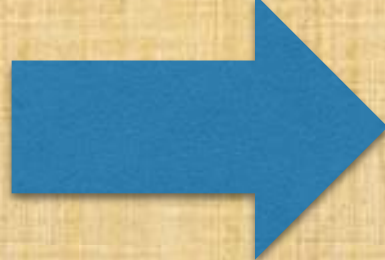
R-квадрат		0,90
Нормированный R-квадрат		0,81
Стандартная ошибка		0,043
Наблюдения		11

Россия, США, Испания



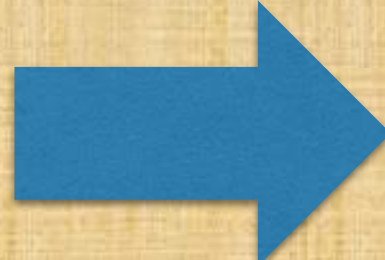
R-квадрат		0,92
Нормированный R-квадрат		0,88
Стандартная ошибка		0,02
Наблюдения		16

Франция, Италия, Греция



R-квадрат		0,95
Нормированный R-квадрат		0,91
Стандартная ошибка		0,024
Наблюдения		12

Бразилия, Индия, Иран



R-квадрат		0,85
Нормированный R-квадрат		0,80
Стандартная ошибка		0,047
Наблюдения		20

Австрия, Бельгия, Канада



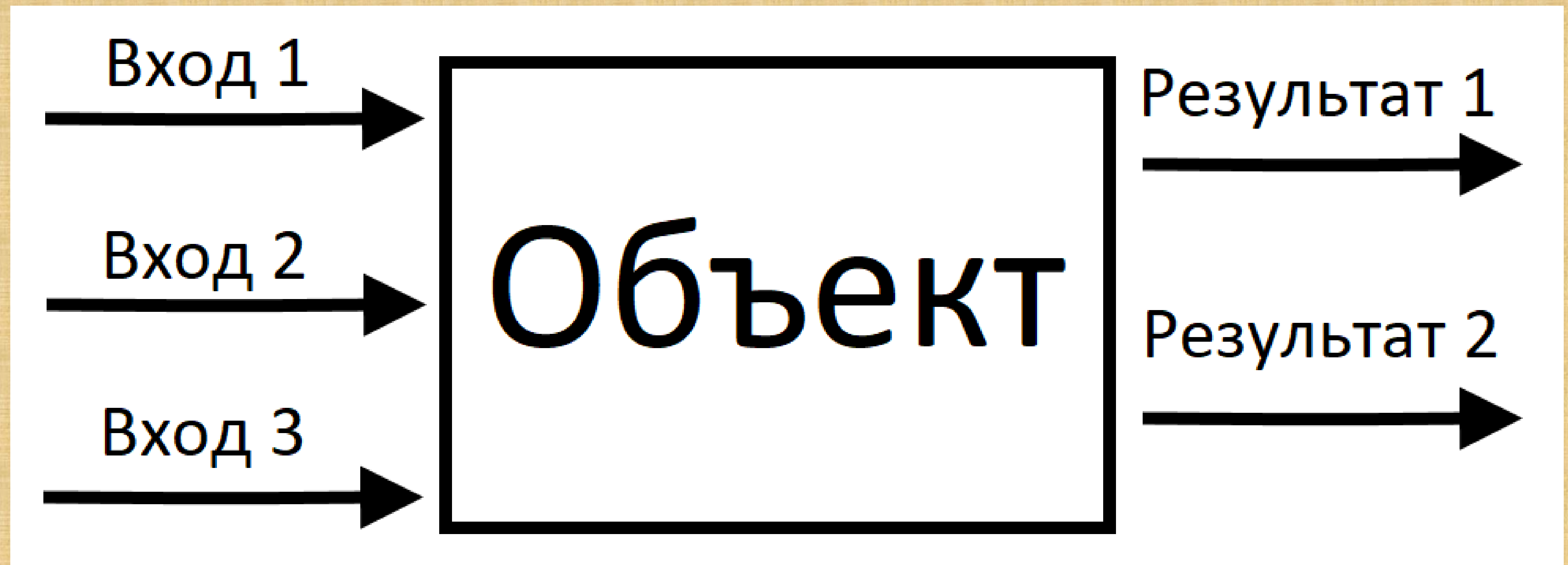
R-квадрат		0,92
Нормированный R-квадрат		0,75
Стандартная ошибка		0,029
Наблюдения		7

Египет, Турция, Вьетнам

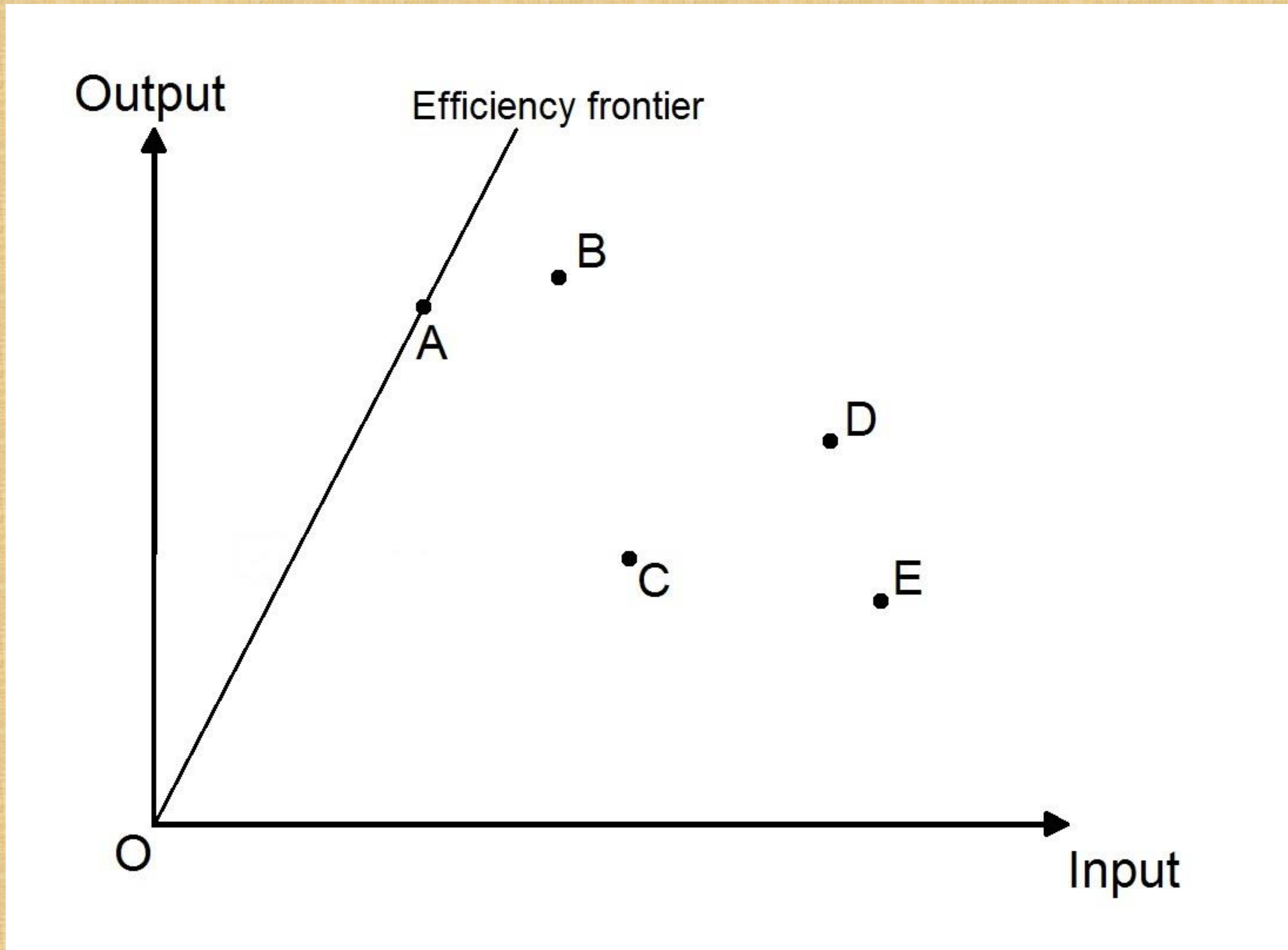
Оболочечный Анализ Данных (DEA)

- эффективность мер

БАЗОВАЯ МОДЕЛЬ DEA



БАЗОВАЯ МОДЕЛЬ DEA



БАЗОВАЯ МОДЕЛЬ DEA

$$e_k = \frac{\sum_{i=1}^M u_i y_{ik}}{\sum_{j=1}^N v_j x_{jk}}$$

e_k — эффективность k -го объекта

u_i, v_j — весовые коэффициенты, показывающие вклад каждого из параметров

x_{ik} — входные параметры, показывающие затраты

y_{jk} — выходные параметры, иллюстрирующие полученные результаты

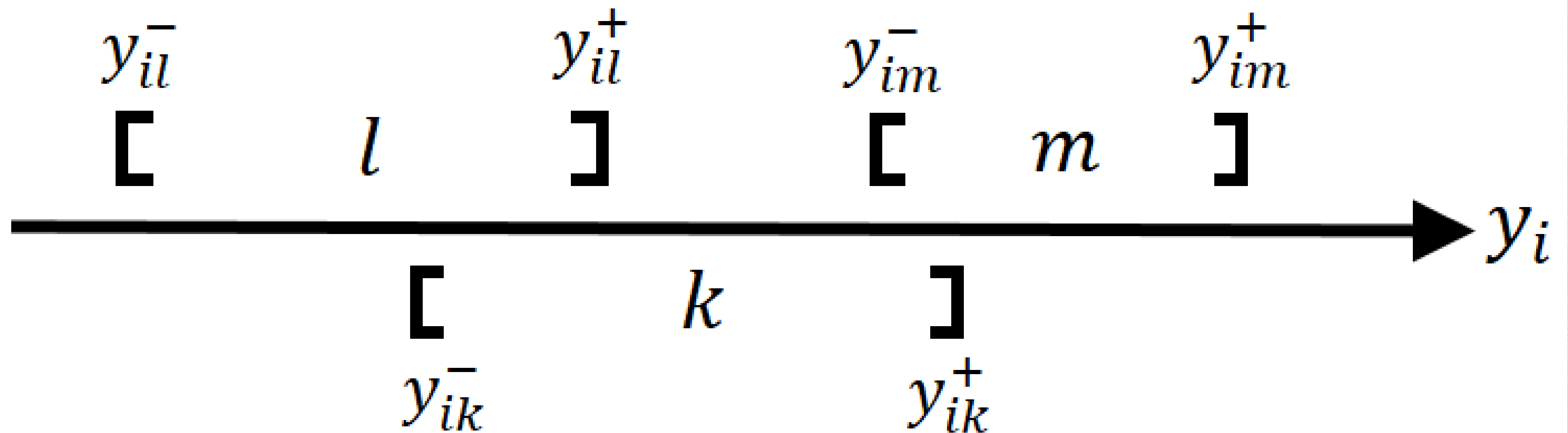
M — количество выходных параметров; N — количество входных параметров

БАЗОВАЯ МОДЕЛЬ DEA

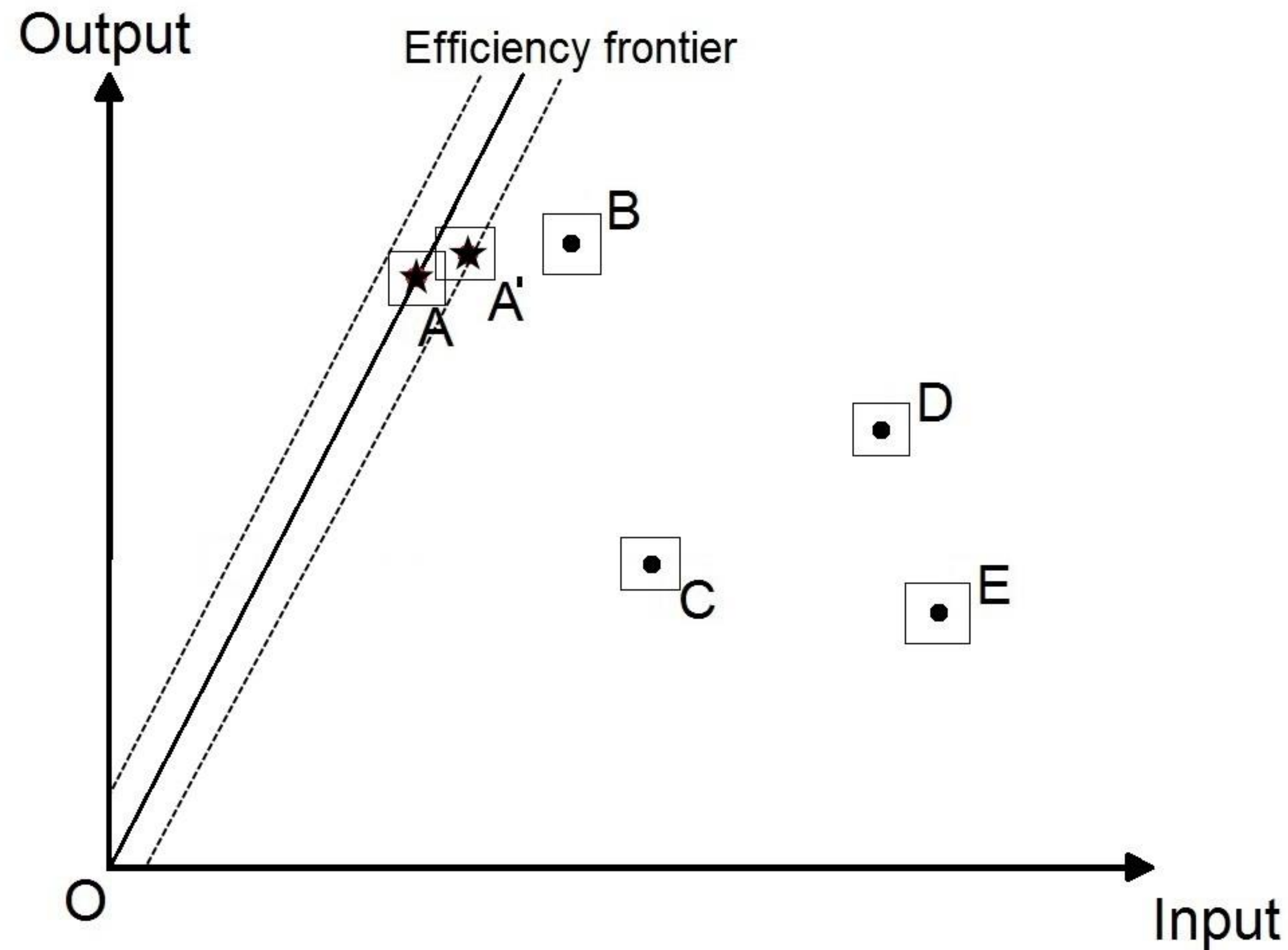
$$\max_{u_i, v_j} \left(e_k = \frac{\sum_{i=1}^M u_i y_{ik}}{\sum_{j=1}^N v_j x_{jk}} \right)$$

$$\begin{cases} \frac{\sum_{i=1}^M u_i y_{ik}}{\sum_{j=1}^N v_j x_{jk}} \leq 1, & k = 1, \dots, R \\ u_i > 0 & \forall i \\ v_j > 0 & \forall j \end{cases}$$

ИНТЕРВАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ЗНАЧЕНИЙ



ИНТЕРВАЛЬНЫЙ DEA



- Находим границу эффективности и вычисляем эффективность всех объектов с помощью классического DEA
- Находим лучшие объекты (100% эффективности)
- Находим объекты, неразличимые с ними
- Выбрасываем найденные объекты, дав им 100% эффективность
- Для всех оставшихся объектов эффективность вычисляется с помощью классического DEA

ПАРАМЕТРЫ МОДЕЛИ

Входные данные:

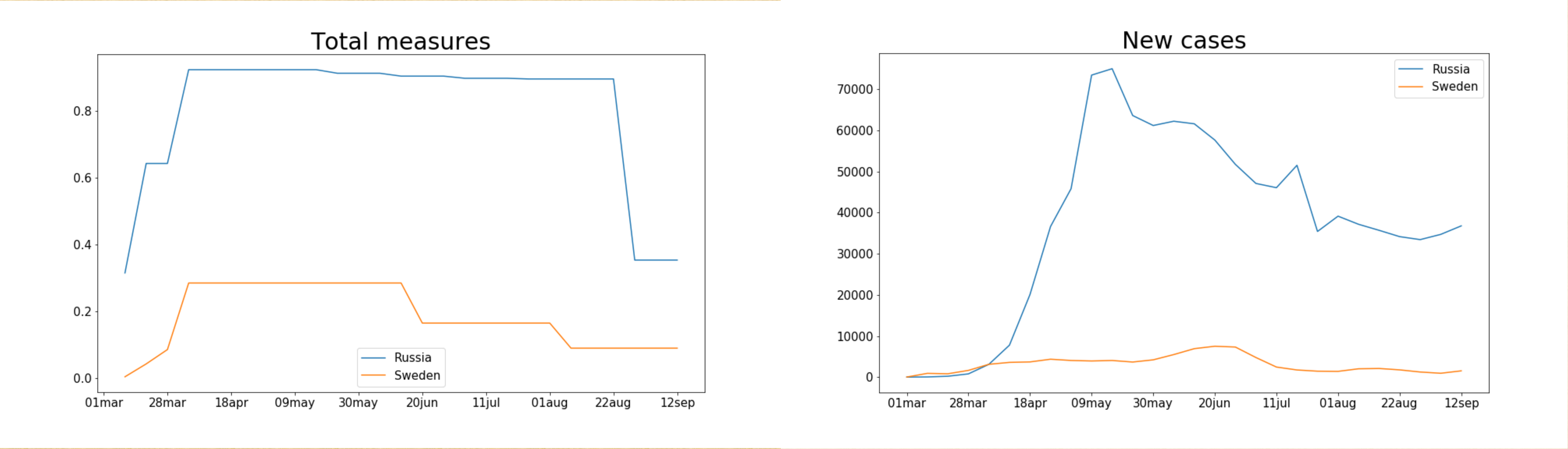
- Степень введения отдельных карантинных мер
- Законопослушность

Выходные параметры:

- Прирост количества заболевших

Страна	Запрет загран. путешеств.	Запрет внутр. путешеств.	Закрытие школ	Закрытие рабочих мест	Отмена публичных мероприятий	Запрет на массовые собрания	Остановка обществ. транспорта	Домашний режим	Законо- послушность
Россия	3-5	1-3	2-4	1-3	1-3	3-5	0-2	1-3	2-4
Швеция	2-4	0-2	0-2	0-2	0-2	2-4	0-1	0-1	8-10

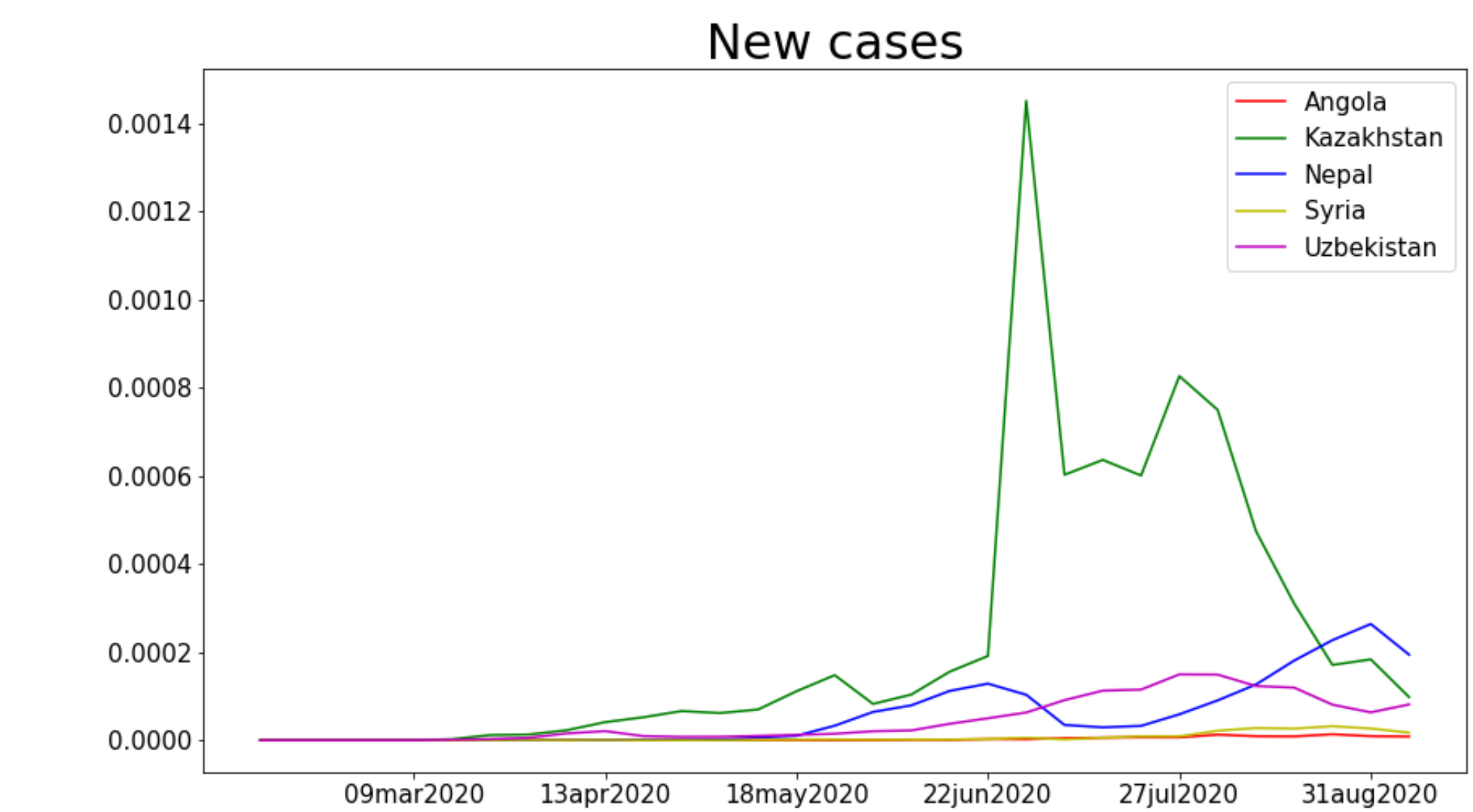
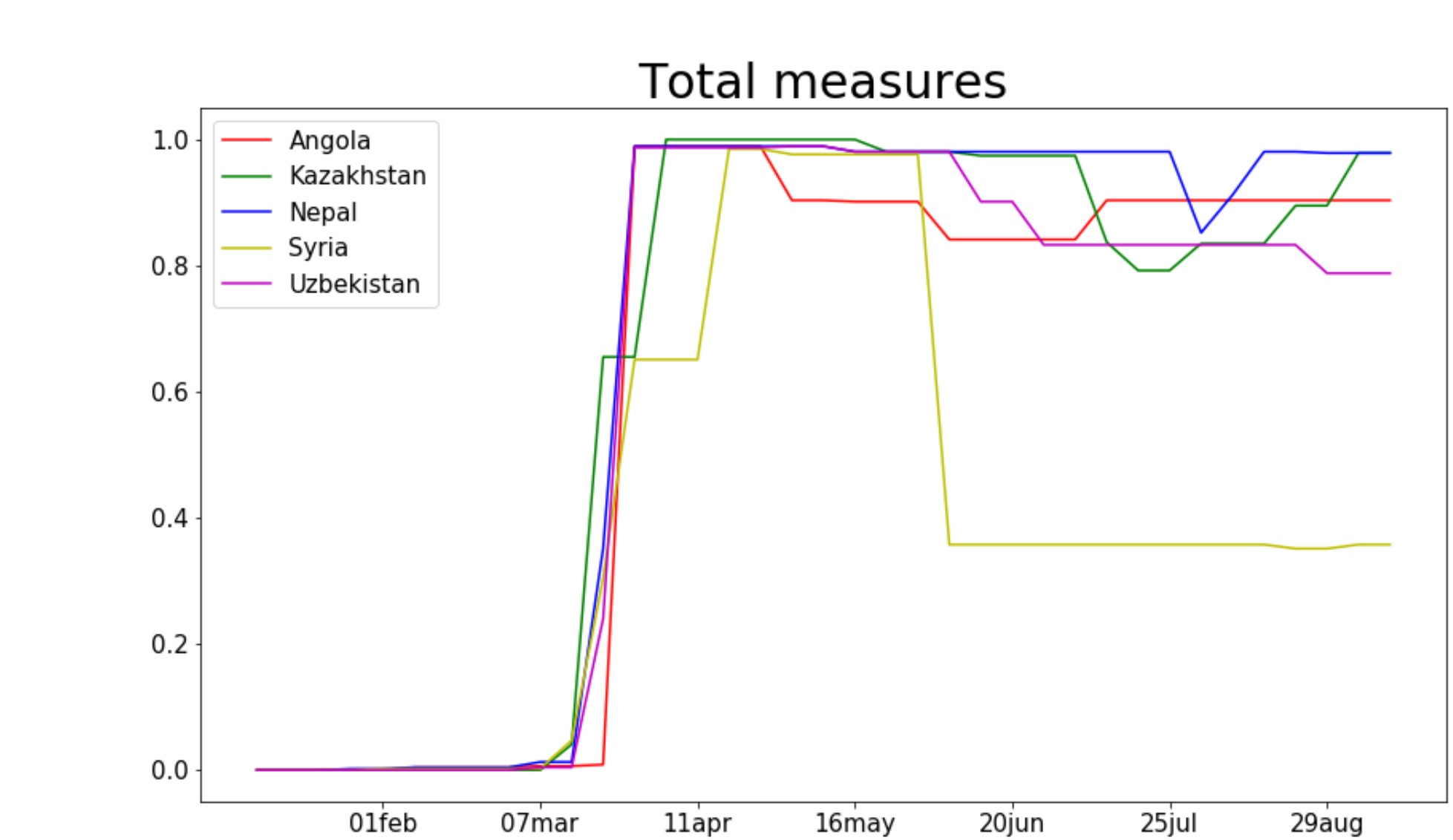
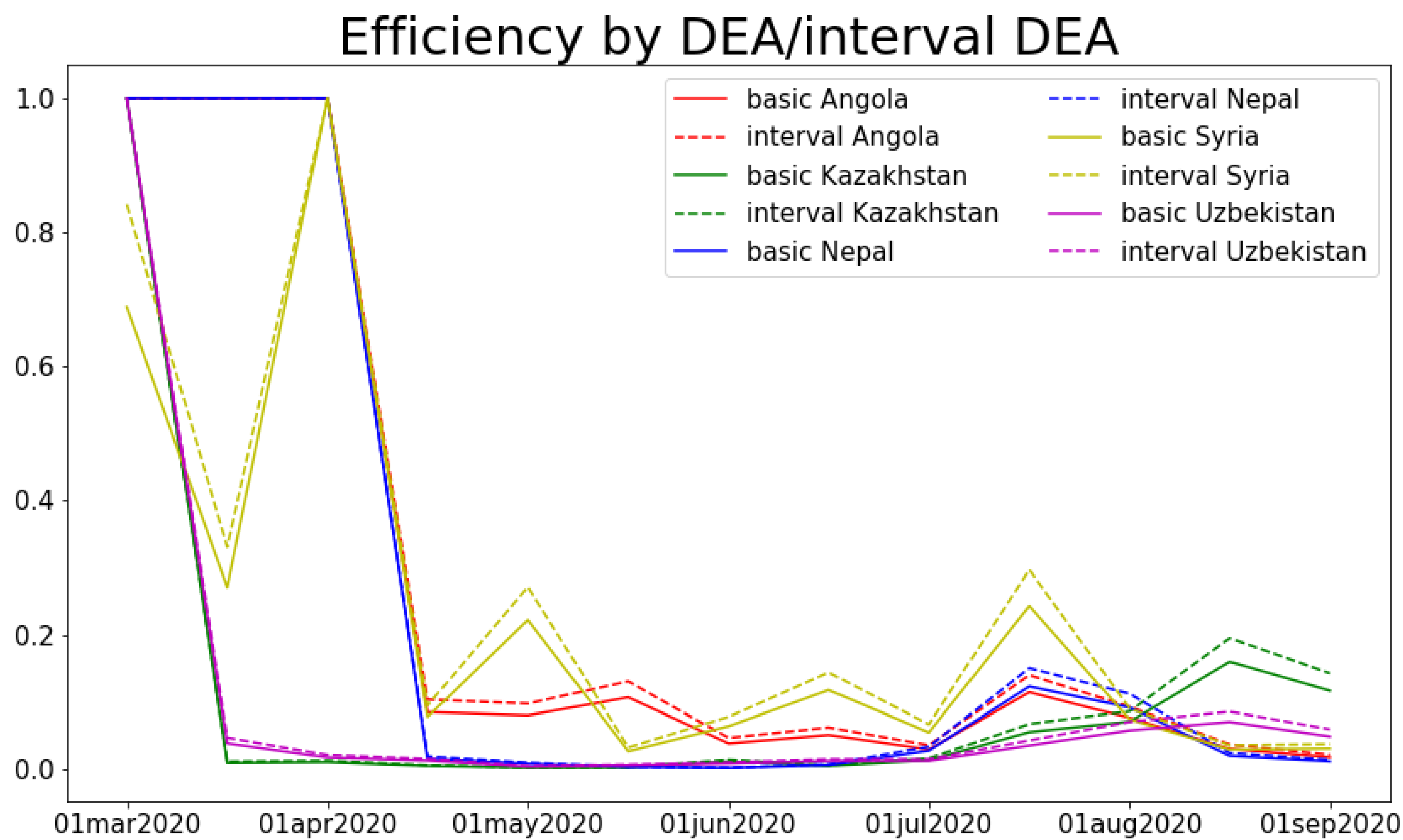
PARAMETERS OF THE MODEL



Country	Restriction of internat travel	Restriction of internal movement	School closing	Workplace closing	Cancel public events	Restrictions on gathering size	Close public transport	Stay at home requirement	Law-abidingness
Russia	3-5	1-3	2-4	1-3	1-3	3-5	0-2	1-3	2-4
Sweden	2-4	0-2	0-2	0-2	0-2	2-4	0-1	0-1	8-10

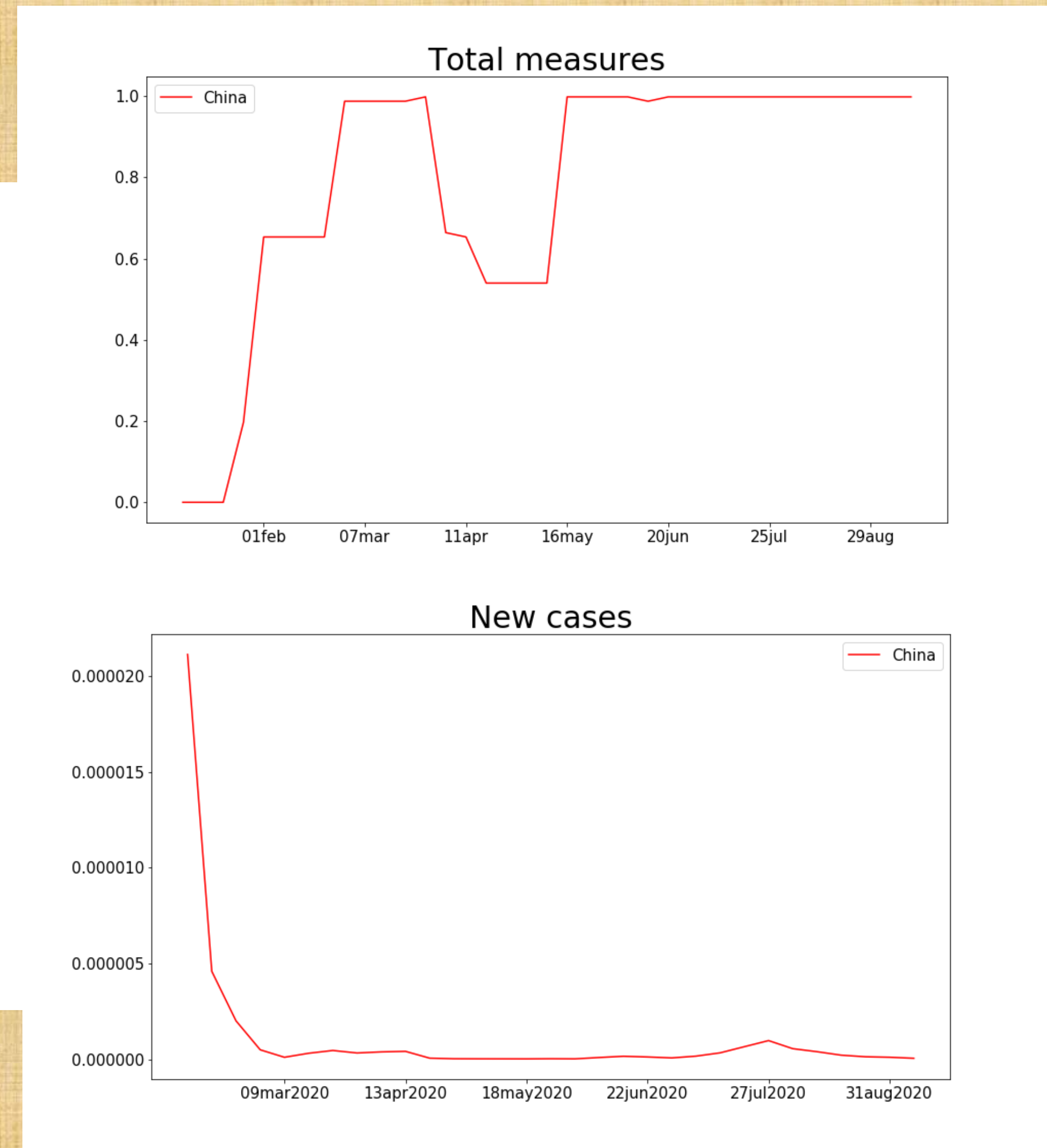
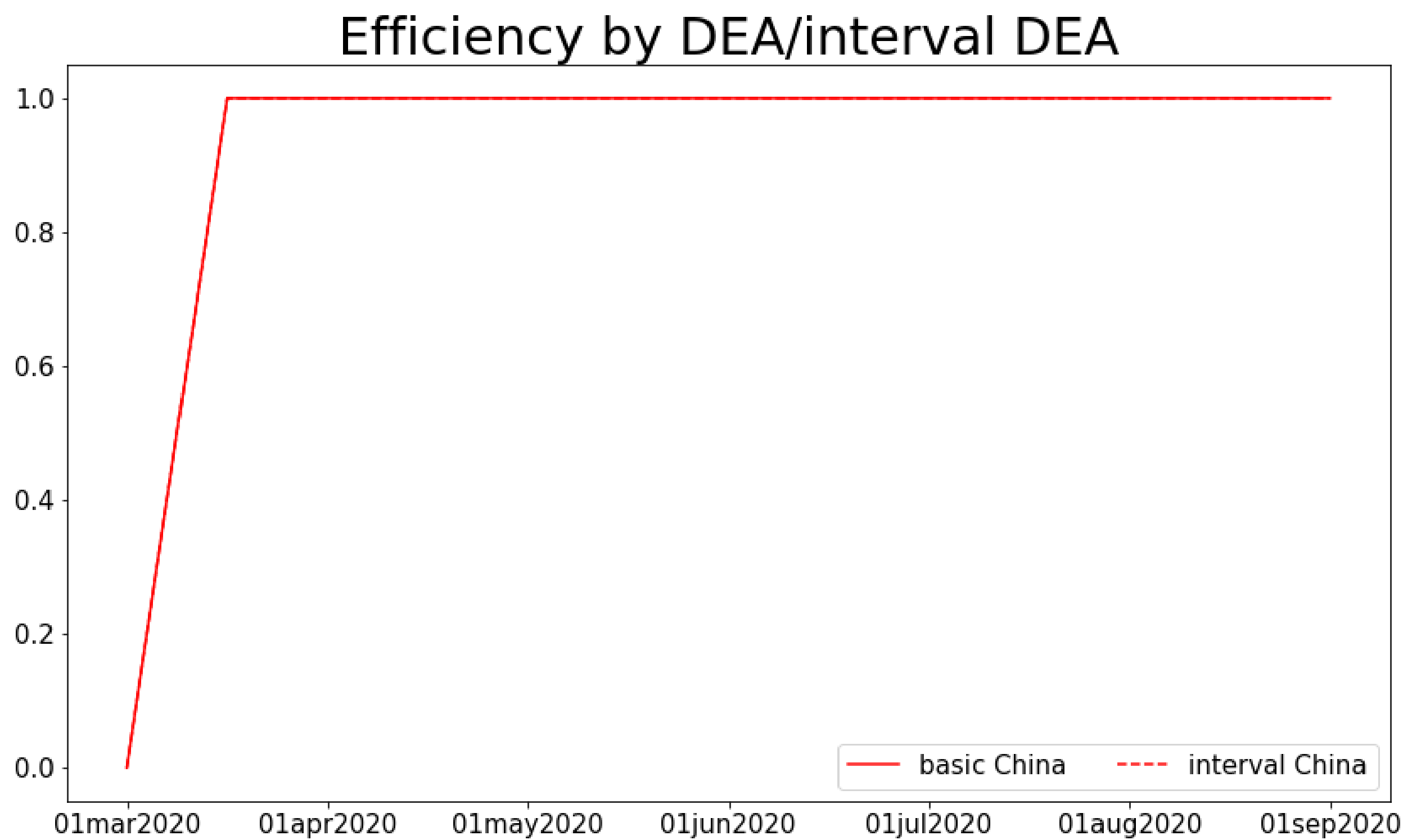
ЭФФЕКТИВНОСТЬ КАРАНТИННЫХ МЕР

ГРУППА 1 (ПОЗДНИЙ ПРИХОД ВИРУСА)



ЭФФЕКТИВНОСТЬ КАРАНТИННЫХ МЕР

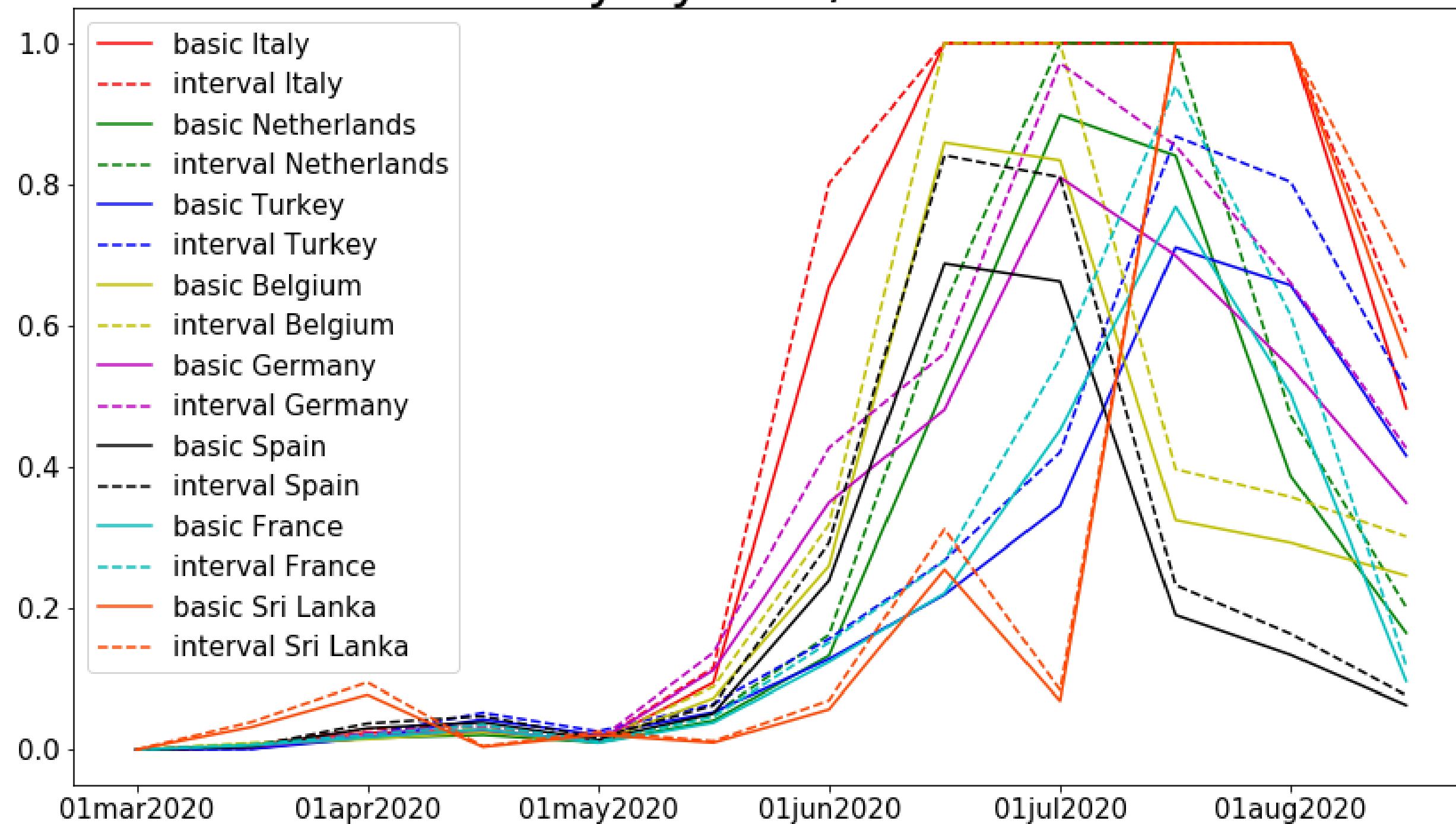
ГРУППА 2 (КИТАЙ)



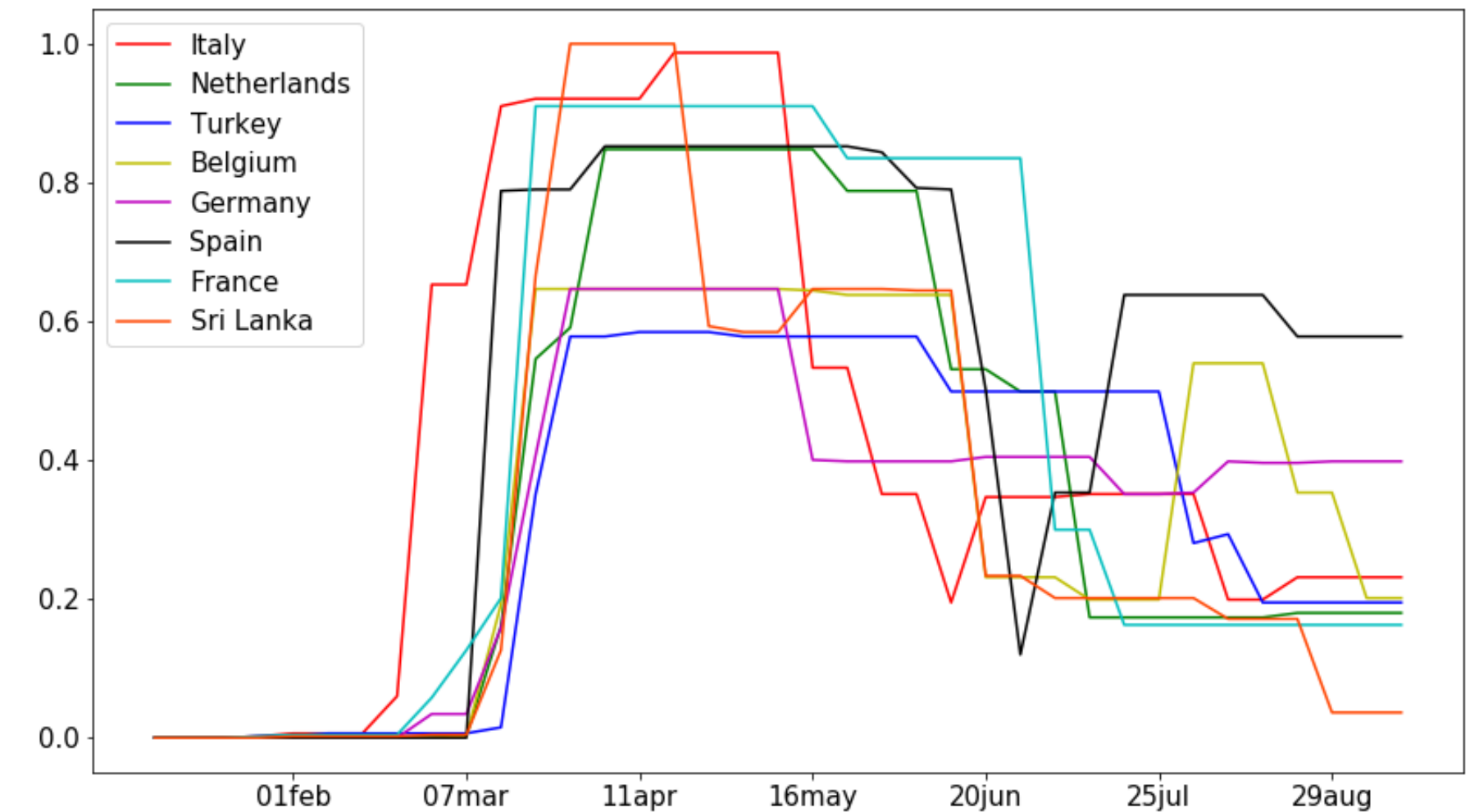
ЭФФЕКТИВНОСТЬ КАРАНТИННЫХ МЕР

ГРУППА 3 (СТРАНЫ С НАСТУПИВШЕЙ «ВТОРОЙ» ВОЛНОЙ ВИРУСА)

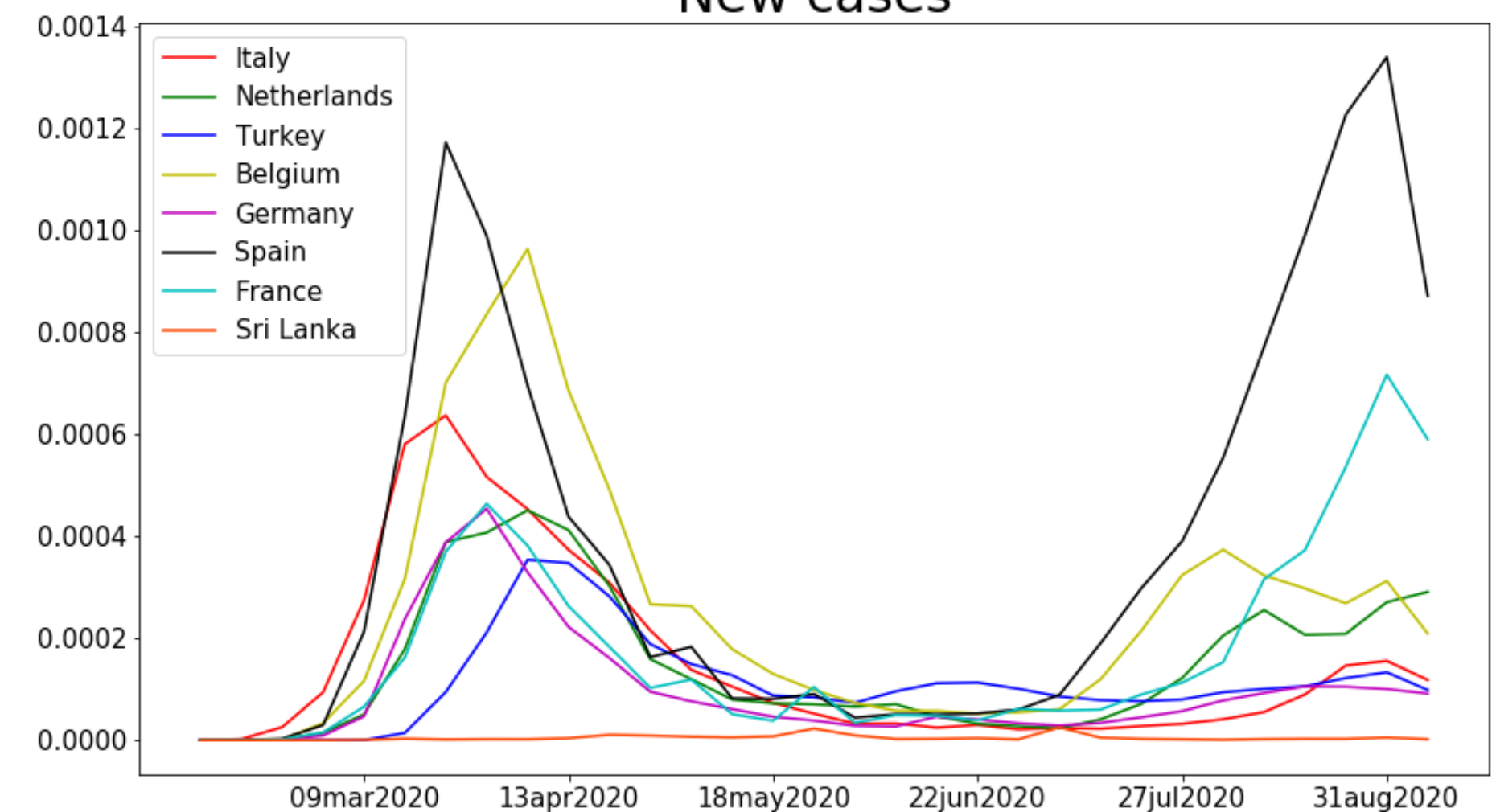
Efficiency by DEA/interval DEA



Total measures

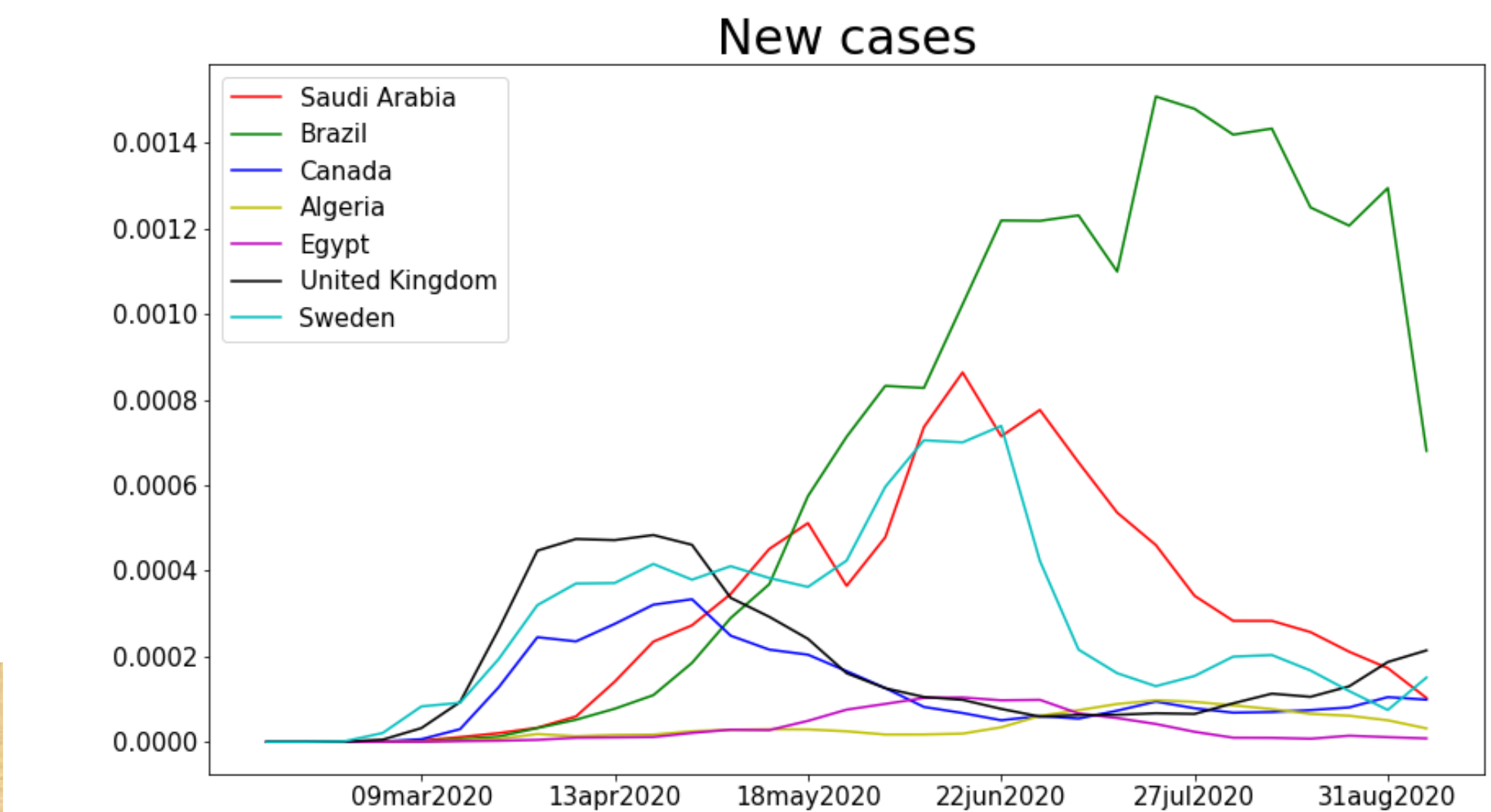
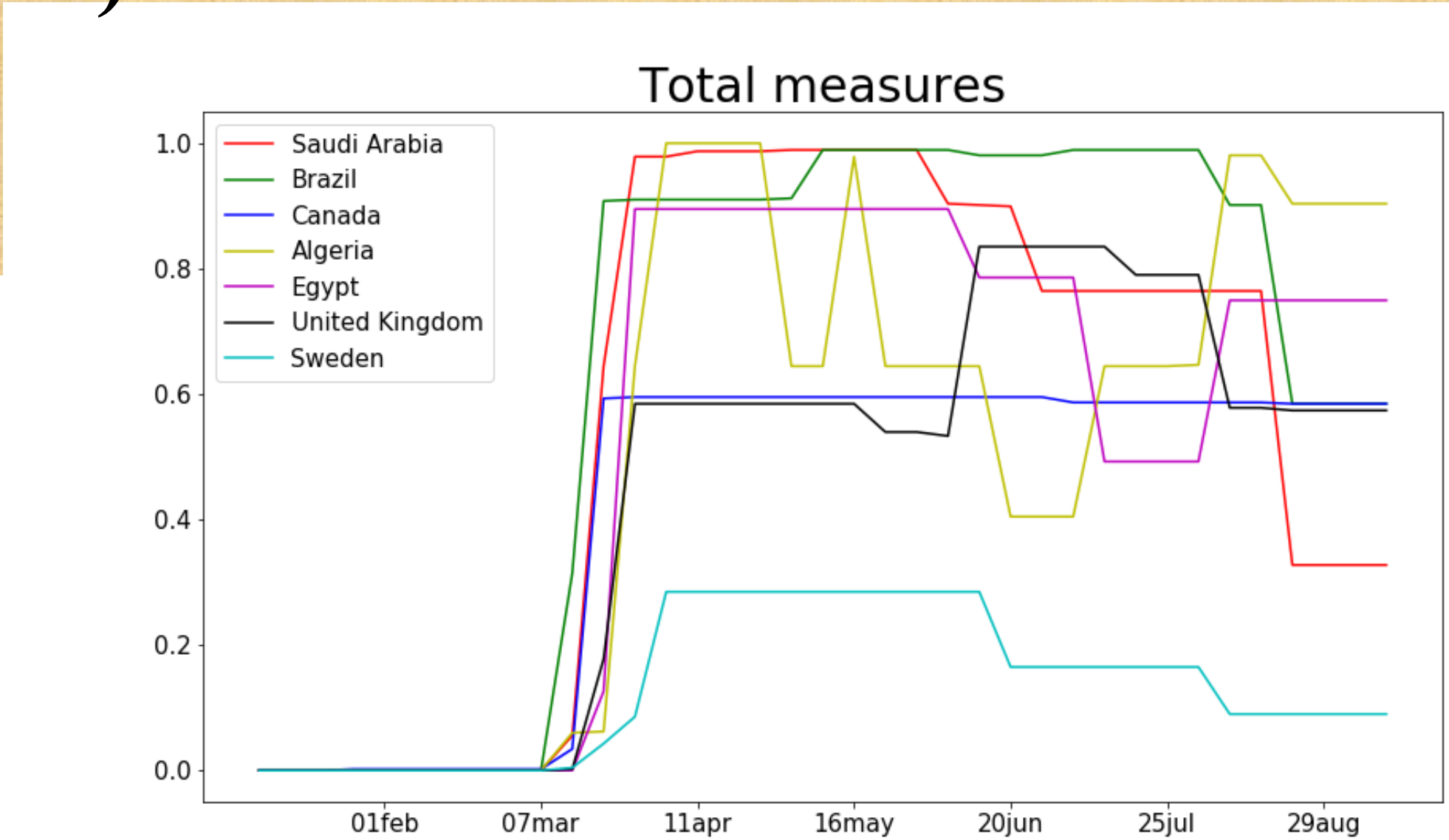
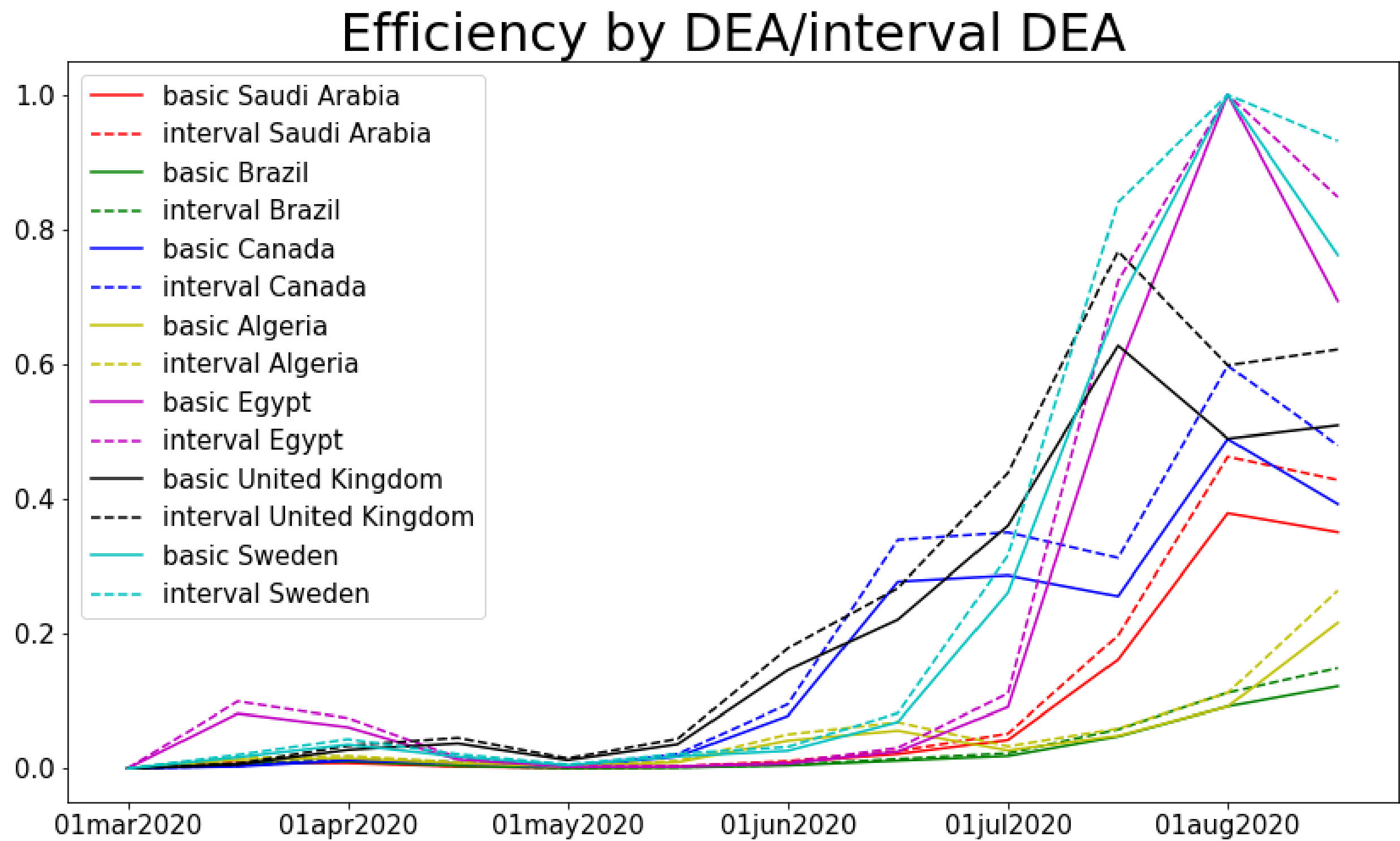


New cases



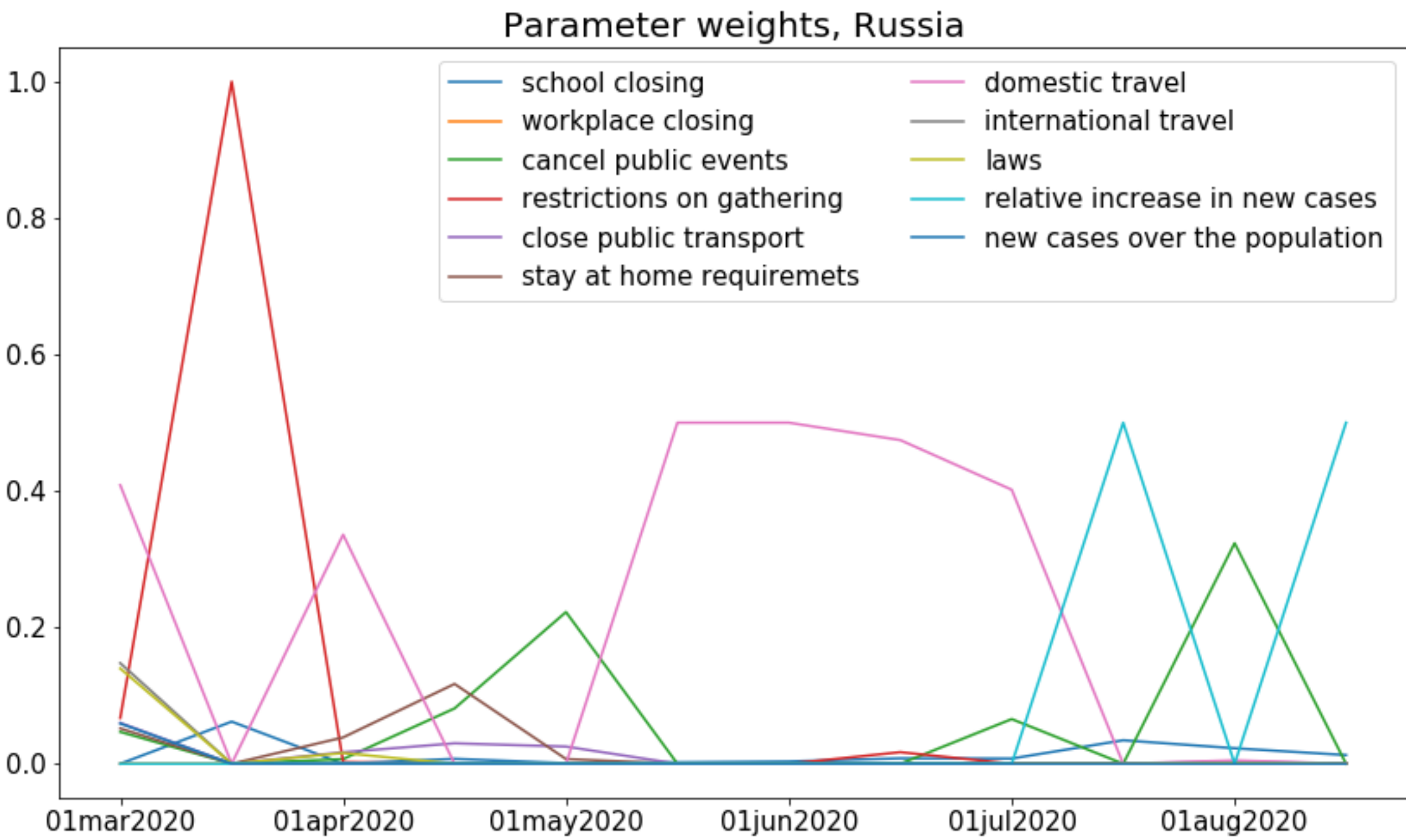
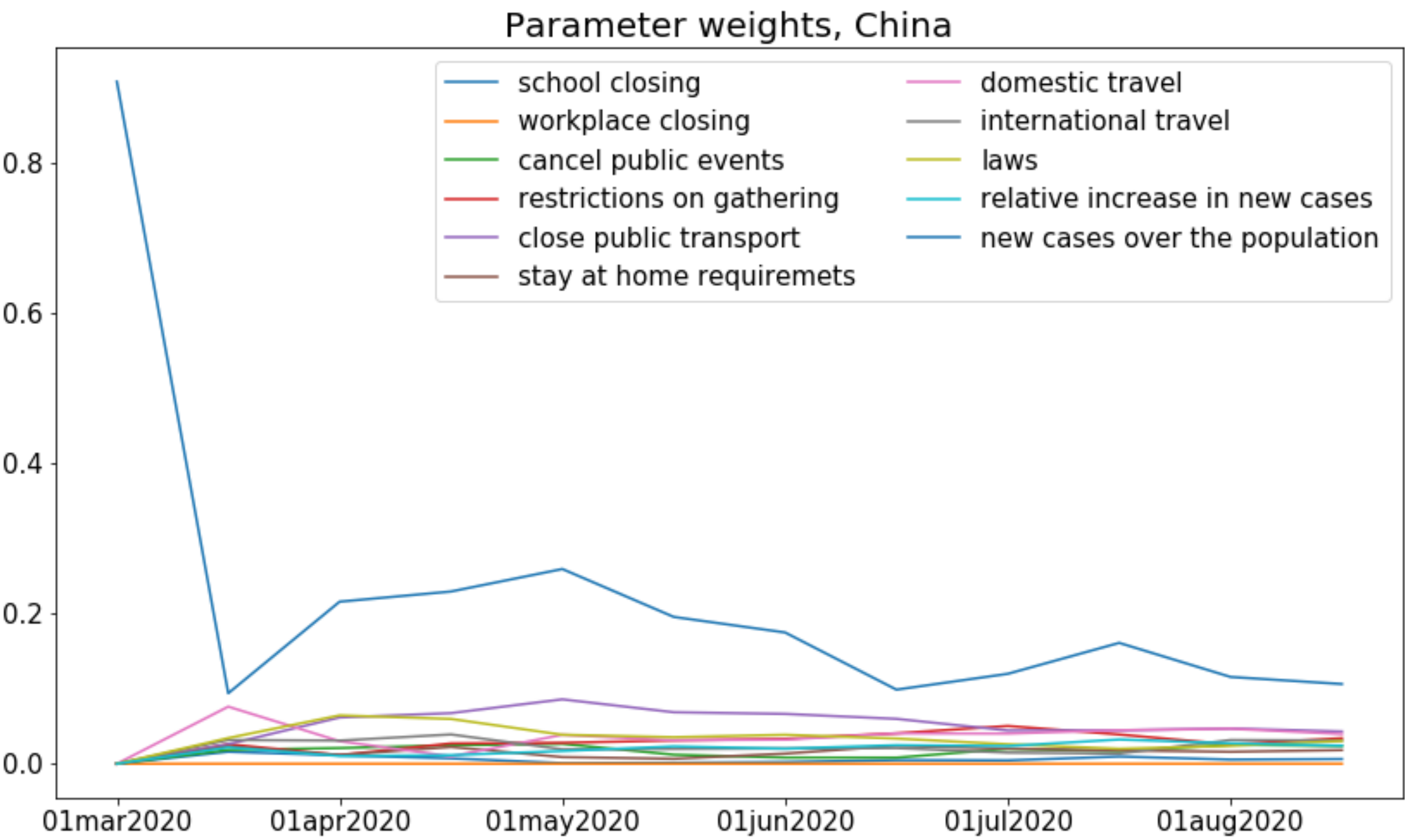
ЭФФЕКТИВНОСТЬ КАРАНТИННЫХ МЕР

ГРУППА 4 (ЗАТУХАНИЕ «ПЕРВОЙ» ВОЛНЫ)



ЭФФЕКТИВНОСТЬ КАРАНТИННЫХ МЕР

АНАЛИЗ ВЕСОВ ПАРАМЕТРОВ



EFFICIENCY OF MEASURES (DEA)

Country	1-Mar-20	1-Apr-20	1-May-20	1-Jun-20	1-Jul-20	1-Aug-20
Australia	0	0.09	0.05	0.34	0.03	0.07
Brazil	0.02	0	0	0.01	0.03	0.08
Canada	0	0.01	0	0.16	0.27	0.7
China	0	1	1	1	1	1
France	0	0.02	0.01	0.18	0.83	0.28
Germany	0	0.02	0.02	0.43	0.76	0.56
India	0.23	0.02	0	0.01	0.02	0.04
Italy	0	0.02	0.02	1	1	1
Japan	0.03	0.04	0.06	0.34	0.14	0.1
Russia	0.01	0	0	0.02	0.13	0.24
Saudi Arabia	0.01	0	0	0.01	0.1	0.41
South Africa	0.01	0.01	0	0	0.02	0.14
South Korea	0.05	0.27	0.17	0.19	0.38	0.22
Spain	0	0.03	0.02	0.36	0.56	0.14
Sweden	0	0.04	0	0.03	0.26	1
Turkey	0	0.01	0.03	0.16	0.57	0.58
United Kingdom	0	0.02	0.02	0.27	0.43	0.72
United States	0	0.01	0	0.02	0.04	0.14

EFFICIENCY OF MEASURES (INTERVAL DEA)

Country	1-Mar-20	1-Apr-20	1-May-20	1-Jun-20	1-Jul-20	1-Aug-20
Australia	0	0.09	0.04	0.63	0.03	0.08
Brazil	0.02	0.01	0	0.01	0.02	0.11
Canada	0	0.01	0	0.1	0.35	0.6
China	0	1	1	1	1	1
France	0	0.02	0.01	0.15	0.55	0.61
Germany	0	0.02	0.01	0.43	0.97	0.66
India	0.23	0.06	0	0.01	0.02	0.05
Italy	0	0.03	0.01	0.8	1	1
Japan	0.03	0.06	0.04	0.37	0.16	0.12
Russia	0.01	0	0	0.01	0.07	0.32
Saudi Arabia	0.01	0.01	0	0.01	0.05	0.46
South Africa	0.01	0.04	0	0	0.01	0.16
South Korea	0.05	0.25	0.23	0.15	0.28	0.76
Spain	0	0.04	0.02	0.29	0.81	0.16
Sweden	0	0.04	0.01	0.03	0.32	1
Turkey	0	0.02	0.03	0.16	0.42	0.8
United Kingdom	0	0.03	0.02	0.18	0.44	0.6
United States	0	0.01	0	0.02	0.03	0.15

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представлена модель агрегирования уровня карантинных мер по 8 критериям, таких, как отмена публичных мероприятий, ограничение на поездки и др. Построена модель и проведен анализ временных рядов числа случаев заболевания коронавирусом.

На основе классических методов кластерного анализа (k-means, иерархическая кластеризация и DBSCAN) и методов анализа паттернов выявлены группы стран со схожей внутренней структурой по совокупности трех показателей: уровень образования, принятые карантинные меры и законопослушность граждан (экспертные оценки). В полученных группах построены регрессионные модели, позволяющие в краткосрочной перспективе рассчитывать прирост числа заболевших COVID-19.

С помощью известных методов DEA и новых методов интервального оболочечного анализа данных (Interval DEA) оценена эффективность применения карантинных мер в крупнейших странах мира.

ЛИТЕРАТУРА

- M.J. Farrell, The Measurement of Productive Efficiency, Journal of the Royal Statistical Society, 120(3) (1957) pp. 253–281
- A. Charnes, W.W. Cooper, E. Rhodes, Measuring the Efficiency of Decision Making Units, European Journal of Operational Research, 2 (1978) pp. 429–444
- F. Aleskerov, S. Demin, An Assessment of the Impact of Natural and Technological Disasters Using a DEA Approach, Dynamics of Disasters – Key Concepts, Models, Algorithms, and Insights (2016) pp. 1–14
- F. Aleskerov, V. Petrushenko, DEA by sequential exclusion of alternatives in heterogeneous samples, International Journal of Information Technology & Decision Making, 15(01) (2016) pp. 5–22
- F.T. Aleskerov, V. Belousova, S. Petrushchenko, Models of Data Envelopment Analysis and Stochastic Frontier Analysis in the Efficiency Assessment of Universities, Automation and Remote Control. 78(5) (2017) pp. 902–923

ЛИТЕРАТУРА

- Mirkin B., Myachin A. Ordinal Equivalence Classes for Parallel Coordinates // Intelligent Data Engineering and Automated Learning - IDEAL2019. – Springer. – 2019.
- Myachin A. Pattern Analysis in Parallel Coordinates Based on Pairwise Comparison of Parameters // Automation and Remote Control. – V.80. – №1. – 2019. – P. 112-123.
- Mirkin B. Core Data Analysis: Summarization, Correlation, and Visualization. Cham, Switzerland: Springer, 2019
- Aleskerov F., Chistyakov V., Kalyagin V., Social threshold aggregations // Social Choice and Welfare. 2010. Vol. 35, No. 4, pp. 627-646.
- Алескеров Ф.Т., Якуба В.И. Метод порогового агрегирования трехградационных ранжировок // ДАН. 2007. Т. 413, №2. С. 181-183.
- Ф.Т. Алескеров, М.А. Голубенко Об оценке симметричности политических взглядов и поляризованности общества Препринт WP7/2003/04
- Алескеров Ф.Т., Вольский В.И., Якуба В.И. Применение индексов симметричности и поляризованности для анализа динамики потребления / 4-я Международная конференция по проблемам управления (МКПУ) 2009.

Спасибо за
внимание!