

ML_COVID_Memoria

Carlo Alberto Bissacco

12-01-2023

Resumen

SCRIVERE QUI ABSTRACT pfogbkeopkgggkttkt rgortofoo oooooooooooooopfeokbtprbbtotgob-kovmsdvl fdkmvbsnvpdtkfj nbkjgfnbgjnbklmvgkgnklovkggkkkgeprokw

Índice

Introducción	3
SAR-CoV-2	3
Machine Learning	3
EHR - Electronic Health Records	4
Objetivos	4
Enfoque	5
Planificación del trabajo	6
Metodología	8
Data	8
Datos faltantes	9
Modelos	10
Entrenamiento y Validación del Modelo	12
Parámetros	12
K-fold Cross Validation Vs Bootstrapping	13
Evaluación del Modelo	13
Interpretación del modelo	14
Análisis Preparatorio, Exploratorio y Estadístico	16
Preparación de los datos	16
Primer caso - Datos Imputados	18
Segundo caso	19
Resultados	21
Comparación Modelos	21
Variables	22
Detectar COVID	23
Limitaciones	24
Conclusiones	25
Anexo - Tablas Estadísticas 1	26
Anexo - Tablas Estadísticas 2	29
Anexo - Sensitivity / Specificity	31

Anexo - Sensivity / Specifity Imputed	33
Anexo - COVID - Sensivity / Specifity - Reduced y Imputed	35
Anexo - SIDIAP	36
Common Data Model	36
Variables	37
Criterios de exclusión e inclusión	37
Anexo - Variables	39
Referencias Bibliográficas	40

Introducción

Se ha desarrollado este estudio con la motivación de abrir una línea de investigación en el Institut Universitari d'Investigació en Atenció Primària (IDIAPJGol) utilizando metodologías de Machine Learning aplicadas a la detección de COVID utilizando la base de datos EHR de SIDIAP. Este estudio quiere predecir la severidad del COVID y detectar sus factores de riesgo. El estudio enfrenta a tres temáticas relativamente actuales: EHR, Machine Learning y COVID. El COVID no afecta a todas las personas de la misma manera, hay diferentes factores que influyen sobre la severidad de la enfermedad. Este estudio prueba a buscar los factores de riesgo que más influyen sobre un pronóstico de mayor gravedad, y quiere comparar modelos predictivos sobre la severidad de la enfermedad entre los diferentes algoritmos de Machine Learning. La potencialidad de este estudio es que permitiría utilizar en futuro modelos similares para las bases de datos más amplias como la base de datos SIDIAP [Anexo 3], o para ensayos clínicos que solitamente tienen un numero de observaciones inferiores. Aun más importante es aplicar estos modelos a otras enfermedades, sin limitarse estrictamente al COVID.

Mirando a largo plazo, hay la posibilidad de utilizar algoritmos el Machine Learning con datos EHR no solamente para la investigación, si no desarrollar herramientas en mano a los sanitarios para mejorar por ejemplo la detección de enfermedades. Una consecuencia positiva para el sistema sanitario, que podría verse beneficiado con la aplicación de ML, que en los últimos años está viviendo un cierto grado de congestión. [XXX]

SAR-CoV-2

Empezando por la ultima, y probablemente la más impactante por cómo no has afectado desde los principios del año 2020. La OMS (World Health Organization) ha definido como pandemia el COVID-19, la enfermedad causada por el Coronavirus SARS-CoV-2, el 11 de marzo 2020. En principio no había un numero de caso elevado, que, pero semanas tras semanas el número de casos ha aumentado exponencialmente. La consecuencia de la pandemia ha sido un alto número de contagios, hospitalizaciones y muertes, presionando el sistema sanitario por un aumento de necesidad de prestaciones sanitaria y cama por el aumento de hospitalizaciones y de hospitalizaciones en terapia intensiva. En muchos casos la demanda de recurso sanitario ha sido mayor de la ofertada. En general el COVID ha provocado muchos cambios directa e indirectamente en la sociedad, a partir del confinamiento, cambios en la sociedad en el estilo de vida, y en patrones de consumo.

La mortalidad del COVID desde el principio de la pandemia ha disminuido debido a diferentes factores variantes menos peligrosas, inmunización, medidas restrictivas a la movilidad y a la masiva vacunación que se ha distribuido en plazos relativamente cortos. [XXX] Para la prevención del COVID-19, se han creado en tiempos rápidos vacunas novedosas basadas en ARNm, las dos primeras comercializadas y autorizadas han sido Pfizer-BioNTech (Comirnaty) y la de Moderna (Spikevax). En la Unión Europea y en los países que se han utilizado estas vacunas, se están monitorizando e investigando través estudios clínicos y epidemiológicos sus seguridad y eficacia, haciendo particular atención a los AESI. Este estudio no va a analizar la seguridad de las vacunas y sus efectos negativos en el corto plazo, por ejemplo, debido a varias notificaciones, se han estudiado los casos de miocarditis y pericarditis en personas que han recibido la vacuna, y se ha confirmado una correlación especialmente en las personas que han recibido más de una dosis.

Los que este estudio intentará analizar son los factores de riesgo de las personas que pueden influir negativamente sobre un pronóstico no favorable. En la pandemia se han detectado diferentes factores de riesgo que pueden influir sobre la severidad del COVID, asociada también a una mayor mortalidad, por ejemplo, la edad. XXX Definir biblio y risk factor

Machine Learning

Se han estudiado previamente los factores de riesgo con diferentes modelos y metodologías, en general las más utilizada en varios estudios es la regresión logística, pero siempre mas en las publicaciones se están utilizando algoritmos de Machine Learning. Los algoritmos de Machine Learning permiten detectar patrones en grandes bases de datos, permitiendo en parte facilitar el estudio predictivo, sobre todo en los casos donde el resultado

se conoce y hay un numero grande de variables predictoras. De esta forma, los algoritmos de ML aplicados a bases de datos EHR, asumen una importancia fundamental. [obermeyer2016predicting]

Los algoritmos de Machine Learning en estos últimos años se están aplicando siempre más, y en diferentes áreas. En los últimos años además ha habido un aumento de la generación de grandes cantidades de datos, y como consecuencia el desarrollo de metodologías para la explotación de Big Data. El aumento de la disponibilidad de datos ha crecido junto con técnicas y metodologías para su utilizo.

El Machine Learning se puede considerar como una subcategoría de la Inteligencia Artificial, y está siendo aplicada siempre en más campos con resultados satisfactorios. La utilidad de Machine Learning aplicado a los EHR, es la posibilidad de generar información y permitir una mejor toma de decisión. Existe una extensa bibliografía y de publicaciones que demuestra que el Machine Learning puede ser una herramienta extremadamente útil en el sector sanitario, en el diagnóstico y en la toma de decisiones. Se han publicado diferentes estudios demostrando una mejor performance de las metodologías de Machine Learning en comparación con la más común Logística Regresión. [couronne2018random, beunza2019comparison] [XXX]

Reduciendo el campo al utilizo de Machine Learning en detección de COVID-19, se encuentra una amplia bibliografía desde múltiples enfoques. Desde el tracking de la detección, a la detección través diagnóstico por imagen, o como se quiere aplicar a este estudio, predecir severidad y duración de la enfermedad través datos clínicos de los pacientes. [1,2] XXX]

Para este estudio se utilizan y se comparan diferentes metodologías de Machine Learning y la Regresión Logística Ordinal. En general los algoritmos analizados en este estudio son algoritmos que se han utilizado en estudios anteriormente, y se puede encontrar una extendida bibliografía donde se aplican estos algoritmos: Support Vector Machines (SVM), Random Forest (RF), XGBoost, Artificial Neural Networks (ANN), Naive Bayer (NB) aplicados en diferentes campos y no solamente el sanitario.

EHR - Electronic Heath Records

Los datos EHR (Electronic Heath Records) son datos sanitarios, se pueden considerar como Big Data o como una subcategoría, y como los Big Data los EHR han tenido un crecimiento exponencial en los últimos quince años. Siendo relativamente nuevos al utilizarlos tienen sus complicaciones. Los datos que se encuentran en un EHR pueden ser de diferentes fuentes, heterogéneos, incompletos, no son de fácil utilizo debido a la naturaleza. Tener datos no es sinónimo de tener información, como el caso de los Big Data, los datos EHR para obtener información tienes que ser procesados no se puede extraer información directamente o es limitada.

En este trabajo se ha utilizado una base de datos XXX, es como segunda opción porque como primera opción se tenían que utilizar la base de datos EHR de SIDIAP. [ANEXO 3]

Objetivos

En este estudio se abordará las siguientes preguntas:

- Cuál modelo resultará mejor para predecir la severidad del COVID en las personas
- Cuáles son las variables más importantes (estadísticamente significativas) que puedan hacernos predecir si una persona podrá sufrir de una forma más grave la enfermedad.

Los objetivos primarios son:

- Alcanzar un nivel satisfactorio de predicción de la severidad. Comparando diferentes modelos y algoritmos de Machine Learning
- Identificar los factores de riesgos potenciales como edad, sexo, enfermedades previas, etc.

El objetivo secundario:

- Identificar la población potencialmente a riesgo de padecer la enfermedad de forma grave.

- Identificar un caso de positividad al COVID, sin test, través de sus analíticas

Los objetivos específicos:

- Procesamiento de datos. Data Cleaning y Data Cleansing
- Análisis exploratorio de los datos. Data Análisis
- Elección de las variables para el estudio
- Calcular y comparar modelos de Machine Learning y elegir para el estudio los mejores.
- Validación de los resultados

Enfoque

La estrategia para llevar a cabo el trabajo ha tenido que ser bastante flexible sobre todo por el hecho que llevar a cabo esta investigación no depende solamente del autor de este trabajo.

La elección de una base de datos EHR. Tener varias opciones es importante (véase el apartado Análisis de Riesgo). En principio se tenía que utilizar la base de datos SIDIAP, que incluya diferentes pasos:

- Redactar Protocolo estadístico
- Redactar Modelo que incluye: Definición del Equipo Investigador. Resumen del estudio, antecedentes, hipótesis, objetivos, metodología, determinaciones, análisis estadístico, resultados esperado, aplicabilidad y relevancia. Financiación. Definición de las Variables.
- Aceptación Financiación por el centro
- Aceptación Comité Ética
- Extracción de Datos.

El siguiente paso es el procesamiento previo al análisis de datos:

- Filtrar los datos
- Establecer cohortes
- Data Cleaning y Data Cleansing. En este apartado se incluyen las tareas que sirven para transformar los datos crudos de la base de datos en una base de datos utilizable para el estudio.
- Elección de las variables necesaria para el estudio. Esto no quiere decir eliminar variables estadísticamente significativas, pero eliminar (o reducir) las variables que poco aportan al estudio, esto permite además tener modelos más ágiles a la hora de ser calculados. O eliminación de las variables pocas presentes en la base de datos.
- Crear un data frame, una tabla para que pueda ser utilizada en los pasos de data análisis y para creación de los modelos, si necesidad se ser ulteriormente procesada. Los pasos finales
- Creación y comparación de los modelos entre diferentes algoritmos predictivos.
- Validación de los modelos
- Interpretación y redacción de los resultados - Publicación script en GitHub
- Escritura de la memoria.

Las diferentes partes se han desarrollado en paralelo solapándose. Cuando los tiempos empezaban a ser reducido para el uso de los datos SIDIAP debido a los diferentes pasos para disponer los datos. Se ha optado por la segunda opción, que desde el principio se ha tenido en cuenta. Una parte del trabajo hecho se ha tenido que volver a adaptar por la segunda opción, mientras otra parte como buena parte del código R se ha podido utilizar con la nueva base de datos. Este problema que se ha encontrado en este estudio mete en evidencia, la importancia de los datos y su valor.

Otras actividades transversales útiles para el enfoque del trabajo y para tener flexibilidad en la planificación:

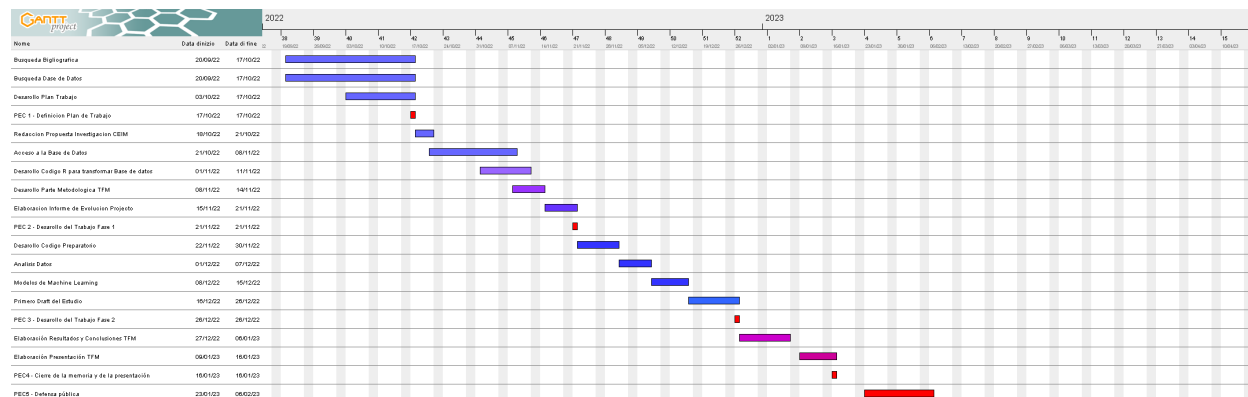
- Revisión bibliográfica
- Aprender el uso de GitHub
- Publicación con R Markdown
- Aprender el uso de algunos paquetes de R

Planificación del trabajo

Si hay que darle una línea de tiempo, hay que tener en cuenta que se han tenido variaciones a lo largo de estos meses, y no se ha tenido un desarrollo lineal como se podría representar través de un diagrama de Gantt. La modificación más relevante ha sido debido a la elección de la base de datos. Resumiendo, las tareas que se han realizado en este trabajo:

- Revisión bibliográfica. Es el punto de partida del estudio, la búsqueda bibliográfica para definir el trabajo, el desarrollo y el objetivo del trabajo. Se ha buscado sobre todo bibliografía en el campo clínico, pero se han incluido otros trabajos que se han considerado relevantes al fin del desarrollo de este trabajo.
- Base de datos, se ha explicado anteriormente, incluye la búsqueda de una base de datos y la preparación para que se pueda utilizar para el estudio.
- Desarrollo Código R, en el cual se incluye análisis de datos y creación de los modelos de Machine Learning - Redacción de la memoria. En R, través R Markdown y Pandoc.
- Preparación del trabajo, elaboración de un video y slides
- Defensa del trabajo

El plan de trabajo se puede resumir en un diagrama de Gantt:



Análisis de riesgo

La valoración de los factores de riesgos ha sido una parte importante de este trabajo, el adaptarse a las circunstancias y los impedimentos ha sido una tarea difícil que comporta un cierto riesgo. El mayor riesgo que se puede encontrar en un estudio es el no encontrar datos, o tener que cambiar los datos por alguna razón. La estrategia por esta razón se ha enfocado en tres opciones excluyentes por la elección de un EHR:

- El uso de la base de datos SIDIAP, en principio se tenía que hacer el estudio sobre una base de datos extremadamente amplia. Utilizar una base de datos crudos en el cual el procesamiento previo de los datos es una parte importante del trabajo. Se han encontrado varios problemas para respetar los tiempos burocráticos y de desarrollo (elección datos, aprobación financiamiento, aprobación comité ético, extracción de datos), así que se ha optado, por una segunda opción, dejando de lado esta primera opción para un estudio en los próximos meses. Otro riesgo concreto es que la Comisión ética no apruebe la investigación, o que no se apueste, no se financie una investigación con estos fines.

- La segunda opción (la que se ha elegido para este estudio) es una base de datos abiertos, utilizada previamente en varios estudios y competiciones.
- La tercera opción crear una base de datos random. En este caso no tendría un fin sanitario, valorar los factores de riesgo, esta opción tendría solamente un fin de comparación de modelos.

Otro factor de riesgo relativamente menos importante son los recursos computacionales, sobre todo en el caso de utilizar una base de datos grande como era la primera opción, y teniendo en cuenta que los algoritmos de Machine Learning requieren en general altos recursos computacionales, la idea era reducir la base de datos con criterios más estrictos, por ejemplo:

- Restringir la investigación a determinados grupos de la población, mayores de sesenta años.
- En el caso de estratificar por edad, crear un modelo separado por cada rango de edad
- Eliminar los menores de dieciocho años.
- Aumentar el número de variables en el modelo, sin imputar los datos faltantes, de esta forma se debería eliminar la persona del estudio por no tener datos completos.

Además, se ha tenido que llevar tareas en paralelo para mantener una cierta flexibilidad para llevar a cabo el trabajo, que pueden ser algunos considerados como hitos:

- El desarrollo de lo script de R se ha desarrollado parcialmente en paralelo, adaptándose continuamente a la bibliografía encontrada, y a las bases de datos disponibles.
- El mismo objetivo se ha ido modificando, en el principio además de la severidad, se quería estimar la duración de la positividad, parte del proceso descartada debido a la falta de disponibilidad de tiempos breves de la base de datos SIDIAP.

En los riesgos se han considerado solo parcialmente circunstancias excepcionales, por su naturaleza las causas excepcionales resultan ser difíciles de prever. Con esto no significa que puedan pasar, pero no son causas que dependen directa o indirectamente de la conducta del autor.

Metodologia

La componente principal de este estudio es identificar los factores de riesgo para la población, y crear y comparar modelos de Machine Learning con una buena capacidad de predicción.

Data

El dataset que se ha utilizado para este estudio, incluye datos de pacientes anonimizados del Hospital Israelita Albert Einstein, en São Paulo, en Brasil. El dataset es formado por un total de **5644** pacientes. A los pacientes en el dataset junto con e un test para detectar el COVID, se le hicieron una analítica de sangre. De esta forma además de conocer la edad, en este estudio se consideran otras variables que pueden ayudar en la construcción el modelo. El total de las variables presente en el dataset está en el **Annex 1 - Variables**.

Variable Dependiente

La variable dependiente viene definida con la severidad de la enfermedad a la hora de contraerla, se define en una escala. Y viene definida por niveles de severidad:

- Nivel 1.
- Nivel 2. Hospitalización relacionada a COVID-19
- Nivel 3. Hospitalización severidad media relacionada a COVID-19
- Nivel 4. Hospitalización en UCI relacionada a COVID-19

Variables Predictoras

Con el aumentar el número de las variables predictoras (o explicativas) se puede reducir los errores, mejorar el modelo y de consecuencia la capacidad de predicción. Al mismo tiempo, añadiendo variables se pueden encontrar diferentes problemas que pueden perjudicarlos creando modelos poco robustos y eficientes. Por ejemplo:

- Efecto frontero
- Multicolinealidad
- Heteroscedasticidad

Otra cosa es que cuando se tiende a aumentar la complejidad del modelo se reduce su interpretabilidad, este estudio no se enfoca solamente en la capacidad predictiva, si no también en su interpretabilidad, estudiar la importancia de los predictores.

Es importante encontrar un compromiso entre su capacidad de predicción y su grado de complejidad, la mejor opción es encontrar un modelo más simple posible sin perder capacidad de predicción.

Además, los datos EHR no son siempre datos completos, y son heterogéneos. Esto significa que no todas las personas incluidas en el estudio tengan la misma disponibilidad de variables. Los datos presentes en un EHR son datos y eventos recogidos en base a las circunstancias de las personas y en base a sus necesidades. Esto significa que no todas las personas tienen las mismas variables, y en este estudio la idea es no imputar los datos faltantes, se tendrá que elegir las variables que tengan un número suficiente de personas en la base de datos. Esto comporta llegar un compromiso entre número de pacientes y variables. De otra forma al elegir un número elevado de variables, se reduciría notablemente el número de personas, a las solas personas con estas variables disponibles.

Las variables predictoras incluidas en los modelos son las mismas en todos los modelos, y están descrita en el apartado de Análisis Estadística. En el primer modelo que se analiza (Regresión Logística Ordinal) se han reducido las variables con la función `stepwise()`.

Datos faltantes

En la base de datos EHR hay valores faltantes, los datos de los pacientes no son los datos de un ensayo clínico, que tienden a ser más completos. Es imaginable que, en los ensayos clínicos, hay menos datos faltantes, por dos razones hay menos participantes, y los análisis tienden a ser más específicas.

Los eventos grabados en un EHR dependen de la dinámica, depende de los profesionales sanitarios que deciden hacer en un determinado momento, esto crea una cierta diversidad en base a la urgencia de tratamiento, de enfoque y de análisis, también en el hipotético caso que dos pacientes acudan al hospital por la misma razón. Además, en parte depende de la historia clínica del paciente y de sus hábitos. En la atención sanitaria hay cierto protocolo que se siguen, pero hay un cierto margen de libertad y esto hace que entre dos sujetos que acuden a una estructura sanitaria, tengan prestaciones ligeramente diferentes. Esto es un factor limitante de los datos EHR.

Existen diferentes tipologías de maneras para solucionar el problema de los datos faltantes, imputar valores donde no están presentes otra forma es eliminar las variables o las observaciones con datos faltantes. Existe también una opción que está en el medio camino, eliminar los datos faltantes con determinado umbral, y los datos no completos qué, pero están debajo de este umbral imputar con una de las diferentes metodologías (también de ML) utilizada para este fin.

Para este estudio se ha optado para seguir la línea que se está utilizando en general con las investigaciones que estamos teniendo focalizadas a los AESI de la vacuna COVID, donde no se imputan valores a los datos faltantes. Este caso es viable aun mas cuando tenemos una grande base de datos, y podemos permitirnos de eliminar observaciones no completas, como en el caso de la base de datos SIDIAP. También se ha creado una base de datos imputando los datos faltante través un algoritmo de ML basado en Random Forest.

Modelos

Los Modelos de ML son en algoritmos que reducen la supervisión humana, se diferencian entre ellos en dos grupos, los de aprendizaje supervisado y los que no lo necesitan. Los de aprendizaje supervisado son los que utilizaremos en este estudio, y se diferencian por tener una variable respuesta. Los diferentes algoritmos se pueden agrupar por su función en:

- Métodos de Clasificación: XGBoost, SVM, Random Forest
- Métodos de Regresión: Redes Neuronales, Regresiones, K-NN, Elastic Net

Muchos algoritmos cumplen la doble función y se pueden adaptar con buenos resultados a los dos métodos.

En este estudio se han aplicado a la base de datos diferentes algoritmos de ML incluidas el paquete **caret** (acrónimo de Classification And Regression Training). El paquete `caret()` incluye diferentes funciones que resultan ser indispensables cuando se quiere hacer un estudio de ML:

- `createDataPartition()`: para dividir la base de datos en las dos partes de train y test.
- `featurePlot()`: para el análisis descriptivo
- `preProcess()`: para el preprocesado de los datos, por ejemplo escalar los datos
- `knnImpute`, `bagImpute` etc. para la imputación de los datos
- `train()`: necesario para entrenar el modelo
- `predict()`: para obtener predicciones o estimaciones
- `confusionMatrix()`: para la valoración de los modelos
- `varImp()`: para valorar la importancia de las variables predictoras

La función **caret** incluye diferentes funciones y algoritmos de ML Es una herramienta flexible y suficientemente completa para este estudio. [Kuhn]

Los diferentes modelos utilizados prevalentemente en este estudio se han elegido sobre todo través criterios bibliográficos, los algoritmos elegidos se han aplicado en estudios similares.

Regresión Logística Ordinal - `polr()`

Los modelos lineales generalizados en los cuales se incluye Poisson, Bernoulli y la Binomial se caracterizan a diferencia de las regresiones lineales más comunes por no tener la variable dependiente no tenga una distribución normal.

La regresión logística se utiliza cuando la variable dependiente es una variable categórica binomial. Es una técnica muy común y utilizada en diferentes campos de estudio, no necesita tantos recursos computacionales como los algoritmos de ML. Como las regresiones lineales hay un control sobre las variables explicativas.

La regresión logística (binomial) es conceptualmente similar a la regresión logística ordinal, la única diferencia que la variable dependiente categórica en la regresión logística ordinal tiene más de los dos niveles.

Las desventajas en general de los modelos lineales generalizados tienen que cumplir determinadas hipótesis:

- Homocedasticidad, la varianza del error constante
- Normalidad de las variables.
- Los errores sean independientes
- Las variables independientes no sean correlacionadas (multicolinealidad). En el caso que las variables sean correlacionadas las estimaciones se verán afectadas y serán poco eficientes. Así que será también difícil determinar si las variables independientes son estadísticamente significativas o no.

Además, estos modelos tienden a linealizar, y en determinados casos están limitados para describir casos no lineales. La falta de un modelo lineal, invalida o reduce las estimaciones.

Como explicado anteriormente, las variables en este modelo pueden causar problemas en la estimación, y cuando hay un número elevado de variables independientes, es útil reducir el número de variables (que esta correlacionado con el Principio de Parsimonia). Hay diferentes metodologías para reducir el número de variables, en este estudio se ha utilizado una selección por pasos `stepwise()`.

Alternativamente se puede reducir la dimensionalidad manualmente basándose por ejemplo sobre criterios de **variance inflation factor** que se utiliza para reducir la multicolinealidad, o eliminando la variable no significativa. Otra manera de reducir la dimensionalidad es utilizar por ejemplo PCA (Principal Component Analysis), es una metodología útil cuando hay una grande dimensionalidad y cuando el modelo sufre multicolinealidad.

Random Forest – rf()

Random Forest es un algoritmo de clasificación y predicción. Su algoritmo genera diferentes arboles de decisiones parcialmente no correlacionados entre ellos. Cada árbol de decisión es una clasificación, y el modelo será el que tiene un mayor número de votos. De consecuencia es el gran número de árboles de decisión que produce este algoritmo que permite encontrar un patrón de predicción o clasificación. [breiman1996bagging]

Los aspectos positivos de este algoritmo que no necesita suposiciones como por ejemplo las regresiones lineares, se pueden crear modelos robustos con mínima preparación de los datos y se puede utilizar con un muy grande número de variables. Su sencillez, y el hecho de que pueda utilizarse eficazmente en diferentes campos, lo convierten en uno de los algoritmos más populares.

Los aspectos negativos, que por su naturaleza es más un algoritmo de clasificación que de predicción. Y como varios algoritmos de ML es un modelo **black-box**.

Support Vector Machine

Support Vector Machine es un algoritmo de clasificación, se utiliza también por las regresiones. Se creó para la clasificación binaria con una esencia lineal (por lo menos en principio) puede ser substituido con diferentes Kernel que depende de las variables predictoras. Este cambio fundamental ha permitido obtener de este algoritmo una buena flexibilidad cambiando entre diferentes Kernels (lineal, polinómico, radial, hiperbólico) y de adaptarse bien a fronteras no lineales.

Los aspectos negativos es que resulta ser un algoritmo lento en entrenar. En general se debe escalar los datos para evitar que las variables con valores más grandes tengan más peso de las otras, o en el caso de variables categóricas.

También este algoritmo como el anterior, es que los modelos son de difícil interpretación debido a que es un algoritmo de ML **black-box**

Naïve Bayes – nb()

Naïve Bayes es un algoritmo basado en el Teorema de Bayes. Se define Naïve porque se consideran las variables predictoras independientes entre ellas, y que contribuyen independientemente a la probabilidad de obtener un determinado valor de la variable dependiente. Esto permite utilizar un alto número de variables.

K-Nearest Neighbour – knn()

K-Nearest Neighbour (k-vecinos más cercanos) es un algoritmo de clasificación, XXXXXX

Artificial Neural networks – ann()

Las redes neuronales artificiales son un algoritmo de ML, como los otros algoritmos que se han utilizado en este estudio es una metodología de aprendizaje supervisado. Las redes neuronales crean layer crean capas

entremedias, entre las capas de entrada (input) y de salida (output), el modelo más sencillo crea solamente un layer entremedio (hidden layer).

Los aspectos positivos son que los modelos tienden a ser robustos. Resultan ser útiles cuando hay estructuras complejas de difícil interpretación o como en nuestro estudio una alta dimensionalidad. Son modelos que necesitan que los datos sean preprocesados (escalados y centrados).

Los aspectos negativos, en general este algoritmo necesita más tiempo de otros algoritmos para el entreno, además para tener un buen nivel de entrenamiento se necesita un número de observaciones (n) más grande. Tienden a ser de difícil interpretación si se crean diferentes capas intermedias.

Elastic Net - glmnet()

Útil cuando se en modelo tiene una alta dimensionalidad, y hay riesgo que las variables independientes tengan correlación. Como explicado anteriormente, si las variables esta correlacionadas hay problemas de multicolinealidad. Como con Lasso o Ridge Regression, en este caso el modelo tiende a reducir el peso de algunas variables, forzándola a cero en el primer caso, y reduciendo su peso en el segundo.

En general es importante estandarizar las variables independientes, las variables categóricas modificarlas en numéricas y configurar los parámetros.

Extreme Gradient Boosting (XGBoost) – xgbTree()

XGBoost es uno de los algoritmos de ML más comunes, es extremadamente efectivo, su eficacia está reconocida en diferentes competiciones de Machine Learning, por ejemplo, en Kaggle. [chen2016xgboost] XXXX

Conceptualmente similar a Random Forest, genera múltiples modelos para generar un modelo de predicción optimo. La metodología boosting, es una metodología iterativa que se ajusta para reducir los errores (RMSE o AUC), hasta que no se encuentra el mejor modelo posible. [jerome H friedman] XXXX. Como el algoritmo Random Forest, resulta ser muy útil cuando se utilizan datos heterogéneos.

Entrenamiento y Validación del Modelo

Cuando el número de observaciones no es muy grande cabe la opción de entrenar el modelo con todas las observaciones y evaluarlo con Cross-Fold Validation o Bootstrap.

En el caso de este estudio, teniendo un número de n no elevado pero tampoco pequeño, se ha utilizado la función `createDataPartition()` que se incluye en el paquete `caret()`, esta función busca dividir el dataset en dos parte con una distribución similar de las variables:

- Un grupo de entrenamiento más grande, para entrenar y construir el modelo
- Un grupo de test, para validar el modelo creado en el step anterior.

Solitamente los dos grupos son respectivamente un 70-80% del dataset original, y un 20-30%. De esta manera, las personas incluidas en este estudio se han dividido en dos grupos, el grupo de training alrededor de un 70%, y un grupo de validación de 30%, que es necesario para poder validar la performance de los diferentes algoritmos.

Para que sea posible la comparación y la valoración entre los modelos depende de la configuración de los parámetros y de los resultados de la validación cruzada. El fin es obtener los mejores resultados posibles, alta precisión y un número bajo de errores.

Parámetros

Para poder calcular los parámetros, se ha utilizado la metodología de re-sample K-fold Cross Validation. El paquete `caret()` incluye la función que permite calcular los parámetros optimizados para obtener los mejores resultados: `bestTune`.

Una vez definidos los parámetros, el segundo paso es entrenar el modelo con los parámetros optimizados. Los parámetros que se han configurado para cada modelo son:

- Random Forest: mtry; es el número de variables, que van a ser las candidatas de cada ramificación.
- Support Vector Machine: C (coste de violación de las restricciones) and sigma;
- Naïve Bayes: fL and adjust;
- K-Nearest Neighbour: K;
- Artificial Neural Networks: size and decay;
- Elastic Net: alpha and lambda
- XGBoost XXXX

K-fold Cross Validation Vs Bootstrapping

Las dos metodologías no son útiles solamente en validar los modelos, si no van a ser útiles en la fase de entrenamiento. Se basan en repetir las fases de entrenamiento y test varias veces en un subconjunto creados aleatoriamente desde la base de datos que se está estudiando. Por regla general cuando el tamaño muestral es grande como en este estudio es aconsejable K-Fold-Cross-Validation repetido por lo menos 10 veces (hasta 100 veces), por una muestra pequeña es posible reducir el número de repeticiones. Mientras el bootstrapping necesitando menos recursos computacionales, es aconsejable cuando se quiere comparar modelos sin necesitar estimaciones precisas. Aumentando el número de repeticiones se reduce la varianza, puede resultar útil aumentar el número de repeticiones si se quiere estimaciones más precisas.

Existen otras metodologías que se uso es extendido como validación simple y LOOCV etc. Que en este estudio no se analizaran por ser caracterizados generalmente por una menor precisión en comparación a K-Fold-Kross-Validation o Bootstrapping.

Bootstrapping. En caret() de default se utiliza bootstrapping como metodología de re-sample. A diferencia de K-Fold-Cross-Validation, el bootstrapping utiliza el **resampling with replacement** por un numero B de veces, esto significa que algunas observaciones pueden aparecen en más muestras y otras observaciones nunca se utilizaran (OOB out of bag).

K-Fold-Cross-Validation es una metodología de validación útil para obtener mejor performance en la predicción, desde los datos que introducimos, esta metodología crea un grupo de entrenamiento y uno de validación. El grupo de entrenamiento se divide en diferentes subconjuntos (k), través de los cuales se entrena el modelo de forma iterativa (k veces). Cada subconjunto es diferente en cada iteración y se utiliza como conjunto prueba, el resto de los datos se utiliza como entrenamiento. El cálculo final será la del promedio de los resultados de todas las iteraciones. El promedio que se encuentra de K-fold Cross Validation, siendo calculado de forma iterativa nos da una idea más precisa del modelo de clasificación utilizado. Utilizando K-fold Cross Validation para los datos en entrada es posible también configurar los parámetros de los algoritmos de manera más optima. [kuhn2013applied] XXXx

Evaluacion del Modelo

Para poder valorar los diferentes modelos, se utiliza la función predict() el grupo **test**, y se verifican las predicciones con la función **confusionmatrix()**, que permite separar los datos correctamente clasificados con los con datos no correctamente clasificados en las cuatro categorías:

- TP: True Positive (Verdadero Positivo)
- TN: True Negative (Verdadero Negativo)
- FP: False Positive (Falso Positivo)
- FN: False Negative (Falso Negativo)

En una tabla de esta forma:

Real / Predicción	** Negativo **	** Positivo **
Negativo	* Verdadero Negativo (TN)	* Falso Positivo (FP)
Positivo	* Falso Negativo (FN)	* Verdadero Positivo (TP)

A partir de esta tabla se pueden calcular las performance de cada algoritmo de ML se ha calculado través diferentes métricas, en parte relacionadas entre ellas:

Accuracy, la precisión, la porcentual de predicción acertada.

$$ACC = \frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN} = \frac{TP + TN}{P + N}$$

Kappa, los aciertos en una clasificación al azar

XXXXXX

Sensitivity (True Positive Rate), la sensibilidad, los resultados positivos correctamente clasificados.

$$TPR = \frac{TP}{TP + FN}$$

Specificity (True Negative Rate), la especificidad, los resultados negativos correctamente clasificados.

$$TNR = \frac{TN}{TN + FP}$$

F1 score:

$$F1 = \frac{2TP}{2TP + FP + FN}$$

Balanced Accuracy (BA), es la media entre Sensibilidad y especificidad:

$$BA = \frac{TPR + TNR}{2}$$

Curva ROC, es la representación grafica que pone en relación sensibilidad y especificidad, de esta forma la curva ROC permite de valorar los modelos en base al área que está bajo su curva (AUC – Area Under Curve)). Mayor será el área bajo la curva mejor se considera el modelo.

Interpretación del modelo

El objetivo de un modelo de ML es alcanzar una alta predicción y las métricas del apartado anterior nos permite valorar el modelo. Pero tenemos una reducida interpretabilidad del modelo. La tarea se hace aún más difícil cuando los modelos tienen un alto número de variables. Generalmente podemos considerar que al aumentar la complejidad del modelo tiende a disminuir su interpretabilidad.

El estudio del efecto de las variables (explicativas), si son estadísticamente significativas, medir de alguna forma la importancia de una determinada variable en un modelo resulta ser algo más difícil en comparación a las comunes Regresiones. Hay modelos de ML que tiene una black-box, o la misma multicolinealidad puede dificultar la valoración de cada variable.

Valorar la importancia de las variables en cada modelo resulta ser una parte fundamental de este estudio, para poder detectar cuál de las variables analizadas afectan mayoritariamente a la severidad del Covid. [fishcer 2019] XXXXX

Los modelos de ML utilizado en este estudio son métodos de aprendizaje supervisado, y permiten valorar la importancia de las variables. Esta funcion `varImp()` esta implementada en el paquete `caret()`.

Analisis Preparatorio, Exploratorio y Estadístico

La preparacion del dataset se puede encontrar en GitHub al enlace

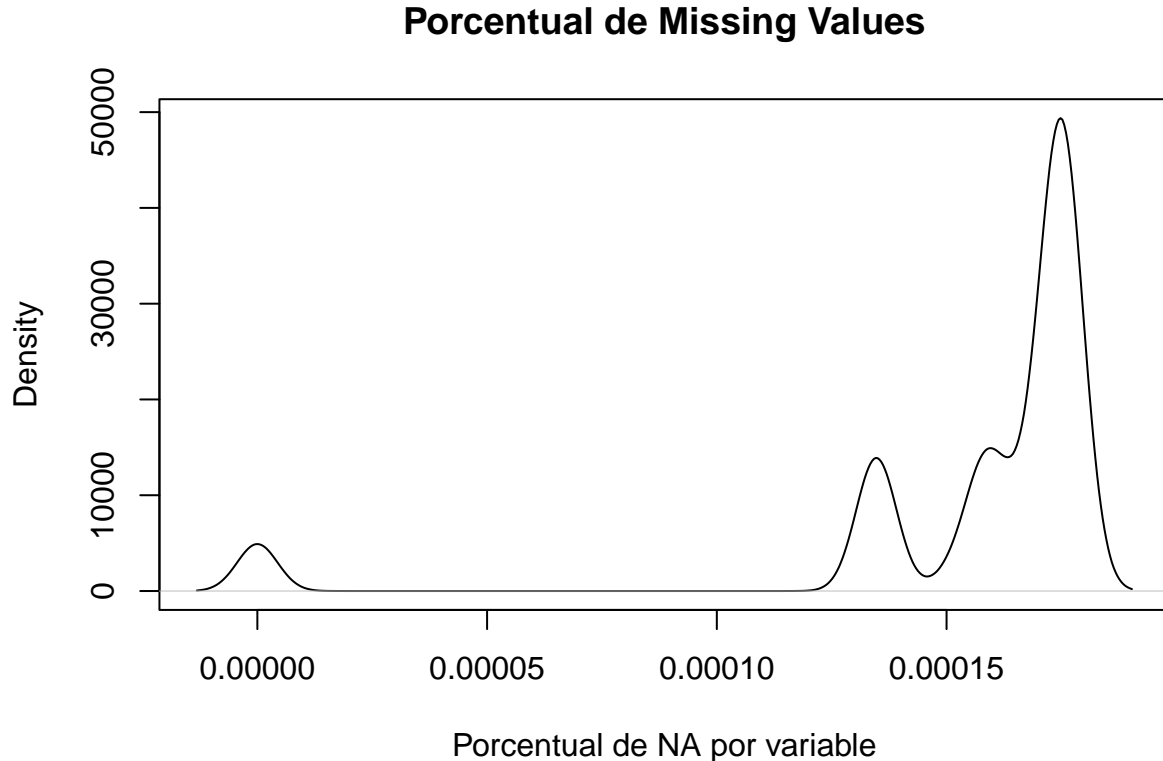
https://github.com/carloalbertobis/ML_COVID , hay diferente carpetas:

- En script_data_analysis estan los steps de preparacion y de la creacion de las tablas de este apartado
- En script_machine_learning estan los steps necesarios para desarrollar los modelos
- En output_einstein todos los outputs que se han generado
- En memoria estan los steps para producir el file en pdf
- El file to_run.R recoge todos los steps que se acaban de mencionar

Preparacion de los datos

Antes de crear los modelos se ha hecho preparacion de los datos, para que se puedan utilizar en los steps de ML:

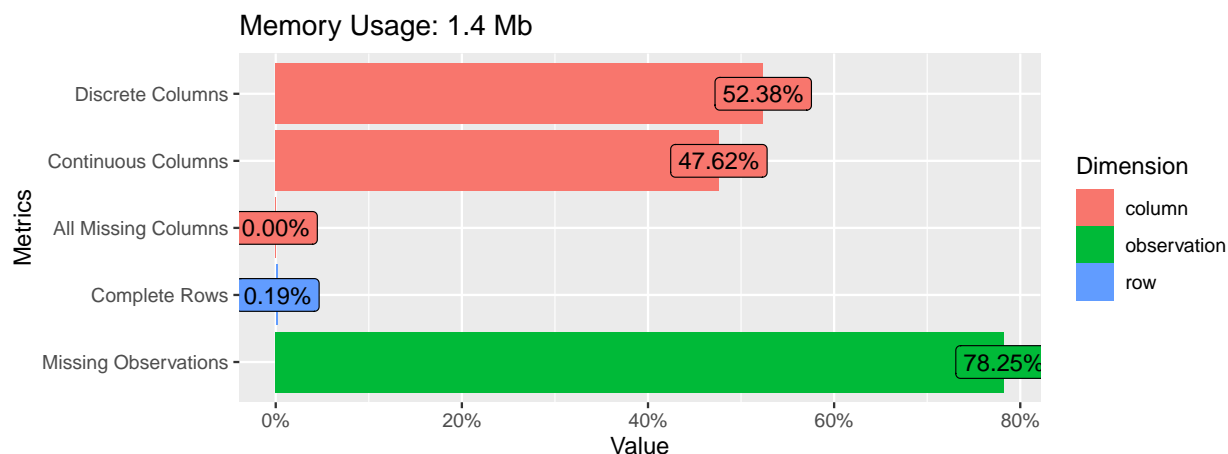
- Las variables se han estandarizados y centrado previamente, por al razon que algunos algortimos funcionan mejor con los datos escalados.
- Se han removido errores, o caracteres especiales, simbolos etc.
- Se han convertido columnas de **character** a **factor**, **logical** a **factor**, o algunas variables a numerical.
- Se ha creado el **output**, la variable dependiente **care** desde las cuatro variables dummy sobre la severidad covid precedentemente presentes en el dataset original.



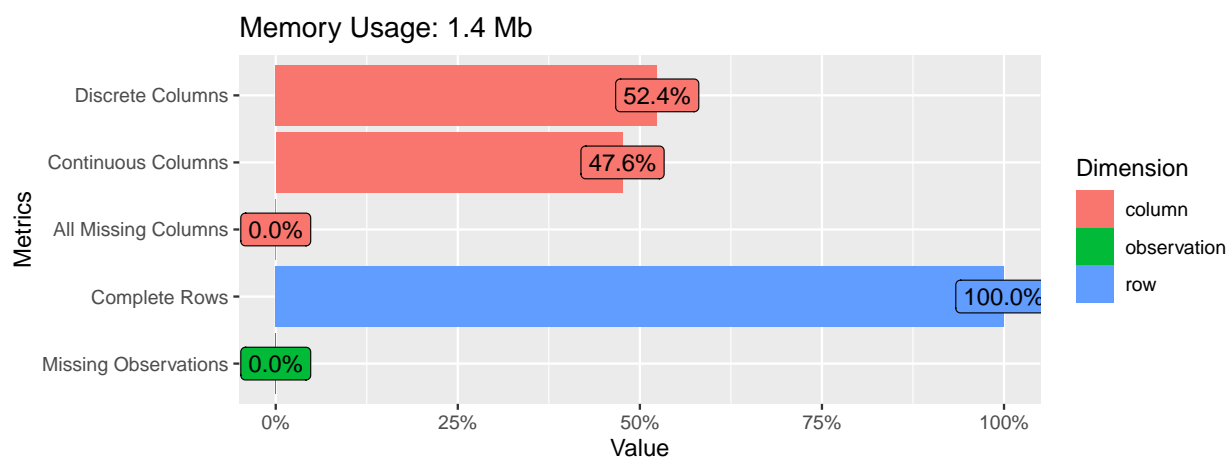
El dataset original, tiene un alto numero de observaciones y variables con **missing values**. Desde el dataset original se ha actuado de dos maneras diferentes:

- En el primer caso se han eliminado las variables que tiene una porcentual de 95% de datos faltantes. Y se imputan lo datos faltantes con la funcion **rflmpute()**. Hay que mencionar que no se han imputado valores a casos con datos faltantes de COVID y severidad.
- En el otro caso se han filtrado las variables con pocos valores, y se han quitado las observaciones que continuaban en tener datos faltantes, de esta forma el dataset se ha notablemente reducido por numero de observaciones y variables. Pero en esto caso no hay datos imputados y tampoco faltantes.

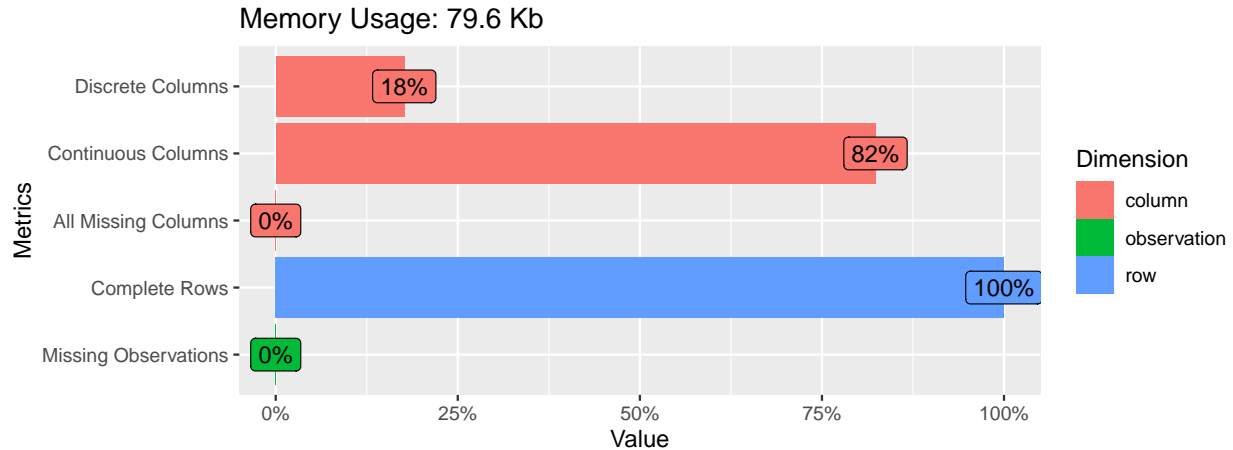
Como se puede notar en la tabla aqui abajo, como es normal hay todavia datos faltantes despues que se ha filtrado con el umbral del 95%.



Estos es lo que se obtiene del dataset despues que se ha imputato los datos faltantes:



Como se puede ver la segunda opcion es no tener datos faltantes, opcion que se podria tener en cuenta si el numero de observacione fuese suficientemente grande, y sin perder demasiado variables. La proporcion de la tipologia de columnas cambia en comparacion al modelo anterior, porque se han quitadop variables:



Las variables del dataset original estan en el **Anexo - Variables**. Las variables que quedan en los dos dataset, estan resumida en las dos tablas estadisticas en **Anexo 2 - Tablas Estadisticas 1** para el primer caso (datos imputados), y **Anexo 3 - Tablas Estadisticas 2** para el segundo caso.

Primer caso - Datos Imputados

En las dos tablas se pueden ver los casos positivos y negativos separado por cuantiles de edad. Como Se puede notar el dataset original se ha utilizado la poblacion y dividida por 20 grupos de tamaño igual.

El total del dataset es de $n = 5644$. repartido entre casos positivos $n = 558$ y negativos $n = 5086$.

	negative (N=5086)	positive (N=558)	Total (N=5644)
age_quantile			
- 0	302 (5.9%)	1 (0.2%)	303 (5.4%)
- 1	228 (4.5%)	1 (0.2%)	229 (4.1%)
- 2	310 (6.1%)	5 (0.9%)	315 (5.6%)
- 3	235 (4.6%)	17 (3.0%)	252 (4.5%)
- 4	319 (6.3%)	47 (8.4%)	366 (6.5%)
- 5	252 (5.0%)	44 (7.9%)	296 (5.2%)
- 6	251 (4.9%)	33 (5.9%)	284 (5.0%)
- 7	290 (5.7%)	30 (5.4%)	320 (5.7%)
- 8	142 (2.8%)	27 (4.8%)	169 (3.0%)
- 9	317 (6.2%)	44 (7.9%)	361 (6.4%)
- 10	164 (3.2%)	27 (4.8%)	191 (3.4%)
- 11	342 (6.7%)	40 (7.2%)	382 (6.8%)
- 12	175 (3.4%)	27 (4.8%)	202 (3.6%)
- 13	285 (5.6%)	30 (5.4%)	315 (5.6%)
- 14	264 (5.2%)	39 (7.0%)	303 (5.4%)
- 15	239 (4.7%)	35 (6.3%)	274 (4.9%)
- 16	254 (5.0%)	29 (5.2%)	283 (5.0%)
- 17	246 (4.8%)	19 (3.4%)	265 (4.7%)
- 18	233 (4.6%)	26 (4.7%)	259 (4.6%)
- 19	238 (4.7%)	37 (6.6%)	275 (4.9%)

En esta tablas relaciona la severidad covid con los cuantiles de edad, Podemos notar que la severidad covid, se puede notar como la severidad tiende a estar en los cuantiles mas altos.

	discharged (N=5474)	regular_ward (N=79)	semi_intensive (N=50)	intensive_care_unit (N=41)	Total (N=5644)
age_quantile					
- 0	292 (5.3%)	4 (5.1%)	3 (6.0%)	4 (9.8%)	303 (5.4%)
- 1	224 (4.1%)	1 (1.3%)	2 (4.0%)	2 (4.9%)	229 (4.1%)
- 2	311 (5.7%)	3 (3.8%)	1 (2.0%)	0 (0.0%)	315 (5.6%)
- 3	250 (4.6%)	1 (1.3%)	1 (2.0%)	0 (0.0%)	252 (4.5%)
- 4	363 (6.6%)	2 (2.5%)	1 (2.0%)	0 (0.0%)	366 (6.5%)
- 5	292 (5.3%)	2 (2.5%)	1 (2.0%)	1 (2.4%)	296 (5.2%)
- 6	281 (5.1%)	1 (1.3%)	1 (2.0%)	1 (2.4%)	284 (5.0%)
- 7	315 (5.8%)	3 (3.8%)	1 (2.0%)	1 (2.4%)	320 (5.7%)
- 8	164 (3.0%)	3 (3.8%)	1 (2.0%)	1 (2.4%)	169 (3.0%)
- 9	358 (6.5%)	1 (1.3%)	1 (2.0%)	1 (2.4%)	361 (6.4%)
- 10	186 (3.4%)	3 (3.8%)	1 (2.0%)	1 (2.4%)	191 (3.4%)
- 11	373 (6.8%)	4 (5.1%)	2 (4.0%)	3 (7.3%)	382 (6.8%)
- 12	192 (3.5%)	5 (6.3%)	2 (4.0%)	3 (7.3%)	202 (3.6%)
- 13	304 (5.6%)	6 (7.6%)	4 (8.0%)	1 (2.4%)	315 (5.6%)
- 14	292 (5.3%)	5 (6.3%)	2 (4.0%)	4 (9.8%)	303 (5.4%)
- 15	261 (4.8%)	6 (7.6%)	4 (8.0%)	3 (7.3%)	274 (4.9%)
- 16	275 (5.0%)	4 (5.1%)	2 (4.0%)	2 (4.9%)	283 (5.0%)
- 17	254 (4.6%)	8 (10.1%)	2 (4.0%)	1 (2.4%)	265 (4.7%)
- 18	243 (4.4%)	7 (8.9%)	4 (8.0%)	5 (12.2%)	259 (4.6%)
- 19	244 (4.5%)	10 (12.7%)	14 (28.0%)	7 (17.1%)	275 (4.9%)

Segundo caso

En este caso se han eliminado todos los missing values reduciendo el dataset a solamente n = 598, repartidos en casos negativo n = 517 y de positivos n = 81.

Tambien en este dataset, a pesar del menor numero de observaciones los cuantiles mas altos tengan mas casos de positividad.

	negative (N=517)	positive (N=81)	Total (N=598)
age_quantile			
- 0	11 (2.1%)	0 (0.0%)	11 (1.8%)
- 1	8 (1.5%)	0 (0.0%)	8 (1.3%)
- 2	18 (3.5%)	1 (1.2%)	19 (3.2%)
- 3	18 (3.5%)	0 (0.0%)	18 (3.0%)
- 4	27 (5.2%)	1 (1.2%)	28 (4.7%)
- 5	17 (3.3%)	5 (6.2%)	22 (3.7%)
- 6	27 (5.2%)	1 (1.2%)	28 (4.7%)
- 7	23 (4.4%)	3 (3.7%)	26 (4.3%)
- 8	13 (2.5%)	2 (2.5%)	15 (2.5%)
- 9	41 (7.9%)	1 (1.2%)	42 (7.0%)
- 10	20 (3.9%)	4 (4.9%)	24 (4.0%)
- 11	37 (7.2%)	5 (6.2%)	42 (7.0%)
- 12	17 (3.3%)	9 (11.1%)	26 (4.3%)
- 13	38 (7.4%)	6 (7.4%)	44 (7.4%)
- 14	29 (5.6%)	9 (11.1%)	38 (6.4%)
- 15	29 (5.6%)	5 (6.2%)	34 (5.7%)
- 16	31 (6.0%)	3 (3.7%)	34 (5.7%)
- 17	31 (6.0%)	7 (8.6%)	38 (6.4%)
- 18	31 (6.0%)	10 (12.3%)	41 (6.9%)

	negative (N=517)	positive (N=81)	Total (N=598)
- 19	51 (9.9%)	9 (11.1%)	60 (10.0%)

Tambien en esta tabla se puede notar un patron parecido a la las tabla del primer caso, donde la severidad tiende a las franjas de poblacion mas altas.

	discharged (N=470)	regular_ward (N=57)	semi_intensive (N=42)	intensive_care_unit (N=29)	Total (N=598)
age_quantile					
- 0	9 (1.9%)	0 (0.0%)	1 (2.4%)	1 (3.4%)	11 (1.8%)
- 1	5 (1.1%)	0 (0.0%)	2 (4.8%)	1 (3.4%)	8 (1.3%)
- 2	16 (3.4%)	2 (3.5%)	1 (2.4%)	0 (0.0%)	19 (3.2%)
- 3	16 (3.4%)	1 (1.8%)	1 (2.4%)	0 (0.0%)	18 (3.0%)
- 4	25 (5.3%)	2 (3.5%)	1 (2.4%)	0 (0.0%)	28 (4.7%)
- 5	19 (4.0%)	1 (1.8%)	1 (2.4%)	1 (3.4%)	22 (3.7%)
- 6	27 (5.7%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	1 (3.4%)	28 (4.7%)
- 7	24 (5.1%)	1 (1.8%)	1 (2.4%)	0 (0.0%)	26 (4.3%)
- 8	13 (2.8%)	1 (1.8%)	0 (0.0%)	1 (3.4%)	15 (2.5%)
- 9	39 (8.3%)	1 (1.8%)	1 (2.4%)	1 (3.4%)	42 (7.0%)
- 10	20 (4.3%)	3 (5.3%)	1 (2.4%)	0 (0.0%)	24 (4.0%)
- 11	37 (7.9%)	2 (3.5%)	2 (4.8%)	1 (3.4%)	42 (7.0%)
- 12	19 (4.0%)	4 (7.0%)	1 (2.4%)	2 (6.9%)	26 (4.3%)
- 13	36 (7.7%)	5 (8.8%)	3 (7.1%)	0 (0.0%)	44 (7.4%)
- 14	28 (6.0%)	5 (8.8%)	1 (2.4%)	4 (13.8%)	38 (6.4%)
- 15	25 (5.3%)	4 (7.0%)	4 (9.5%)	1 (3.4%)	34 (5.7%)
- 16	28 (6.0%)	2 (3.5%)	2 (4.8%)	2 (6.9%)	34 (5.7%)
- 17	29 (6.2%)	7 (12.3%)	1 (2.4%)	1 (3.4%)	38 (6.4%)
- 18	26 (5.5%)	6 (10.5%)	4 (9.5%)	5 (17.2%)	41 (6.9%)
- 19	29 (6.2%)	10 (17.5%)	14 (33.3%)	7 (24.1%)	60 (10.0%)

Resultados

Comparación Modelos

Como explicado en los capítulos anteriores, la precisión de predicción y el error de predicción, nos lo proporciona la matrix de confusión, en la cual diferencia los casos entre Verdaderos, Falsos, Falsos Positivos y Falsos Negativos.

En esta primera tabla se comparan los diferentes algoritmos que se han descrito anteriormente. Estos primeros resultados son con la base de datos en la cual no se han imputado valores a los missing values:

	OLR	RF	SVM	NB	KNN	NNET	GLMNET	xgbTree
AUC	0.650	0.738	0.714	0.687	0.635	0.650	0.665	0.701
Accuracy	0.771	0.765	0.771	0.771	0.777	0.765	0.777	0.765
Kappa	0.305	0.253	0.145	0.033	0.200	0.328	0.262	0.297
AccuracyLower	0.702	0.696	0.702	0.702	0.708	0.696	0.708	0.696
AccuracyUpper	0.830	0.825	0.830	0.830	0.835	0.825	0.835	0.825
AccuracyNull	0.771	0.771	0.771	0.771	0.771	0.771	0.771	0.771
AccuracyPValue	0.542	0.611	0.542	0.542	0.471	0.611	0.471	0.611

En la siguiente tabla se muestran los resultados que se han calculado con la base de datos con los datos imputados.

	OLR	RF	SVM	NB	KNN	NNET	GLMNET	xgbTree
AUC	0.731	0.727	0.728	0.733	0.677	0.700	0.731	0.750
Accuracy	0.970	0.974	0.971	0.944	0.973	0.972	0.972	0.972
Kappa	0.196	0.381	0.149	0.301	0.178	0.000	0.223	0.351
AccuracyLower	0.961	0.965	0.962	0.932	0.965	0.963	0.963	0.963
AccuracyUpper	0.977	0.981	0.979	0.955	0.981	0.979	0.980	0.979
AccuracyNull	0.972	0.972	0.972	0.972	0.972	0.972	0.972	0.972
AccuracyPValue	0.702	0.310	0.595	1.000	0.365	0.538	0.480	0.538

Después comparar varios modelos de Machine Learning, podemos concluir que los diferentes modelos son en parte similares. En general todos los modelos tienen buenos resultados donde más es mejor: Todos los modelos tienen un valor medio alto de AUC.

Se puede conseguir que los modelos tienen una buena capacidad predictora. Entre los resultados de las dos bases de datos hay ligeras diferencias, con la con la base de datos imputados, se puede alcanzar niveles mas altos de AUC, un mayor numero de observaciones permite un mejor entrenamiento. Hay que considerar que imputar datos través de algún algoritmo hace que el dataset sea de más fácil previsión.

En la primera tabla los únicos tres algoritmos que tienen un $AUC > 0.7$ son:

- Random Forest
- Support Vector Machine
- XGBoost

El modelo que preforma mejor en la primera tabla es Random Forest. En la segunda tabla todos los algoritmos tienen valores de $AUC > 0.7$ excepto KNN. El modelo que performa mejor es XGBoost.

En el Anexo Sensivity / Specifity y Anexo Sensivity / Specifity Imputed se pueden encontrar los valore se sensivity y specificity de los modelos analizados

En este estudio no se ha considerado en el análisis el tiempo computacional de los diferentes algoritmos, hace falta destacar que el algoritmo que ha tardado mas con diferencia ha sido XGBoost, tardando desde las 5 a las 20 veces más que los otros. No todos los algoritmos se calculan en el mismo tiempo, y en el caso de entrenar un modelo con un dataset más grande hay el riesgo que los tiempo de entrenamiento sean exponencialmente mas grandes. Y no necesariamente es solo una cuestión del tiempo, en determinados casos los recursos hardware no sean suficientes.

Variables

No se ha utilizado PCA (Principal Componen Analysis) que una herramienta utilizada para reducir la dimensionalidad, para tener mayor control sobre las variables, y poder definir cual variables son las más importantes en el análisis. Que es un punto importante de este estudio.

La importancia de las variables esta descrita en la tabla aquí abajo por cada modelo. Nos limitamos a los modelos mas performantes en los dos dataset (Random Forest, SVM, XGBoost). Además se ha añadido a la tabla OLR, por la razón que las regresiones son probablemente la metodología mas común. Los resultados deberian tomarse con cuidado debido a las varias limitaciones implicadas en el estudio con la funcion varImp().

En esta dos primeras tablas analizamos el dataset reducido.

OLR	Value	RF	Value	XGB	Value
cov_resultpositive	100.000000	Lymphocytes	100.00000	leukocytes	100.00000
red_blood_cells	46.600341	leukocytes	96.16817	hematocrit	96.68796
platelets	13.498597	eosinophils	93.46124	Lymphocytes	74.63920
RDW	13.103501	hematocrit	93.10146	platelets	71.49039
leukocytes	10.876179	RDW	78.91572	eosinophils	68.96084
mean_corp_volume	2.364199	platelets	67.70764	cov_resultpositive	67.52220

Hay variables significativas presentes en todos los modelos. En general hay una respuesta de anticuerpos en todos los modelos.

SVM divide el resultado por cada categoría de la variable dependiente. Se puede definir las variables mas importantes, pero depende de la categoría de la variable dependiente, de esta forma es mas difícil determinar cuales son las variables más importante.

SVM	discharged	regular_ward	semi_intensive
basophils	63.89038	100.00000	57.83234
hematocrit	86.70656	61.01197	48.94274
eosinophils	52.60568	87.13832	52.60568
hemoglobin	85.67033	49.02341	51.75778
age_quantile	75.19293	66.95588	53.23045
platelets	78.38372	78.38372	78.38372
Lymphocytes	50.32349	81.29515	48.36974
red_blood_cells	76.63213	46.33689	55.01730
leukocytes	44.12532	71.32147	57.83234
cov_result	60.71521	60.71521	60.71521

En esta dos tablas analizamos el dataset con datos imputados.

OLR	Value	RF	Value	XGB	Value
resp_syncytial_virusnot_detected	100.00000	C_reative_protein	100.00000	C_reative_protein	100.00000
cov_resultpositive	94.58694	creatinine	27.01253	potassium	60.27441

OLR	Value	RF	Value	XGB	Value
Influenza_A_rapid_testpositive	77.88678	potassium	26.20425	RDW	46.76563
neutrophils	76.86048	hematocrit	24.17278	urea	43.87435
urea	76.84299	eosinophils	23.28743	creatinine	43.73851
C_reactive_protein	70.77612	urea	22.03771	platelets	38.70637
creatinine	43.10513	RDW	21.63904	hematocrit	32.21451

En este caso se han eliminado menos variables, destaca la presencia de otras variables esto no permite una comparación directa entre los dos dataset. Analizando, pero estas últimas dos tablas, excluido SVM, los otros algoritmos no tienen una diferencia tan marcada sobre las variables estadísticamente significativas.

SVM	discharged	regular_ward	semi_intensive
chlamydomphila_pneum	95.33845	99.38080	91.76046
parainfluenza_1	95.95764	100.00000	87.35526
C_reactive_protein	87.89968	95.43731	87.89968
coronavirusOC43	93.79046	87.95150	80.16368
sodium	79.49463	92.88829	79.49463
influenza_A	89.02805	82.73994	79.89278
Strepto_A	84.26912	84.26912	84.26912
inf_A_H1N1_2009	81.82522	84.52012	81.67296
parainfluenza_3	83.10700	81.75955	81.50833
bordetella_pertussis	83.80828	83.35913	73.22659

Detectar COVID

En este apartado se analiza la positividad COVI en relación con los valores clínicos. La variable dependiente en este caso es **cov_results**. Se ha elegido Random Forest como algoritmo para este apartado, por los niveles de AUC buenos con los dos datasets.

De la misma forma de lo que se ha analizado en los apartados anteriores, se podría diagnosticar una positividad de COVID en un caso dudoso basándose en los análisis clínicos. Pero no sería una manera eficiente para detectar el COVID por varias razones, los análisis clínicos implican una extracción de tejido más invasivo, el coste del análisis, y el tiempo. Además, se detectaría un probable caso COVID, pero podría ser cualquier otro tipo de infección.

Test	RF COVID Results	RF COVID Results Imp
AUC	0.800	0.907
Accuracy	0.838	0.922
Kappa	0.135	0.435
AccuracyLower	0.776	0.908
AccuracyUpper	0.889	0.934
AccuracyNull	0.866	0.901
AccuracyPValue	0.884	0.002

En la misma tabla analizamos las dos modelos. En base a los resultados obtenidos, hay una excelente capacidad de predicción del COVID en base a los análisis clínicos en los dataset. Como explicado anteriormente esto no significa que sea eficiente detectar el COVID con los análisis clínicos. Un AUC alto significa que has correlación entre análisis clínicos y COVID. En un periodo de COVID, los valores pueden ser reconducidos a la infección de virus, en otro periodos lejos de la pandemia, mismo resultados podría ser relacionado con otras enfermedades, y no necesariamente el COVID.

En el Anexo Sensivity / Specifity COVID y Anexo Sensivity / Specifity Imputed se pueden encontrar los valores de sensivity y specificity de los modelos analizados, respectivamente reducido e imputado.

Limitaciones

La primera limitación, es que en todos los modelos tiene un número reducido de observaciones. La diferencia entre los datos EHR y los datos de ensayos clínicos es que los datos de los ensayos clínicos suelen ser más específicos y completos. En general, pero tienen un número limitado de observaciones.

Se analiza la gravedad de COVID-19 pero el modelo tiene sus limitaciones. La primera es que no diferencia las características de las variantes de COVID-19, y la gravedad por variante. Algunas variantes son más relacionadas a la gravedad de la enfermedad, resulta imposible, pero definir la variante de cada caso. Analizar las variantes sería complicado, la forma más sencilla sería estratificar por los periodos y determinar la variante más común en cada periodo.

Otra limitación del estudio es que los análisis por el grupo de positivos se han hecho cuando las personas ya eran positivas, y probablemente unos valores se han modificado debido a la positividad. Esto significa que los análisis no describen la condición previa a la enfermedad, si no la respuesta en caso de enfermedad, de esta forma se puede predecir en parte si la persona en base a la respuesta va a tener o menos una cierta gravedad.

Conclusiones

Se ha demostrado en este trabajo que es posible predecir la severidad de COVID basando en los resultados analíticos. Los modelos entrenados nos permiten predecir la severidad de las personas COVID negativas en caso de ser contagiadas. En este caso se han aplicado los modelos de Machine Learning al COVID, la potencialidad de estos modelos es que configurados en manera eficiente se pueden aplicar a diferentes enfermedades.

El paso sucesivo sería aplicar los modelos mejores de este estudio a la base de datos SIDIAP, para tener un estudio con un número de observaciones alto. El step siguiente sería poder estudiar otras enfermedades con metodologías similares.

Sobre la posibilidad de aplicar algoritmos de Machine Learning, no solo para estudios o en investigaciones, si no también en el sector sanitario, es cuestión de tiempo. Como en muchos otros campos que ya se está utilizando intensamente, también en el sector sanitario se debería aceptar los algoritmos de Machine Learning como herramienta fundamental para las diagnósticos, para facilitar el trabajo de los mismos sanitarios, sería en parte equivocado ver estas herramientas como algo que va en contra del personal sanitario, que continuara siempre en tener un papel fundamental en la sanidad pública y privada.

Anexo - Tablas Estadísticas 1

	negative (N=5086)	positive (N=558)	Total (N=5644)
hematocrit			
- Mean (SD)	0.333 (0.370)	0.298 (0.372)	0.330 (0.370)
- Median (Q1, Q3)	0.369 (0.305, 0.423)	0.309 (0.211, 0.455)	0.367 (0.295, 0.424)
- Min - Max	-4.501 - 2.663	-1.778 - 1.656	-4.501 - 2.663
hemoglobin			
- Mean (SD)	0.330 (0.371)	0.302 (0.387)	0.327 (0.372)
- Median (Q1, Q3)	0.363 (0.301, 0.423)	0.319 (0.198, 0.481)	0.361 (0.291, 0.426)
- Min - Max	-4.346 - 2.672	-1.651 - 1.920	-4.346 - 2.672
platelets			
- Mean (SD)	0.131 (0.326)	-0.031 (0.397)	0.115 (0.337)
- Median (Q1, Q3)	0.138 (0.096, 0.177)	0.095 (-0.063, 0.171)	0.135 (0.089, 0.176)
- Min - Max	-2.552 - 9.532	-2.063 - 1.756	-2.552 - 9.532
mean_platelet_volume			
- Mean (SD)	0.149 (0.340)	0.168 (0.365)	0.151 (0.342)
- Median (Q1, Q3)	0.182 (0.113, 0.232)	0.163 (0.028, 0.263)	0.181 (0.107, 0.234)
- Min - Max	-2.458 - 3.713	-1.897 - 2.703	-2.458 - 3.713
red_blood_cells			
- Mean (SD)	0.209 (0.361)	0.191 (0.440)	0.207 (0.369)
- Median (Q1, Q3)	0.216 (0.149, 0.289)	0.155 (0.038, 0.335)	0.213 (0.141, 0.292)
- Min - Max	-3.971 - 3.646	-1.661 - 2.976	-3.971 - 3.646
Lymphocytes			
- Mean (SD)	0.285 (0.359)	0.329 (0.402)	0.289 (0.364)
- Median (Q1, Q3)	0.315 (0.264, 0.373)	0.379 (0.268, 0.503)	0.318 (0.264, 0.382)
- Min - Max	-1.865 - 3.764	-1.694 - 2.152	-1.865 - 3.764
mean_corp_hemo_conc			
- Mean (SD)	0.102 (0.344)	0.106 (0.377)	0.103 (0.348)
- Median (Q1, Q3)	0.107 (0.047, 0.178)	0.116 (-0.007, 0.228)	0.107 (0.045, 0.183)
- Min - Max	-5.432 - 3.331	-3.440 - 1.937	-5.432 - 3.331
leukocytes			
- Mean (SD)	-0.136 (0.336)	-0.304 (0.323)	-0.153 (0.339)
- Median (Q1, Q3)	-0.165 (-0.206, -0.129)	-0.256 (-0.340, -0.178)	-0.169 (-0.216, -0.132)
- Min - Max	-2.020 - 4.522	-1.478 - 3.609	-2.020 - 4.522
basophils			
- Mean (SD)	0.268 (0.358)	0.236 (0.363)	0.265 (0.358)
- Median (Q1, Q3)	0.284 (0.233, 0.341)	0.285 (0.169, 0.392)	0.284 (0.229, 0.347)
- Min - Max	-1.140 - 11.078	-1.140 - 2.220	-1.140 - 11.078
mean_corp_hemoglobin			
- Mean (SD)	0.171 (0.333)	0.169 (0.437)	0.171 (0.345)
- Median (Q1, Q3)	0.203 (0.147, 0.247)	0.236 (0.132, 0.313)	0.204 (0.145, 0.252)
- Min - Max	-5.938 - 4.099	-5.519 - 1.590	-5.938 - 4.099
eosinophils			
- Mean (SD)	0.190 (0.356)	0.124 (0.335)	0.184 (0.354)
- Median (Q1, Q3)	0.179 (0.118, 0.255)	0.207 (0.080, 0.299)	0.180 (0.116, 0.261)
- Min - Max	-0.836 - 8.351	-0.836 - 1.061	-0.836 - 8.351
mean_corp_volume			
- Mean (SD)	0.142 (0.336)	0.138 (0.445)	0.141 (0.348)
- Median (Q1, Q3)	0.175 (0.098, 0.227)	0.217 (0.065, 0.301)	0.177 (0.094, 0.233)
- Min - Max	-4.581 - 3.411	-5.102 - 2.109	-5.102 - 3.411
monocytes			
- Mean (SD)	-0.117 (0.315)	0.082 (0.490)	-0.097 (0.341)

	negative (N=5086)	positive (N=558)	Total (N=5644)
- Median (Q1, Q3)	-0.137 (-0.184, -0.072)	0.012 (-0.110, 0.128)	-0.130 (-0.181, -0.050)
- Min - Max	-2.164 - 4.533	-2.059 - 3.640	-2.164 - 4.533
RDW			
- Mean (SD)	-0.318 (0.350)	-0.281 (0.383)	-0.314 (0.354)
- Median (Q1, Q3)	-0.370 (-0.401, -0.331)	-0.328 (-0.375, -0.261)	-0.368 (-0.399, -0.324)
- Min - Max	-1.598 - 6.982	-1.333 - 4.948	-1.598 - 6.982
resp_syncytial_virus			
- detected	227 (4.5%)	66 (11.8%)	293 (5.2%)
- not_detected	4859 (95.5%)	492 (88.2%)	5351 (94.8%)
influenza_A			
- detected	3652 (71.8%)	256 (45.9%)	3908 (69.2%)
- not_detected	1434 (28.2%)	302 (54.1%)	1736 (30.8%)
influenza_B			
- detected	501 (9.9%)	218 (39.1%)	719 (12.7%)
- not_detected	4585 (90.1%)	340 (60.9%)	4925 (87.3%)
parainfluenza_1			
- detected	3614 (71.1%)	353 (63.3%)	3967 (70.3%)
- not_detected	1472 (28.9%)	205 (36.7%)	1677 (29.7%)
coronavirusNL63			
- detected	502 (9.9%)	207 (37.1%)	709 (12.6%)
- not_detected	4584 (90.1%)	351 (62.9%)	4935 (87.4%)
rhinovirus_enterovirus			
- detected	1054 (20.7%)	103 (18.5%)	1157 (20.5%)
- not_detected	4032 (79.3%)	455 (81.5%)	4487 (79.5%)
coronavirus_HKU1			
- detected	500 (9.8%)	166 (29.7%)	666 (11.8%)
- not_detected	4586 (90.2%)	392 (70.3%)	4978 (88.2%)
parainfluenza_3			
- detected	3495 (68.7%)	188 (33.7%)	3683 (65.3%)
- not_detected	1591 (31.3%)	370 (66.3%)	1961 (34.7%)
chlamydomphila_pneum			
- detected	3628 (71.3%)	309 (55.4%)	3937 (69.8%)
- not_detected	1458 (28.7%)	249 (44.6%)	1707 (30.2%)
adenovirus			
- detected	223 (4.4%)	73 (13.1%)	296 (5.2%)
- not_detected	4863 (95.6%)	485 (86.9%)	5348 (94.8%)
parainfluenza_4			
- detected	1722 (33.9%)	112 (20.1%)	1834 (32.5%)
- not_detected	3364 (66.1%)	446 (79.9%)	3810 (67.5%)
coronavirus229E			
- detected	360 (7.1%)	160 (28.7%)	520 (9.2%)
- not_detected	4726 (92.9%)	398 (71.3%)	5124 (90.8%)
coronavirusOC43			
- detected	3601 (70.8%)	288 (51.6%)	3889 (68.9%)
- not_detected	1485 (29.2%)	270 (48.4%)	1755 (31.1%)
inf_A_H1N1_2009			
- detected	3719 (73.1%)	247 (44.3%)	3966 (70.3%)
- not_detected	1367 (26.9%)	311 (55.7%)	1678 (29.7%)
bordetella_pertussis			
- detected	2982 (58.6%)	354 (63.4%)	3336 (59.1%)
- not_detected	2104 (41.4%)	204 (36.6%)	2308 (40.9%)
metapneumovirus			

	negative (N=5086)	positive (N=558)	Total (N=5644)
- detected	327 (6.4%)	57 (10.2%)	384 (6.8%)
- not_detected	4759 (93.6%)	501 (89.8%)	5260 (93.2%)
neutrophils			
- Mean (SD)	-0.232 (0.347)	-0.332 (0.408)	-0.242 (0.355)
- Median (Q1, Q3)	-0.253 (-0.325, -0.196)	-0.366 (-0.512, -0.233)	-0.258 (-0.343, -0.198)
- Min - Max	-3.340 - 2.536	-2.233 - 1.889	-3.340 - 2.536
urea			
- Mean (SD)	-0.004 (0.279)	-0.047 (0.238)	-0.008 (0.275)
- Median (Q1, Q3)	-0.009 (-0.058, 0.043)	-0.038 (-0.111, 0.036)	-0.011 (-0.063, 0.043)
- Min - Max	-1.630 - 11.247	-1.407 - 1.942	-1.630 - 11.247
C_reactive_protein			
- Mean (SD)	-0.380 (0.319)	-0.320 (0.388)	-0.374 (0.327)
- Median (Q1, Q3)	-0.426 (-0.439, -0.409)	-0.408 (-0.431, -0.362)	-0.425 (-0.439, -0.406)
- Min - Max	-0.535 - 8.027	-0.533 - 3.510	-0.535 - 8.027
creatinine			
- Mean (SD)	0.038 (0.294)	0.032 (0.296)	0.038 (0.294)
- Median (Q1, Q3)	0.042 (-0.019, 0.105)	0.017 (-0.075, 0.135)	0.041 (-0.024, 0.107)
- Min - Max	-2.390 - 5.054	-1.666 - 1.952	-2.390 - 5.054
potassium			
- Mean (SD)	0.243 (0.297)	0.133 (0.340)	0.232 (0.303)
- Median (Q1, Q3)	0.279 (0.166, 0.357)	0.176 (0.033, 0.301)	0.272 (0.150, 0.353)
- Min - Max	-2.283 - 3.402	-2.036 - 1.672	-2.283 - 3.402
sodium			
- Mean (SD)	0.454 (0.311)	0.312 (0.372)	0.440 (0.320)
- Median (Q1, Q3)	0.528 (0.399, 0.584)	0.380 (0.257, 0.484)	0.518 (0.366, 0.579)
- Min - Max	-5.247 - 4.097	-2.372 - 1.941	-5.247 - 4.097
Influenza_B_rapid_test			
- negative	1473 (29.0%)	265 (47.5%)	1738 (30.8%)
- positive	3613 (71.0%)	293 (52.5%)	3906 (69.2%)
Influenza_A_rapid_test			
- negative	1196 (23.5%)	328 (58.8%)	1524 (27.0%)
- positive	3890 (76.5%)	230 (41.2%)	4120 (73.0%)
Strepto_A			
- negative	1277 (25.1%)	214 (38.4%)	1491 (26.4%)
- positive	3809 (74.9%)	344 (61.6%)	4153 (73.6%)

Anexo - Tablas Estadísticas 2

	negative (N=517)	positive (N=81)	Total (N=598)
hematocrit			
- Mean (SD)	-0.038 (1.025)	0.262 (0.802)	0.003 (1.002)
- Median (Q1, Q3)	0.031 (-0.587, 0.694)	0.397 (-0.427, 0.946)	0.053 (-0.519, 0.717)
- Min - Max	-4.501 - 2.663	-1.778 - 1.656	-4.501 - 2.663
hemoglobin			
- Mean (SD)	-0.039 (1.020)	0.289 (0.818)	0.006 (1.001)
- Median (Q1, Q3)	-0.022 (-0.586, 0.667)	0.416 (-0.336, 0.917)	0.040 (-0.524, 0.730)
- Min - Max	-4.346 - 2.672	-1.651 - 1.920	-4.346 - 2.672
platelets			
- Mean (SD)	0.115 (0.998)	-0.685 (0.637)	0.007 (0.995)
- Median (Q1, Q3)	0.023 (-0.505, 0.638)	-0.693 (-1.083, -0.329)	-0.109 (-0.605, 0.531)
- Min - Max	-2.552 - 9.532	-1.937 - 1.756	-2.552 - 9.532
mean_platelet_volume			
- Mean (SD)	-0.043 (1.011)	0.275 (0.897)	-0.000 (1.002)
- Median (Q1, Q3)	-0.102 (-0.775, 0.684)	0.235 (-0.326, 0.796)	-0.102 (-0.662, 0.684)
- Min - Max	-2.458 - 3.713	-1.897 - 2.703	-2.458 - 3.713
red_blood_cells			
- Mean (SD)	-0.048 (1.000)	0.238 (0.875)	-0.009 (0.988)
- Median (Q1, Q3)	-0.004 (-0.603, 0.613)	0.208 (-0.409, 0.931)	0.014 (-0.568, 0.662)
- Min - Max	-3.971 - 3.646	-1.661 - 2.182	-3.971 - 3.646
Lymphocytes			
- Mean (SD)	0.004 (1.021)	-0.030 (0.882)	-0.001 (1.003)
- Median (Q1, Q3)	0.003 (-0.748, 0.600)	-0.048 (-0.680, 0.574)	-0.014 (-0.737, 0.598)
- Min - Max	-1.865 - 3.764	-1.694 - 2.152	-1.865 - 3.764
mean_corp_hemo_conc			
- Mean (SD)	-0.015 (1.015)	0.170 (0.818)	0.010 (0.992)
- Median (Q1, Q3)	-0.055 (-0.652, 0.642)	0.145 (-0.453, 0.742)	-0.055 (-0.552, 0.642)
- Min - Max	-5.432 - 3.331	-1.648 - 1.937	-5.432 - 3.331
leukocytes			
- Mean (SD)	0.118 (0.998)	-0.706 (0.665)	0.007 (1.000)
- Median (Q1, Q3)	-0.081 (-0.545, 0.554)	-0.824 (-1.085, -0.540)	-0.209 (-0.636, 0.458)
- Min - Max	-2.020 - 4.522	-1.478 - 3.609	-2.020 - 4.522
basophils			
- Mean (SD)	0.027 (1.036)	-0.167 (0.744)	0.001 (1.003)
- Median (Q1, Q3)	-0.224 (-0.529, 0.693)	-0.224 (-0.529, 0.082)	-0.224 (-0.529, 0.387)
- Min - Max	-1.140 - 11.078	-1.140 - 2.220	-1.140 - 11.078
mean_corp_hemoglobin			
- Mean (SD)	0.018 (0.985)	0.055 (0.699)	0.023 (0.951)
- Median (Q1, Q3)	0.126 (-0.501, 0.596)	0.178 (-0.292, 0.440)	0.126 (-0.501, 0.596)
- Min - Max	-5.938 - 4.099	-1.756 - 1.590	-5.938 - 4.099
eosinophils			
- Mean (SD)	0.080 (1.044)	-0.480 (0.453)	0.004 (1.003)
- Median (Q1, Q3)	-0.246 (-0.625, 0.429)	-0.667 (-0.751, -0.372)	-0.330 (-0.667, 0.344)
- Min - Max	-0.836 - 8.351	-0.836 - 1.061	-0.836 - 8.351
mean_corp_volume			
- Mean (SD)	0.028 (0.986)	-0.018 (0.732)	0.022 (0.955)
- Median (Q1, Q3)	0.086 (-0.535, 0.647)	-0.034 (-0.435, 0.427)	0.076 (-0.515, 0.627)
- Min - Max	-4.581 - 3.411	-1.636 - 2.109	-4.581 - 3.411
monocytes			
- Mean (SD)	-0.080 (0.954)	0.485 (1.133)	-0.004 (0.998)

	negative (N=517)	positive (N=81)	Total (N=598)
- Median (Q1, Q3)	-0.220 (-0.640, 0.384)	0.515 (-0.247, 1.145)	-0.115 (-0.614, 0.489)
- Min - Max	-2.164 - 4.533	-2.059 - 3.640	-2.164 - 4.533
RDW			
- Mean (SD)	0.009 (1.004)	-0.200 (0.690)	-0.019 (0.970)
- Median (Q1, Q3)	-0.183 (-0.625, 0.348)	-0.271 (-0.802, 0.259)	-0.183 (-0.625, 0.326)
- Min - Max	-1.598 - 6.982	-1.333 - 2.382	-1.598 - 6.982

Anexo - Sensivity / Specifity

Machine Learning	Test	Discharged	Regular Ward	Semi Intensive	Intensive Care Unit
OLR	Sensitivity	0.942	0.357	0.214	0.000
OLR	Specificity	0.439	0.939	0.952	1.000
OLR	Pos.Pred.Value	0.850	0.333	0.273	NaN
OLR	Neg.Pred.Value	0.692	0.945	0.935	0.927
OLR	Precision	0.850	0.333	0.273	NA
OLR	Recall	0.942	0.357	0.214	0.000
OLR	F1	0.893	0.345	0.240	NA
OLR	Prevalence	0.771	0.078	0.078	0.073
OLR	Detection.Rate	0.726	0.028	0.017	0.000
OLR	Detection.Prevalence	0.855	0.084	0.061	0.000
OLR	Balanced.Accuracy	0.691	0.648	0.583	0.500
RF	Sensitivity	0.949	0.286	0.143	0.000
RF	Specificity	0.366	0.952	0.958	0.994
RF	Pos.Pred.Value	0.834	0.333	0.222	0.000
RF	Neg.Pred.Value	0.682	0.940	0.929	0.927
RF	Precision	0.834	0.333	0.222	0.000
RF	Recall	0.949	0.286	0.143	0.000
RF	F1	0.888	0.308	0.174	NaN
RF	Prevalence	0.771	0.078	0.078	0.073
RF	Detection.Rate	0.732	0.022	0.011	0.000
RF	Detection.Prevalence	0.877	0.067	0.050	0.006
RF	Balanced.Accuracy	0.658	0.619	0.550	0.497
SVM	Sensitivity	0.986	0.143	0.000	0.000
SVM	Specificity	0.195	0.982	0.970	1.000
SVM	Pos.Pred.Value	0.805	0.400	0.000	NaN
SVM	Neg.Pred.Value	0.800	0.931	0.920	0.927
SVM	Precision	0.805	0.400	0.000	NA
SVM	Recall	0.986	0.143	0.000	0.000
SVM	F1	0.886	0.211	NaN	NA
SVM	Prevalence	0.771	0.078	0.078	0.073
SVM	Detection.Rate	0.760	0.011	0.000	0.000
SVM	Detection.Prevalence	0.944	0.028	0.028	0.000
SVM	Balanced.Accuracy	0.590	0.562	0.485	0.500
NB	Sensitivity	0.993	0.071	0.000	0.000
NB	Specificity	0.024	0.994	1.000	1.000
NB	Pos.Pred.Value	0.774	0.500	NaN	NaN
NB	Neg.Pred.Value	0.500	0.927	0.922	0.927
NB	Precision	0.774	0.500	NA	NA
NB	Recall	0.993	0.071	0.000	0.000
NB	F1	0.870	0.125	NA	NA
NB	Prevalence	0.771	0.078	0.078	0.073
NB	Detection.Rate	0.765	0.006	0.000	0.000
NB	Detection.Prevalence	0.989	0.011	0.000	0.000
NB	Balanced.Accuracy	0.509	0.533	0.500	0.500
KNN	Sensitivity	0.978	0.286	0.000	0.000
KNN	Specificity	0.244	0.970	0.982	0.994
KNN	Pos.Pred.Value	0.813	0.444	0.000	0.000
KNN	Neg.Pred.Value	0.769	0.941	0.920	0.927
KNN	Precision	0.813	0.444	0.000	0.000

Machine Learning	Test	Discharged	Regular Ward	Semi Intensive	Intensive Care Unit
KNN	Recall	0.978	0.286	0.000	0.000
KNN	F1	0.888	0.348	NaN	NaN
KNN	Prevalence	0.771	0.078	0.078	0.073
KNN	Detection.Rate	0.754	0.022	0.000	0.000
KNN	Detection.Prevalence	0.927	0.050	0.017	0.006
KNN	Balanced.Accuracy	0.611	0.628	0.491	0.497
NNET	Sensitivity	0.935	0.571	0.000	0.000
NNET	Specificity	0.537	0.861	1.000	1.000
NNET	Pos.Pred.Value	0.872	0.258	NaN	NaN
NNET	Neg.Pred.Value	0.710	0.959	0.922	0.927
NNET	Precision	0.872	0.258	NA	NA
NNET	Recall	0.935	0.571	0.000	0.000
NNET	F1	0.902	0.356	NA	NA
NNET	Prevalence	0.771	0.078	0.078	0.073
NNET	Detection.Rate	0.721	0.045	0.000	0.000
NNET	Detection.Prevalence	0.827	0.173	0.000	0.000
NNET	Balanced.Accuracy	0.736	0.716	0.500	0.500
GLMNET	Sensitivity	0.964	0.143	0.214	0.077
GLMNET	Specificity	0.341	0.958	0.964	1.000
GLMNET	Pos.Pred.Value	0.831	0.222	0.333	1.000
GLMNET	Neg.Pred.Value	0.737	0.929	0.935	0.933
GLMNET	Precision	0.831	0.222	0.333	1.000
GLMNET	Recall	0.964	0.143	0.214	0.077
GLMNET	F1	0.893	0.174	0.261	0.143
GLMNET	Prevalence	0.771	0.078	0.078	0.073
GLMNET	Detection.Rate	0.743	0.011	0.017	0.006
GLMNET	Detection.Prevalence	0.894	0.050	0.050	0.006
GLMNET	Balanced.Accuracy	0.653	0.550	0.589	0.538
xgbTree	Sensitivity	0.942	0.429	0.071	0.000
xgbTree	Specificity	0.463	0.945	0.939	0.994
xgbTree	Pos.Pred.Value	0.855	0.400	0.091	0.000
xgbTree	Neg.Pred.Value	0.704	0.951	0.923	0.927
xgbTree	Precision	0.855	0.400	0.091	0.000
xgbTree	Recall	0.942	0.429	0.071	0.000
xgbTree	F1	0.897	0.414	0.080	NaN
xgbTree	Prevalence	0.771	0.078	0.078	0.073
xgbTree	Detection.Rate	0.726	0.034	0.006	0.000
xgbTree	Detection.Prevalence	0.849	0.084	0.061	0.006
xgbTree	Balanced.Accuracy	0.703	0.687	0.505	0.497

Anexo - Sensivity / Specifity Imputed

Machine Learning	Test	Discharged	Regular Ward	Semi Intensive	Intensive Care Unit
OLR	Sensitivity	0.996	0.000	0.000	0.364
OLR	Specificity	0.188	1.000	1.000	0.993
OLR	Pos.Pred.Value	0.977	NaN	NaN	0.250
OLR	Neg.Pred.Value	0.563	0.988	0.990	0.996
OLR	Precision	0.977	NA	NA	0.250
OLR	Recall	0.996	0.000	0.000	0.364
OLR	F1	0.986	NA	NA	0.296
OLR	Prevalence	0.972	0.012	0.010	0.007
OLR	Detection.Rate	0.967	0.000	0.000	0.002
OLR	Detection.Prevalence	0.991	0.000	0.000	0.009
OLR	Balanced.Accuracy	0.592	0.500	0.500	0.678
RF	Sensitivity	0.997	0.200	0.118	0.273
RF	Specificity	0.396	0.997	0.996	0.998
RF	Pos.Pred.Value	0.983	0.444	0.250	0.429
RF	Neg.Pred.Value	0.792	0.990	0.991	0.995
RF	Precision	0.983	0.444	0.250	0.429
RF	Recall	0.997	0.200	0.118	0.273
RF	F1	0.990	0.276	0.160	0.333
RF	Prevalence	0.972	0.012	0.010	0.007
RF	Detection.Rate	0.969	0.002	0.001	0.002
RF	Detection.Prevalence	0.986	0.005	0.005	0.004
RF	Balanced.Accuracy	0.696	0.599	0.557	0.635
SVM	Sensitivity	0.998	0.150	0.000	0.000
SVM	Specificity	0.125	0.996	0.999	1.000
SVM	Pos.Pred.Value	0.975	0.333	0.000	NaN
SVM	Neg.Pred.Value	0.600	0.990	0.990	0.993
SVM	Precision	0.975	0.333	0.000	NA
SVM	Recall	0.998	0.150	0.000	0.000
SVM	F1	0.986	0.207	NaN	NA
SVM	Prevalence	0.972	0.012	0.010	0.007
SVM	Detection.Rate	0.969	0.002	0.000	0.000
SVM	Detection.Prevalence	0.994	0.005	0.001	0.000
SVM	Balanced.Accuracy	0.561	0.573	0.500	0.500
NB	Sensitivity	0.965	0.500	0.118	0.000
NB	Specificity	0.667	0.959	0.994	1.000
NB	Pos.Pred.Value	0.990	0.128	0.167	NaN
NB	Neg.Pred.Value	0.356	0.994	0.991	0.993
NB	Precision	0.990	0.128	0.167	NA
NB	Recall	0.965	0.500	0.118	0.000
NB	F1	0.977	0.204	0.138	NA
NB	Prevalence	0.972	0.012	0.010	0.007
NB	Detection.Rate	0.937	0.006	0.001	0.000
NB	Detection.Prevalence	0.947	0.046	0.007	0.000
NB	Balanced.Accuracy	0.816	0.730	0.556	0.500
KNN	Sensitivity	1.000	0.050	0.000	0.182
KNN	Specificity	0.146	0.999	0.999	1.000
KNN	Pos.Pred.Value	0.976	0.333	0.000	1.000
KNN	Neg.Pred.Value	1.000	0.989	0.990	0.995
KNN	Precision	0.976	0.333	0.000	1.000

Machine Learning	Test	Discharged	Regular Ward	Semi Intensive	Intensive Care Unit
KNN	Recall	1.000	0.050	0.000	0.182
KNN	F1	0.988	0.087	NaN	0.308
KNN	Prevalence	0.972	0.012	0.010	0.007
KNN	Detection.Rate	0.972	0.001	0.000	0.001
KNN	Detection.Prevalence	0.996	0.002	0.001	0.001
KNN	Balanced.Accuracy	0.573	0.524	0.499	0.591
NNET	Sensitivity	1.000	0.000	0.000	0.000
NNET	Specificity	0.000	1.000	1.000	1.000
NNET	Pos.Pred.Value	0.972	NaN	NaN	NaN
NNET	Neg.Pred.Value	NaN	0.988	0.990	0.993
NNET	Precision	0.972	NA	NA	NA
NNET	Recall	1.000	0.000	0.000	0.000
NNET	F1	0.986	NA	NA	NA
NNET	Prevalence	0.972	0.012	0.010	0.007
NNET	Detection.Rate	0.972	0.000	0.000	0.000
NNET	Detection.Prevalence	1.000	0.000	0.000	0.000
NNET	Balanced.Accuracy	0.500	0.500	0.500	0.500
GLMNET	Sensitivity	0.999	0.150	0.000	0.000
GLMNET	Specificity	0.229	0.995	0.999	1.000
GLMNET	Pos.Pred.Value	0.978	0.273	0.000	NaN
GLMNET	Neg.Pred.Value	0.846	0.990	0.990	0.993
GLMNET	Precision	0.978	0.273	0.000	NA
GLMNET	Recall	0.999	0.150	0.000	0.000
GLMNET	F1	0.988	0.194	NaN	NA
GLMNET	Prevalence	0.972	0.012	0.010	0.007
GLMNET	Detection.Rate	0.970	0.002	0.000	0.000
GLMNET	Detection.Prevalence	0.992	0.007	0.001	0.000
GLMNET	Balanced.Accuracy	0.614	0.573	0.499	0.500
xgbTree	Sensitivity	0.995	0.300	0.118	0.091
xgbTree	Specificity	0.375	0.997	0.996	0.996
xgbTree	Pos.Pred.Value	0.982	0.545	0.222	0.143
xgbTree	Neg.Pred.Value	0.667	0.992	0.991	0.994
xgbTree	Precision	0.982	0.545	0.222	0.143
xgbTree	Recall	0.995	0.300	0.118	0.091
xgbTree	F1	0.988	0.387	0.154	0.111
xgbTree	Prevalence	0.972	0.012	0.010	0.007
xgbTree	Detection.Rate	0.966	0.004	0.001	0.001
xgbTree	Detection.Prevalence	0.984	0.007	0.005	0.004
xgbTree	Balanced.Accuracy	0.685	0.649	0.557	0.544

Anexo - COVID - Sensivity / Specifity - Reduced y Imputed

RF COVID Results	Values
Sensitivity	0.942
Specificity	0.167
Pos Pred Value	0.880
Neg Pred Value	0.308
Precision	0.880
Recall	0.942
F1	0.910
Prevalence	0.866
Detection Rate	0.816
Detection Prevalence	0.927
Balanced Accuracy	0.554

RF COVID Results	Values
Sensitivity	0.984
Specificity	0.353
Pos Pred Value	0.933
Neg Pred Value	0.711
Precision	0.933
Recall	0.984
F1	0.958
Prevalence	0.901
Detection Rate	0.887
Detection Prevalence	0.951
Balanced Accuracy	0.669

Anexo - SIDIAP

Como tenía que ser (y como – probablemente será). Este estudio se tenía que desarrollar con la base de datos incluye todos los registros de las personas incluidos en Institut Català de la Salut (ICS) desde la primera fecha reportada de caso COVID-19 en la base de datos y el cierre de la instancia (31 diciembre 2022). La idea de este trabajo es utilizar una base de datos EHR para generar información útil y apoyar a la investigación y en un futuro utilizar algoritmos útiles para la toma de decisiones en el sector sanitario.

Las parciales novedades de este estudio, en comparación a otros estudios que se han publicado hasta la fecha, es la inclusión de la población vacunada dentro el modelo predictivo. Esto significa que la vacuna es una variable independiente, y que podría ser estadísticamente significativa a la hora de calcular la variable dependiente (el output), en este caso, la severidad del COVID. Incluyendo la variable vacuna, se podría predecir la severidad no solamente en la población no vacunada, también entre la población vacunada que no es completamente exenta de riesgos. De la misma manera se podría verificar si realmente la vacuna ha sido eficaz en la prevención.

Otra novedad, es que para este estudio como explicado antes, se tenía que utilizar la base de datos SIDIAP. SIDIAP se ha creado en el 2010, e incluye registros desde el año 2006. Actualmente tiene los datos pneumonizados del 80% de la población catalana por un total de 5,7 millones de personas. La base de datos SIDIAP incluyen los eventos de cada persona en caso de derivar a la atención primaria, urgencias y hospitales. Además, se dispone de información de las personas sobre las enfermedades, medicamentos, observaciones clínicas, variables bioquímicas del análisis de la sangre y orina, variables físicas (BMI), variables socioeconómicas, vacunas, el uso de alcohol y tabaco. De consecuencia todos los sujetos presentes en la base de datos son potencialmente sujetos del estudio. A diferencia de otros estudios similares en los cuales hay un numero de observaciones (n) relativamente reducido, es este caso, sería posible entrenar el modelo con un numero de observaciones elevado.

El estudio permitía abarcar diferentes objetivos, y principalmente dos:

- Determinar las variables estadísticamente significativas que estén relacionada con la severidad Covid, o más en general determinar los factores de riesgo relacionados con la severidad COVID.
- Valorar y comparar diferentes modelos de Machine Learning

Objetivos secundarios alcanzables.

- Estimar la efectividad de las vacunas sobre la severidad de la Covid.
- Determinar niveles de riesgo con una, dos o tres vacunas, o si hay una diferencia estadísticamente significativa.
- No limitar el estudio a la severidad del COVID, también estudiar los días de positividad, y lo factores que pueden influir sobre los factores de riesgo

Common Data Model

En principio la idea era organizar los datos de un CDM, los CDM son una forma de organizar los datos EHR. Son protocolos de organización los datos, hay protocolos diferentes y estos cambian en base a los grupos de investigación. Por ejemplo, dos que se está utilizando para el estudio de COVID son OMOP y CONCEPTION.

Los beneficios que puede aportar el utilizo de un protocolo de organización de los datos. Si se armoniza la estructura de los datos en un standard aceptado por la comunidad. Los datos de esta forma están organizados según un esquema utilizado por diferentes investigadores de diferentes centros. Hay la posibilidad de comparar diferentes bases de datos, utilizando el mismo script por diferentes bases de datos se permitiría una cierta escalabilidad en la investigación y se podría ampliar más fácilmente el estudio a otras bases de datos. Además, sería un mecanismo que se autoalimenta, permitiendo el desarrollo del script mejorando los existentes y creando de nuevos.

Variables

El tamaño muestral influye negativamente en las prestaciones y los tiempos computacionales. Pero esta tarea se tenía que llevar con un server del mismo centro bastante potente para poder llevar a cabo los cálculos de ML.

PersonID (pseudominizado) Fecha Nacimiento

Fecha muerte Sexo

Covid:

- Fecha Vacunación
- Numero de Dosis
- Marca vacuna
- Fecha diagnostico contagio (RT-PCR o antígeno)

Variables Analíticas

- Variables Analíticas
- Fecha del análisis

Variables Clínicas.

- Comorbilidades. Se identifican los pacientes través el código de diagnóstico de la enfermedad o través la medicación que la persona está asumiendo
- Fecha de diagnostico

Estilo de vida.

- Alcoholismo
- Tabaquismo
- BMI
- Fecha de los diagnósticos

Criterios de exclusión e inclusión

Los criterios de inclusión son amplios y intentan recoger el mayor número de personas.

Los únicos criterios de exclusión se pueden considerar:

- Periodo de estudio, primer caso reportado de positividad COVID, hasta el cierre de la base de datos (actualmente 31 diciembre 2022)
- Los menores de edad a la fecha de inicio del estudio. La severidad de COVID-19 en los menores desde el 2020 a la fecha de cierre del estudio ha estado relativamente baja, con las variantes delta u ómicron los menores se han visto más afectados. Esto se deduce de la incidencia de hospitalización, relativamente baja en todo el periodo de estudio, también la incidencia de hospitalización en UCI y la incidencia de muerte has sido bajas para este grupo de estudio.

Otros criterios de exclusión de deben a datos faltantes:

- En caso de positividad no tener la variable dependiente (severidad covid) significaría que hay datos faltantes o no correctos
- En caso de no tener las variables (predictoras) de las personas. En el caso das variables de clínicas, analíticas y de estilo de vida es necesario que tengan una fecha anterior a la facha de contraer COVID, y que sea suficientemente recientes para que tengan valor clínico. De esta forma se ha elegido como

criterio de exclusión, que estas variables sean máximo seis meses anteriores al inicio del estudio para las personas que no se han contagiado en el periodo de estudio y máximo seis meses anteriores a la fecha registrada de primer contagio de la persona.

Anexo - Variables

Columna 1	Columna 2	Columna 3
age_quantile	urea	Urine - Ketone Bodies
cov_result	C_reactive_protein	Urine - Nitrite
hematocrit	creatinine	Urine - Density
hemoglobin	potassium	Urine - Urobilinogen
platelets	sodium	Urine - Protein
mean_platelet_volume	Influenza_B_rapid_test	Urine - Sugar
red_blood_cells	Influenza_A_rapid_test	Urine - Leukocytes
Lymphocytes	alanine_transaminase	Urine - Crystals
mean_corp_hemo_conc	aspartate_transaminase	Urine - Red blood cells
leukocytes	gamma_glutamyltransferase	Urine - Hyaline cylinders
basophils	total_bilirubin	Urine - Granular cylinders
mean_corp_hemoglobin	direct_bilirubin	Urine - Yeasts
eosinophils	indirect_bilirubin	Urine - Color
mean_corp_volume	alkaline_phosphatase	Partial thromboplastin time (PTT)
monocytes	Ionize_calcium	Relationship (Patient/Normal)
RDW	Strepto_A	International normalized ratio (INR)
serum_glucose	magnesium	Lactic Dehydrogenase
resp_syncytial_virus	pCO2 (venous blood gas analysis)	Prothrombin time (PT), Activity
influenza_A	Hb saturation (venous blood gas analysis)	Vitamin B12
influenza_B	Base excess (venous blood gas analysis)	Creatine phosphokinase (CPK)
parainfluenza_1	pO2 (venous blood gas analysis)	Ferritin
coronavirusNL63	Fio2 (venous blood gas analysis)	Arterial Lactic Acid
rhinovirus_enterovirus	Total CO2 (venous blood gas analysis)	Lipase dosage
mycoplasma_pneumoniae	pH (venous blood gas analysis)	D-Dimer
coronavirus_HKU1	HCO3 (venous blood gas analysis)	Albumin
parainfluenza_3	Rods #	Hb saturation (arterial blood gases)
chlamydomphila_pneum	Segmented	pCO2 (arterial blood gas analysis)
adenovirus	Promyelocytes	Base excess (arterial blood gas analysis)
parainfluenza_4	Metamyelocytes	pH (arterial blood gas analysis)
coronavirus229E	Myelocytes	Total CO2 (arterial blood gas analysis)
coronavirusOC43	Myeloblasts	HCO3 (arterial blood gas analysis)
inf_A_H1N1_2009	Urine - Esterase	pO2 (arterial blood gas analysis)
bordetella_pertussis	Urine - Aspect	Arterial Fio2
metapneumovirus	Urine - pH	Phosphor
parainfluenza_2	Urine - Hemoglobin	ctO2 (arterial blood gas analysis)
neutrophils	Urine - Bile pigments	care

Referencias Bibliográficas