

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL

UNIDAD 092, AJUSCO



SECRETARÍA ACADÉMICA

COORDINACIÓN DE POSGRADO

MAESTRÍA EN DESARROLLO EDUCATIVO

**‘Modelos estudiantiles espontáneos relacionados con el fenómeno de infección
para el caso SARS-CoV-2 en células humanas’**

Tesis que para obtener el Grado de
Maestra en Desarrollo Educativo

Presenta

Ana María Dolores Mendoza Almaraz

Director de tesis

PhD. Ángel Daniel López y Mota

CIUDAD DE MÉXICO

NOVIEMBRE, 2022

*Con todo mi amor,
para mi mamá -María Almaraz- y mi papá -Mario Mendoza-,
quienes han partido ya,
pero siguen presentes en mi corazón.
Sus enseñanzas de vida allanan el camino
para continuar concretando mis sueños.*

*Para quienes sienten pasión
por el conocimiento y la educación
y tienen la certeza de que ambos son el camino
para mejorar las condiciones de vida de las personas.*

*Para todas y todos,
porque las diversas situaciones derivadas
de la pandemia por COVID-19
nos han afectado de una u otra forma.*

AGRADECIMIENTOS

Expreso mi profunda gratitud a las personas e instituciones de quienes he recibido apoyo en mi formación académica y, por ende, en la realización del presente trabajo de investigación.

Agradezco en especial a mi tutor de tesis, PhD. Ángel Daniel López y Mota, cuyo atento seguimiento propició la discusión crítica de la que se derivaron la orientación y soporte científico indispensables para el desarrollo de mi tesis. Gracias también por la calidad humana con la que ha guiado mi proceso formativo y por la confianza depositada en mi persona.

Valoro además la lectura atenta por parte de la Dra. Carmen Urzúa Hernández, la Dra. Mary Orrego Cardozo, la Dra. Dulce López Valentín y la Dra. Liliana Valladares Riveroll. Con sus consejos, observaciones y sugerencias también han contribuido para llevar a buen fin mi trabajo de tesis.

Extiendo mi agradecimiento a las y los docentes de la Maestría en Desarrollo Educativo (MDE), en particular a quienes conforman el cuerpo académico en la Línea de Educación en Ciencias, porque con su generosidad y compromiso profesional constantes han incentivado mi desarrollo intelectual.

Destaco el apoyo económico que recibí del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) y agradezco la oportunidad que me dio para ser becaria de tiempo completo durante la maestría. Gracias también a la Universidad Pedagógica Nacional-Unidad Ajusco por ofrecer la MDE como una oportunidad para continuar con la formación profesional sólida para quienes nos interesamos en la educación.

Mi gratitud también para la profesora Ivonne y su grupo de 5° Año de preparatoria, quienes colaboraron en esta investigación educativa, así como para el Biól. Julián J. Náder García por su amistad y apoyo. Agradezco, además, al Ing. Humberto Albornoz Delgado y a Erick Daniel Mendoza Cervantes por las atinadas recomendaciones técnicas que fueron de utilidad en la elaboración del formato virtual de los instrumentos aplicados durante la investigación. A los ilustradores Imelda Quintana Martínez y Roberto Sadí Centeno, muchas gracias, por la paciencia y esmero en la elaboración de las imágenes incluidas en los cuestionarios. A las y los jóvenes que participaron con entusiasmo en la prueba piloto de los instrumentos, gracias.

Especial mención, con amor y agradecimiento, merecen mis compañeras de vida y mi familia quienes creen en mí, me alientan en los momentos difíciles y se alegran con mis sueños

alcanzados. Diana, el faro generoso que destella permanentemente, me anima para superarme en todos aspectos y para continuar el camino juntas buscando la libertad. Humbertina, Consuelo y Patricia, que con su bondad y nobleza hacen ligeros los obstáculos de la vida. José Luis, mi hermano, por los buenos recuerdos que forman parte de nuestra historia. Nelly, Dany, Eve, Claudia y Miguel, por su comprensión y por amarme como soy. Isis, Ramsés, Yarhim y Hansell, porque son el dulce futuro.

... el trabajo científico comienza confrontando la experiencia espontánea con ciertas otras realidades, cuya relación de analogía hace posible obtener una primera visualización de la estructura posible, la cual hubiera sido, de no mediar ese modelo, invisible.

El proceso de descripción científica constituye, entonces, una primera reelaboración de la experiencia espontánea, en la medida en que traduce los hechos a “hechos” que se recortan a la luz de estos modelos.

Juan Samaja

**Modelos estudiantiles espontáneos
relacionados con el fenómeno de infección
para el caso SARS-CoV-2 en células humanas´**

ÍNDICE

	Página
Introducción	14
Capítulo 1. Planteamiento del Problema	18
Antecedentes	19
<i>Situación mundial de la pandemia por COVID-19</i>	19
<i>Esfuerzos internacionales y nacionales para controlar la propagación del SARS-CoV-2</i>	25
Formulación del problema	29
Preguntas de investigación	30
Hipótesis	31
Justificación	33
<i>COVID-19 como problema sociocientífico en la Didáctica de las Ciencias</i>	33
Objetivos	38
Capítulo 2. Estado de la Cuestión	40
Precedentes sobre las explicaciones espontáneas estudiantiles	40
<i>Sobre el fenómeno de infección viral por SARS-CoV-2</i>	40
<i>Características de la búsqueda documental</i>	42
<i>Reportes sobre las ideas espontáneas de sujetos con edades de 16 a 25 años</i>	43
Tratamiento del fenómeno de referencia en el currículum escolar de Educación Media Superior	51
<i>Currícula escolar disponible</i>	51
<i>Características curriculares de la asignatura Biología IV (ENP/UNAM)</i>	55
Necesidades sociales por las afectaciones del fenómeno de referencia en todos los ámbitos de la vida humana	57

<i>Los jóvenes solicitan información confiable sobre la COVID-19</i>	57
<i>Algunas preocupaciones docentes sobre el tratamiento didáctico de la COVID-19 en la escuela</i>	61
Postura disciplinar de la tesis	62
Capítulo 3. Marco Teórico-Methodológico	63
La transposición didáctica y el currículum escolar	63
<i>Necesidad de mejorar la enseñanza de la ciencia</i>	63
<i>Importancia de la transposición didáctica</i>	64
Modelo cognitivo de ciencia y postura epistemológico-semanticista	67
<i>Los modelos científicos y la actividad científica</i>	67
<i>Epistemología semanticista</i>	70
<i>Características epistemológicas de los modelos</i>	73
Didáctica de las ciencias y actividad científica escolar	76
<i>Modelo de actividad científica escolar</i>	76
<i>Sistemas de creencias de los estudiantes</i>	81
<i>Modelo científico escolar</i>	84
<i>Pensamiento espontáneo</i>	86
<i>Hipótesis de la continuidad</i>	90
<i>Modelo ONEPSI</i>	95
El dispositivo teórico-metodológico: MCEA	98
<i>Modelo Científico Escolar de Arribo</i>	98
<i>Las explicaciones espontáneas estudiantiles y el valor didáctico del MCEA</i>	102
<i>El proceso de homogeneización de los modelos</i>	103
<i>Modelo Estudiantil Inicial (MEI)</i>	103
<i>Modelo Curricular (MCu)</i>	105
<i>Modelo Científico (MCi)</i>	106
<i>Inferencia del MCEA</i>	107
Capítulo 4. Diseño Metodológico	109
Enfoque de investigación	110
<i>Hipótesis</i>	110
<i>Método de investigación</i>	111

<i>Características de la muestra participante</i>	112
<i>Ámbitos éticos</i>	113
<i>Técnica e instrumentos</i>	114
<i>Prueba piloto de los instrumentos</i>	115
Elaboración del MCEA	115
<i>La infección por SARS-CoV-2 en células humanas como fenómeno a modelizar</i>	115
<i>Configuración del MCEA</i>	117
<i>El MCEA y las categorías analíticas</i>	119
<i>Configuración del MEI</i>	121
<i>Configuración del MCu</i>	124
<i>Configuración del MCI</i>	134
<i>Tensión de los constructos MEI-MCu-MCI</i>	149
<i>Postulación del MCEA</i>	150
MCEA ajustado	155
El MCEA ajustado y los niveles de complejidad de los <i>MEId</i>	161
Decodificación/Codificación de datos empíricos y comparación con el MCEA ajustado	161
Obtención de datos empíricos	162
<i>Características de los instrumentos</i>	162
Capítulo 5. Resultados y Análisis	171
Descripción del ejercicio analítico	172
Primera etapa de revisión de los datos empíricos	175
<i>Estimación de un ejemplo de MEId Básico – Alumno Caso 12 (17 años)</i>	177
<i>Estimación de un ejemplo de MEId Intermedio – Alumno Caso 21 (16 años)</i>	181
<i>Estimación de un ejemplo de MEId Avanzado – Alumno Caso 26 (16 años)</i>	185
Segunda etapa de revisión de los datos empíricos:	
ejemplos de <i>MEId</i> Casos-tipo para los niveles Básico, Intermedio y Avanzado	191
<i>MEId Básico - Alumno Caso-tipo 19 (16 años)</i>	191
<i>MEId Intermedio – Alumno Caso-tipo 3 (16 años)</i>	201
<i>MEId Avanzado – Alumno Caso-tipo 31 (17 años)</i>	212
<i>Comparación entre los tres niveles de MEId Casos-tipo</i>	223
<i>Distancia de los MEId con respecto del MCEA ajustado</i>	226

<i>Alcances: hallazgos y limitantes</i>	229
CONCLUSIONES	233
<i>El MCEA ajustado y la hipótesis</i>	233
<i>Asuntos sociocientíficos y Didáctica de las Ciencias</i>	235
<i>Reflexiones finales y aportes</i>	236
REFERENCIAS	240
ANEXOS	251
ANEXO 1. Tensión de los constructos MEI _I , MC _u y MC _i	252
ANEXO 2. Modelo Científico Escolar de Arribo ideal	295
ANEXO 3. Decodificación/Codificación de datos empíricos (Casos estimados)	310
<i>Inferencia del MEId Básico: Alumno Caso 12</i>	310
<i>Inferencia del MEId Intermedio: Alumno Caso 21</i>	314
<i>Inferencia del MEId Avanzado: Alumno Caso 26</i>	318
ANEXO 4. Decodificación/Codificación de datos empíricos (Casos-tipo)	322
<i>Inferencia del MEId Básico: Alumno Caso-tipo 19</i>	322
<i>Inferencia del MEId Intermedio: Alumno Caso-tipo 3</i>	326
<i>Inferencia del MEId Avanzado: Alumno Caso-tipo 31</i>	330

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. <i>Investigaciones reportadas sobre sujetos con edades de 16 a 25 años</i>	45
Tabla 2. <i>Ontología básica de los estudiantes (edades: de 16 a 25 años)</i>	49
Tabla 3. <i>Comparativo entre cuatro programas de asignatura de Educación Media Superior y los contenidos relacionados con virus</i>	53
Tabla 4. <i>Características del foro U-Report Global sobre la pandemia por COVID-19</i>	58
Tabla 5. <i>Posturas sintáctica y semántica sobre las explicaciones científicas</i>	72
Tabla 6. <i>Organización del fenómeno de referencia en términos de modelos</i>	120
Tabla 7. <i>Comparación de las etapas del ciclo lítico viral incluidas en los libros de texto para preparatoria</i>	127
Tabla 8. <i>MCEA ajustado</i>	156
Tabla 9. <i>Complejidad posible en los MEId con respecto del MCEA ajustado</i>	161
Tabla 10. <i>Alumno Caso-tipo 19: condiciones reconocidas</i>	195
Tabla 11. <i>Tensión MEId Básico del Caso-tipo 19 con el MCEA ajustado</i>	197
Tabla 12. <i>Alumno Caso-tipo 3: condiciones reconocidas</i>	205
Tabla 13. <i>Tensión MEId Intermedio del Caso-tipo 3 con el MCEA ajustado</i>	208
Tabla 14. <i>Alumno Caso-tipo 31: condiciones reconocidas</i>	217
Tabla 15. <i>Tensión MEId Avanzado del Caso-tipo 31 con el MCEA ajustado</i>	219

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. <i>Desarrollo epidemiológico comparativo de la COVID-19 en el mundo</i>	20
Figura 2. <i>Comportamiento de la pandemia en México</i>	21
Figura 3. <i>México: defunciones confirmadas y sospechosas por semana epidemiológica</i>	22
Figura 4. <i>Población mundial con el esquema de vacunación contra COVID-19 completo</i>	26
Figura 5. <i>Necesidades informativas de los jóvenes en América Latina y el Caribe sobre la pandemia</i>	59
Figura 6. <i>Formato del chatbot: tipo de preguntas y respuestas disponibles en el foro U-Report Global</i>	60
Figura 7. <i>La transposición didáctica desde la DC</i>	66
Figura 8. <i>El modelo teórico y su papel como mediador entre la teoría y la realidad</i>	72
Figura 9. <i>Sistemas cognitivos en los sujetos</i>	83
Figura 10. <i>Elaboración de una representación mental por parte del sujeto</i>	88
Figura 11. <i>Hipótesis de la continuidad</i>	91
Figura 12. <i>Modelo ONEPSI y elaboración de modelos mentales</i>	96
Figura 13. <i>Características del Principio de causalidad</i>	97
Figura 14. <i>Origen de los componentes ontológicos y epistemológicos que conforman el MCEA</i>	101
Figura 15. <i>El MCEA y su relación con los constructos MCi, MCu y los MEI</i>	108
Figura 16. <i>MEI con base en los reportes documentales</i>	123
Figura 17. <i>MCu con base en los requerimientos curriculares</i>	131
Figura 18. <i>Comparativo de tamaños celulares, partículas suspendidas en el aire y virus SARS-CoV-2</i>	135
Figura 19. <i>Tomografía crioelectrónica del SARS-CoV-2</i>	135
Figura 20. <i>Numerosos virus SARS-CoV-2 en la superficie de una célula infectada</i>	136
Figura 21. <i>Estructura del SARS-CoV-2</i>	139
Figura 22. <i>Estructura de la unión del SARS-CoV-2 con el ACE2 celular</i>	139
Figura 23. <i>Ciclo infeccioso del SARS-CoV-2</i>	143
Figura 24. <i>MCi con base en la explicación científica desde el dominio de la biología</i>	146
Figura 25. <i>Proceso de comparación de los constructos obtenidos</i>	150

Figura 26. <i>MCEA ideal para explicar el fenómeno de infección por SARS-CoV-2 en células humanas</i>	151
Figura 27. <i>Herramientas virtuales usadas en el diseño de los instrumentos</i>	163
Figura 28. <i>Cuestionario virtual 1</i>	165
Figura 29. <i>Cuestionario virtual 2</i>	169
Figura 30. <i>Dibujo elaborado por el Alumno del Caso 12</i>	178
Figura 31. <i>Dibujo elaborado por el Alumno del Caso 21</i>	182
Figura 32. <i>Dibujo elaborado por el Alumno del Caso 26</i>	187
Figura 33. <i>Dibujo elaborado por el Alumno Caso-tipo 19</i>	192
Figura 34. <i>Dibujo del Alumno Caso-tipo 19: representación gráfica de las condiciones reconocidas</i>	196
Figura 35. <i>Dibujo elaborado por el Alumno Caso-tipo 3</i>	202
Figura 36. <i>Dibujo del Alumno Caso-tipo 3: representación gráfica de las condiciones reconocidas</i>	206
Figura 37. <i>Dibujo elaborado por el Alumno Caso-tipo 31</i>	213
Figura 38. <i>Dibujo del Alumno Caso-tipo 31: representación gráfica de las condiciones reconocidas</i>	217

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

ACE	Actividad científica escolar
CCE	Conocimiento científico escolar
CE	Ciencia escolar
DC	Didáctica de las Ciencias
DOyE	Dimensiones Ontológica y Epistemológica
MCEA	Modelo Científico Escolar de Arribo
MCI	Modelo Científico
MCu	Modelo Curricular
MEI	Modelo Estudiantil Inicial
MEI <i>d</i>	Modelo Estudiantil Inicial con base en datos empíricos
MEI <i>l</i>	Modelo Estudiantil Inicial con base en los reportes de la literatura didáctica especializada
Modelo ONEPSI	Modelo ontológico-epistemológico-psicológico
SD	Secuencia didáctica

Introducción

Este trabajo de investigación, denominado ‘Modelos estudiantiles espontáneos relacionados con el fenómeno de infección para el caso SARS-CoV-2 en células humanas’, surge por la inquietud de aportar conocimiento científico acerca de las características, en términos de modelos, de las formas espontáneas del pensamiento de los estudiantes sobre el fenómeno natural seleccionado. Es decir, cómo se explican los educandos —de manera natural— el proceso por el cual el coronavirus SARS-CoV-2 daña las células humanas y puede incluso causar la muerte. Así, las contribuciones de esta investigación se circunscriben en la Didáctica de las Ciencias, en particular, con la mejora de la enseñanza de la biología. Los hallazgos alcanzados son útiles en el diseño de nuevos proyectos de investigación sobre los procesos de enseñanza de las ciencias, así como en la elaboración y validación de futuras secuencias didácticas que abordaran un fenómeno científico biológico como lo es la transmisión de una enfermedad infecciosa de origen viral, por ejemplo, la COVID-19.

La enfermedad COVID-19 (*coronavirus disease 2019*), producto del coronavirus SARS-CoV-2 (*severe acute respiratory syndrome coronavirus 2*), fue reconocida como emergencia de salud pública de importancia internacional a principios de 2020 y en poco tiempo clasificada como pandemia debido a su acelerada propagación en el mundo (OMS, 2022b). Esta situación prevalece aún en la actualidad y lleva a considerar el urgente abordaje de tal fenómeno natural como contenido de relevancia socio-científica en la Didáctica de las Ciencias. Como se ha visto a lo largo de dos años y medio ha sido difícil para las personas tratar de comprender el cambio radical en todos los rubros de la vida humana y de entender qué es el SARS-CoV-2, las razones por las cuales afecta al cuerpo humano, así como la aceptación de las medidas preventivas mínimas recomendadas, entre las que se encuentran la vacunación, el uso correcto del cubrebocas, el distanciamiento social e higiene constante de manos. A pesar de que la población en general ha tenido que aprender a convivir con el coronavirus, existe todavía la necesidad de entender qué es este virus, cómo se comporta, de qué forma altera la salud humana y qué relación existe entre comprender su existencia y el sustento coherente de las medidas preventivas de la enfermedad.

El contexto escolar, por medio de la enseñanza de la biología, proporciona el espacio idóneo para la construcción de conocimiento científico adecuado a cada nivel educativo y abre la oportunidad del tratamiento didáctico relacionado con el fenómeno de referencia. Cabe mencionar

que algunos de los retos formativos son que los estudiantes comprendan qué sucede en su cuerpo con una infección viral y desarrollen el pensamiento crítico para la toma de decisiones saludables relacionadas con la prevención de infecciones como la COVID-19, producida por el virus SARS-CoV-2, y que contribuyan en la conservación de la salud propia y de la comunidad. Una alternativa a la enseñanza tradicional de la biología —que por lo general pondera la memorización y repetición de información—, es el enfoque cognitivo de ciencia y su relación con la construcción de Modelos Científicos Escolar mediante los cuales se incentiva el desarrollo de explicaciones racionales en los educandos para entender los fenómenos naturales de interés. Tal postura conlleva un tipo de transposición didáctica que pone en el lugar relevante la comprensión por parte del alumno. Con el objetivo de dar solución a algunos de los retos planteados, es necesario introducir el tema en las aulas, mediante secuencias didácticas validadas que permitan construir conocimiento que le signifique al educando, que pueda entender, usar y aplicar en la vida diaria. El estudio de las explicaciones espontáneas de los estudiantes proporciona elementos que da pautas para analizar cómo ocurre la construcción cognitiva y, por lo tanto, permite identificar elementos útiles para orientar las explicaciones estudiantiles hacia otras más cercanas a las de la ciencia.

Desde el contexto de la Didáctica de las Ciencias, con una visión del modelo cognitivo de ciencia, ésta debe propiciar la construcción de conocimiento dentro de un marco epistemológico semanticista, amparado en el concepto de modelos. Así, es fundamental identificar las explicaciones espontáneas de los educandos porque reflejan los modelos mentales mediante los cuales éstos interpretan el mundo; mismos que proporcionan elementos de vínculo relevante para ellos y que les permitan construir el conocimiento científico con el desarrollo de modelos cada vez más complejos y racionales con los cuales describan, expliquen y predigan los fenómenos naturales. Por ello, resulta interesante indagar dicha manera de pensar de los estudiantes sobre el fenómeno infeccioso y se espera que los aportes al respecto contribuyan con próximos trabajos de investigación/intervención. Esta investigación está dirigida a estudiantes de Educación Media Superior debido a las nociones que idealmente se espera tengan los alumnos de este nivel y que son necesarias para comprender la explicación del fenómeno de referencia en sus niveles celular y molecular. El objetivo principal del estudio consiste en profundizar en las explicaciones espontáneas de los adolescentes acerca del fenómeno de infección para el caso SARS-CoV-2 en células humanas y obtener el correspondiente Modelo Estudiantil Inicial con base en datos empíricos (MEId) y compararlo con un supuesto Modelo Científico Escolar de Arribo ajustado

(MCEA) que permita identificar los desafíos didácticos para el abordaje escolar de dicho fenómeno. El MCEA se obtuvo de la comparación entre los modelos provenientes de las explicaciones científica, curricular e ideas espontáneas de los educandos reportadas en la literatura didáctica especializada. El planteamiento metodológico de la investigación es cualitativo y exploratorio, con participación de una muestra no probabilística de 36 alumnos mexicanos, en la modalidad de Escuela Nacional Preparatoria, cuyas edades estuvieron entre 16 y 18 años y que como antecedente curricular cursaban la asignatura Biología IV del 5° Año. A continuación, se explica el desarrollo de los capítulos que describen la investigación.

En el Capítulo 1. Planteamiento del problema se describen los antecedentes que permiten abordar el fenómeno de infección por SARS-CoV-2 como un problema sociocientífico susceptible de ser abordado por la Didáctica de las Ciencias. Esto permitió elaborar el problema de investigación, la hipótesis correspondiente, la justificación, así como los objetivos.

El Capítulo 2. Estado de la cuestión aporta información, con base en lo registrado en investigaciones educativas previas acerca de las ideas y explicaciones espontáneas de los estudiantes y relacionadas con nociones como virus, enfermedades infecciosas virales, SARS-CoV-2 y COVID-19. La revisión documental hizo posible evidenciar lo que se conoce —hasta el momento— acerca de las ideas espontáneas de los educandos, en específico, de Educación Media Superior. En este apartado también se explica por qué se aborda el fenómeno de referencia desde el modelo teórico científico de la biología, sin disminuir su complejidad.

El sustento epistemológico de la investigación se detalla en el Capítulo 3. Marco teórico- Metodológico: en el cual se abordan el enfoque semanticista basado en modelos (Giere, 1999), el vínculo que hacen Izquierdo y Adúriz (2021) con la Didáctica de las Ciencias por medio de la construcción de Modelos Científicos Escolares como centro de la transposición didáctica en las ciencias naturales, el constructo Modelo Mental propuesto por Gutierrez (2007) y su relación con los modelos mentales estudiantiles, así como el aporte que hacen López y Moreno (2014) del dispositivo teórico-metodológico Modelo Científico Escolar de Arribo (MCEA) y su utilidad en el estudio de los Modelos Estudiantiles Iniciales y, por ende, de las explicaciones espontáneas de los alumnos.

En el Capítulo 4. Diseño metodológico se aborda el enfoque asumido para fundamentar el tipo de datos recolectados, así como el proceso para su obtención, las características de la muestra, el diseño de los instrumentos, así como el tratamiento e interpretación de los datos con base en las

categorías analíticas previamente derivadas *a priori* con ayuda del MCEA inferido específicamente para el fenómeno de referencia. Con base en esto se generó la información para categorizar los MEId y validar la hipótesis planteada en el presente estudio y cuya directriz es el propio MCEA.

El Capítulo 5. Resultados y análisis incluye el estudio de la información obtenida a partir de los datos empíricos, muestra los MEId inferidos y considerados como casos que tienen requerimientos necesarios para aproximarse a los niveles Básico, Intermedio y Avanzado en relación con la complejidad de las explicaciones espontáneas estudiantiles y resultado del contraste con el MCEA. Se identifican las dificultades en la construcción de conocimiento científico escolar que dejan en evidencia y que, a la vez, son áreas de oportunidad para dicha construcción. Algunos ejemplos son la ausencia de entidades, así como de propiedades, relaciones causales y funcionales que debilitan las explicaciones espontáneas de los educandos.

En la sección Conclusiones se incluyen los razonamientos que dan respuesta a la pregunta de investigación, exponen el alcance de los objetivos planteados y la validación de la hipótesis correspondiente. Se incluyen también en este apartado las reflexiones y aportes que se espera sean de utilidad en la enseñanza de la biología.

En la sección ANEXOS se incluyen tres apartados con las tablas comparativas que sustentan la construcción del MCEA ajustado y la inferencia de los MEId: la primera tabla corresponde a la obtención del MCEA; la segunda, a la postulación del MCEA ideal y la tercera a la decodificación/codificación de los datos empíricos originales. De esta forma, el lector puede hacer la consulta necesaria acerca de los detalles para la inferencia de todos los constructos, en términos de modelos, requeridos para la investigación.

Finalmente, es importante aclarar que, en el desarrollo de la narrativa de esta tesis, se optó por utilizar las expresiones alumnos, educandos, estudiantes, maestros, padres, profesores, científicos e investigadores, en su connotación plural masculina —de acuerdo con la RAE¹— para hacer referencia a todas las personas. Esto sin ningún menoscabo de la postura inclusiva que mantiene quien esto escribe.

¹ La Real Academia Española recomienda atender la ley lingüística de la economía expresiva, por esta razón es posible hacer referencia a colectivos mixtos con el género gramatical masculino. Esta posibilidad no conlleva intención discriminatoria y se encuentra dentro de la corrección lingüística (Real Academia Española, 2022).

Capítulo 1

Planteamiento del Problema

El Capítulo 1 expone, como problema de investigación, el reconocimiento y caracterización de las formas espontáneas del pensamiento en escolares adolescentes acerca del fenómeno natural de infección viral por SARS-CoV-2² en células humanas y cómo dicho patógeno origina la enfermedad COVID-19³. Este fenómeno tiene efectos en todos los ámbitos de la vida de las personas y, debido a que el virus es transmisible de sujeto a sujeto, se relaciona directamente con repercusiones tanto en la salud individual como en la de la población. Ambos niveles de salud se relacionan debido a diversos factores compartidos que incluyen, por ejemplo, desde los ambientes de convivencia, la interacción física, hasta la práctica de medidas de higiene y la disponibilidad de los servicios de salud, campañas de vacunación, vigilancia epidemiológica y normatividad sanitaria. Cuando la salud se ve trastocada por una enfermedad contagiosa como la COVID-19, dicha relación se hace más evidente.

En esta tesis se retoma el término genérico *pensamiento espontáneo*, definido por Gutierrez (1994), y se utilizan como sinónimos del mismo las explicaciones e ideas espontáneas. Para Gutierrez el pensamiento espontáneo corresponde a las explicaciones construidas por los educandos desde sus propias ideas sobre un hecho o fenómeno natural. En el apartado Sistemas de creencias de los estudiantes, en la página 81, se aborda con detalle dicho concepto.

Se destaca que el presente estudio es exploratorio y tiene su origen en la necesidad urgente de tratar el fenómeno de infección viral por SARS-CoV-2 en las aulas, pero considerando la forma en cómo los estudiantes están construyendo sus explicaciones espontáneas para comprender la infección viral y así abrir la posibilidad de una mejora didáctica en los contenidos curriculares relacionados con este fenómeno de referencia. A continuación, se aborda el proceso de construcción del problema de investigación, la hipótesis a probar, así como los objetivos que guían la tesis.

² Abreviatura del inglés *severe acute respiratory syndrome coronavirus 2* o coronavirus de tipo 2 causante del síndrome respiratorio agudo severo (World Health Organization, 2022).

³ Acrónimo del inglés *coronavirus disease 2019* o enfermedad por coronavirus (World Health Organization, 2022).

Antecedentes

Situación mundial de la pandemia por COVID-19

De acuerdo con la cronología registrada por la Organización Mundial de la Salud (OMS), el 31 de diciembre de 2019 se recibió el primer reporte oficial de brote⁴ de una neumonía desconocida, proveniente de la ciudad de Wuhan localizada en la provincia china de Hubei (OMS, 2022b). Unos días después, el 7 de enero de 2020, en el Centro Chino para el Control y la Prevención de Enfermedades (CCDC), fue identificado un nuevo coronavirus como responsable del padecimiento (Suárez, Suarez, Oros y Ronquillo, 2020, p. 464). En pocas semanas la transmisión de dicho patógeno alcanzó el nivel de epidemia⁵, por lo que el 30 de enero de 2020 la OMS declaró el correspondiente estado de emergencia de salud pública de importancia internacional (OMS, 2022b). El 11 de febrero del mismo año el Comité Internacional de Taxonomía de los Virus (CITV) denomina este nuevo coronavirus como SARS-CoV-2 y la OMS dio a conocer el nombre COVID-19 para la enfermedad que provoca dicho patógeno (World Health Organization, 2022b). Finalmente, el 11 de marzo del mismo año se caracterizó esta enfermedad como pandemia⁶ (OMS, 2022b) debido a que el total de casos de COVID-19 se elevó drásticamente y alcanzó la cifra de 118 000 distribuidos en 114 países, en ese momento el total de fallecimientos era de 4 291 (OMS, 2022a).

El SARS-CoV-2 tiene alta capacidad de diseminación por aerosoles, así como de identificación molecular de las células hospedadoras, que en este caso son células humanas con receptor de membrana ACE2⁷. Tales características han influido en la rapidez de propagación del patógeno por todo el mundo, así como en la ocurrencia de oscilaciones de aumento y descenso de casos de contagio; por ejemplo, en relación con períodos de tiempo determinados por diversas actividades humanas que propician aglomeraciones (periodos vacacionales, celebraciones sociales, eventos masivos, entre otros). En estas circunstancias, la falta de seguimiento de las

⁴ El brote de una enfermedad infecciosa ocurre cuando se concentran numerosos casos en un espacio geográfico limitado, durante un período breve de tiempo y con evidencia epidemiológica de vínculo entre los sucesos (Real Academia Nacional de Medicina de España, 2022).

⁵ El término epidemia se aplica a una enfermedad que afecta a un gran número de personas en una comunidad, zona o país, en un período de tiempo determinado y con efecto sucesivo e ininterrumpido (Real Academia Nacional de Medicina de España, 2022).

⁶ Una pandemia es la propagación extensa de una enfermedad en gran parte o en la totalidad del mundo (Real Academia Nacional de Medicina de España, 2022).

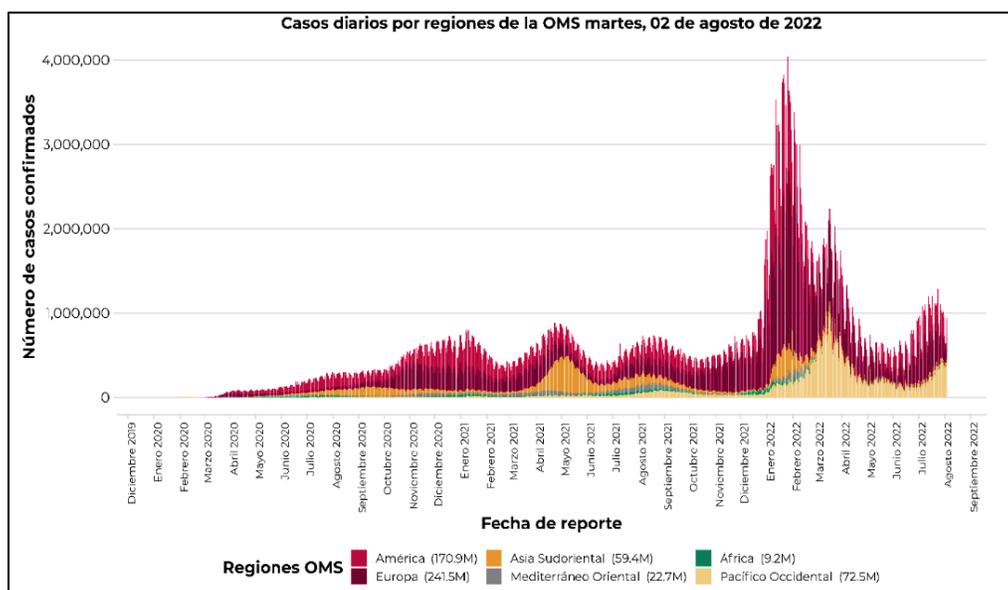
⁷ La molécula ACE2 (*angiotensin-converting enzyme 2*) es el receptor de membrana convertidor de angiotensina tipo II (Yan et al., 2020).

medidas higiénicas preventivas y de contención aumenta la vulnerabilidad de las personas frente a las posibilidades de contagio. De acuerdo con los registros de la OMS (2022c), el 80% de las personas infectadas se recupera sin requerir de hospitalización y, el 15%, desarrolla un cuadro grave y el 5% presenta un cuadro crítico que pone en peligro sus vidas; si bien existen factores de riesgo que pueden aumentar la probabilidad de complicaciones (padecer diabetes o cáncer, por ejemplo), cualquier persona puede contraer el virus y existe un riesgo latente de gravedad.

En México, el 30 de marzo de 2020, la COVID-19 fue declarada como emergencia sanitaria por causa de fuerza mayor (Consejo de Salubridad General, 2020). Al día 4 de agosto de 2022, la OMS reportó un total de 578 142 444 personas infectadas y 6 405 080 muertes (World Health Organization, 2022a); el mismo día, en el territorio mexicano, se contabilizaron 6 821 746 casos confirmados, 753 827 sospechosos, 125 884 activos y 328 128 defunciones (Gobierno de México/CONACYT, 2022). La evolución epidemiológica mundial de la COVID-19 ha presentado fluctuaciones que recuerdan a la población la presencia del SARS-CoV-2 en el entorno, así como la relevancia de continuar con las medidas de prevención de la enfermedad (Figura 1).

Figura 1

Desarrollo epidemiológico comparativo de la COVID-19 en el mundo



Nota. M = millones de personas en total por región. Reproducido de “Informe Técnico Diario COVID-19 México”, por Secretaría de Salud, 2022 (https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/755654/Informe_Tecnico_Diario_COVID-19_2022.08.28.pdf). Obra de dominio público.

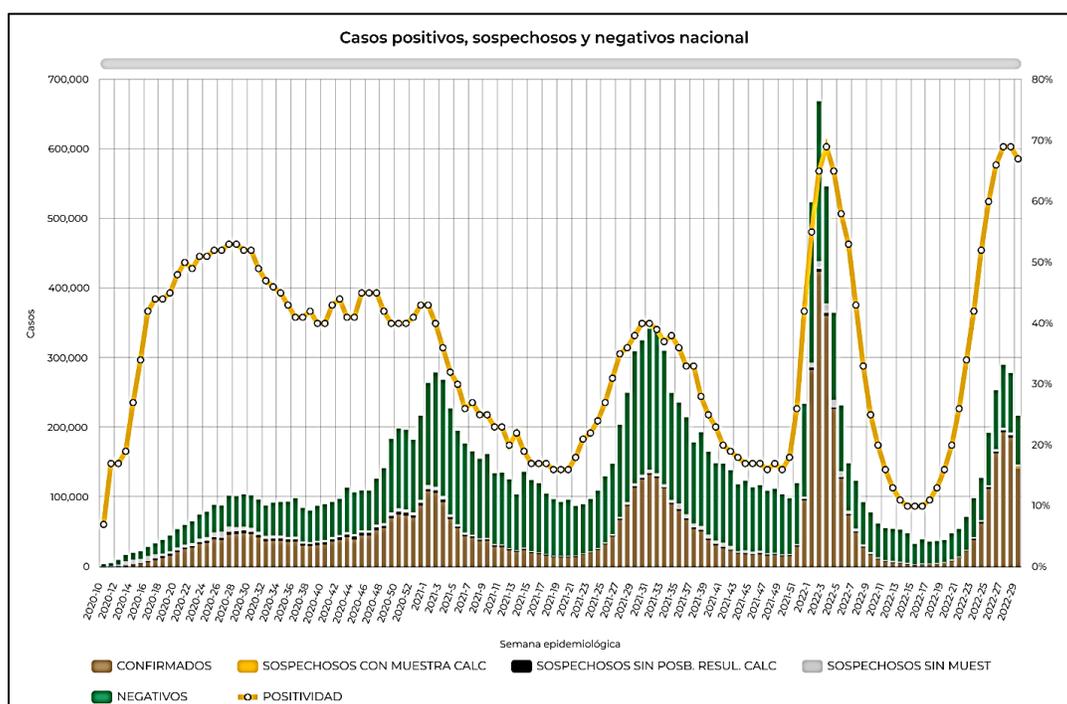
La transmisión del SARS-CoV-2 ha sido constante a lo largo de dos años y medio con cambios abruptos y rápidos que se reflejan, entre otros indicadores, en ascensos y descensos periódicos de los índices o tasas de incidencia⁸ y letalidad⁹ de la COVID-19 en el mundo. La siguiente descripción de Suárez et al. (2020) aporta un comparativo de la rapidez de propagación de la enfermedad en México, misma que ha seguido un patrón similar a la de nivel mundial:

El primer caso de COVID-19 se detectó en México el 27 de febrero del 2020. Sesenta y cuatro días después del primer caso diagnosticado [en China], el número de casos aumentó rápidamente, siguiendo una tendencia de crecimiento exponencial. El número total de casos de COVID-19 en México es de 19.224, incluidos 1.859 fallecidos al 30 de abril de 2020. (p. 470)

La Secretaría de Salud, del Gobierno de México, ha hecho un registro del devenir de la pandemia en el país y algunos de los datos obtenidos hasta el momento de término de la presente investigación, son mostrados en las figuras 2 y 3:

Figura 2

Comportamiento de la pandemia en México



⁸ Resultado al dividir el número de casos nuevos de una enfermedad entre el total de la población expuesta en un período de tiempo (Real Academia Nacional de Medicina de España, 2022).

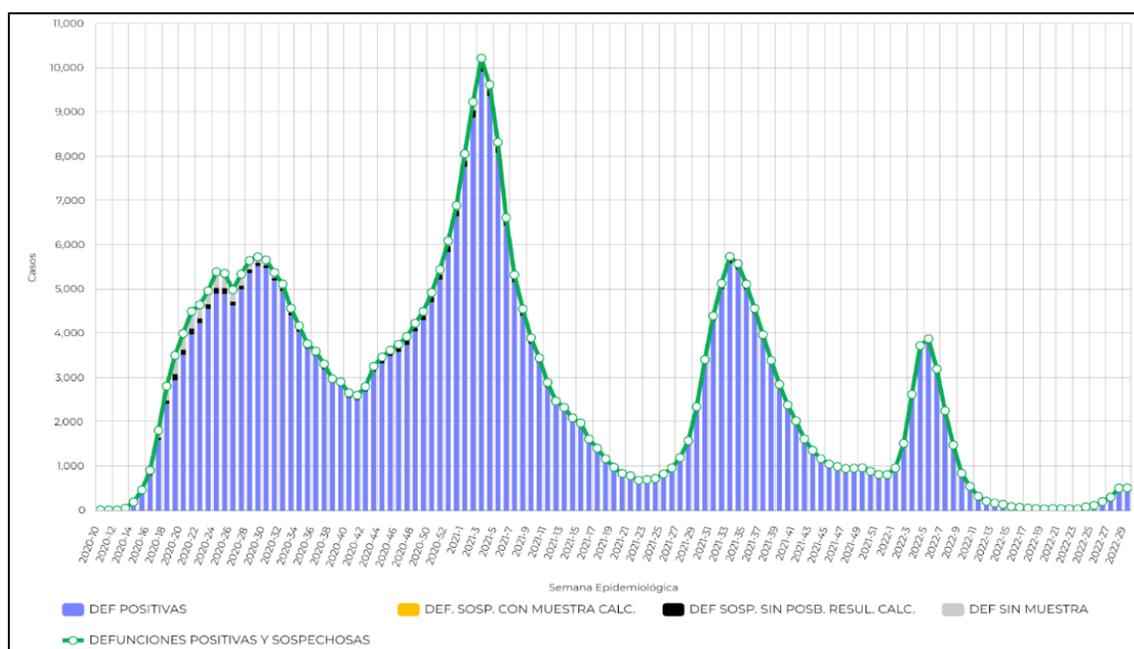
⁹ Es la cifra que resulta de dividir el número de fallecimientos por una enfermedad y entre el número de afectados en un período de tiempo; se expresa como porcentaje (Real Academia Nacional de Medicina de España, 2022).

Nota. La semana epidemiológica¹⁰ 2020-10 corresponde del día 1 al 7 de marzo de ese año y la semana 2022-29 incluye los días del 17 al 23 de julio del año indicado. Reproducido de “COVID-19, México: Datos epidemiológicos”, por Gobierno de México/Dirección General de Epidemiología, 2022 (<https://covid19.sinave.gob.mx/Log.aspx>). Obra de dominio público.

En la Figura 2 se identifican cinco momentos de elevación rápida en los contagios por SARS-CoV-2, mismos que ponen en evidencia la necesidad de que la población en general esté mejor preparada para coexistir con este coronavirus. Los riesgos para la salud de las personas afectadas por COVID-19 incluyen, en numerosos casos, periodos de recuperación prolongados y secuelas diversas, en otros casos existe el riesgo de pérdida de la vida; la Figura 3 ayuda a poner en perspectiva los eventos de pérdidas humanas en México:

Figura 3

México: defunciones confirmadas y sospechosas por semana epidemiológica



Nota. Reproducido de “COVID-19, México: Datos epidemiológicos”, por Gobierno de México/Dirección General de Epidemiología, 2022 (<https://covid19.sinave.gob.mx/Log.aspx>). Obra de dominio público.

¹⁰ Es un periodo de tiempo normado o estandarizado por la OMS, permite registrar los acontecimientos que ocurren en un evento epidemiológico mediante estudios comparativos para comprender el comportamiento de una enfermedad (OMS/Organización Panamericana de la Salud, 2022).

Díaz (2021) retoma la información de la Universidad Johns Hopkins y describe que, al día 15 de julio de 2021, México estaba dentro de los cuatro primeros países a nivel mundial debido a que contaba ya con 235 507 fallecimientos y con una tasa de letalidad de 9.0%. Al 4 de agosto de 2022 el lugar ocupado por el país fue el número 18 (World Health Organization, 2022a), con 327 883 muertes y con una letalidad de 4.8% (UNAM, 2022). Si bien las cifras muestran algunos descensos, el riesgo a la salud continúa presente. Se debe considerar que actualmente se cuenta ya con vacunas, tratamientos e información actualizada sobre la enfermedad. Sin embargo, en la propagación de la COVID-19 existen numerosos factores que influyen en la postura de la población hacia aspectos como la prevención. Uno de éstos es la comprensión de la información básica sobre las características tanto del patógeno como de la enfermedad y que puede favorecer la aplicación más efectiva de las medidas de contención y prevención.

Acerca de los síntomas provocados por el padecimiento, los científicos han identificado una alta diversidad de afectaciones que tienen su origen principal en el tipo de células infectadas por el SARS-CoV-2 y que se encuentran prácticamente en todo el cuerpo humano. Por otra parte, es posible reconocer los siguientes efectos más comunes de la COVID-19: fiebre mayor a 38°C, dolor de cabeza, tos seca, dolor de garganta y articulaciones, pérdida de gusto y olfato, diarrea, dificultad para respirar, oxigenación menor a 90% y malestar general. En casos graves, falla orgánica en diversos sistemas del cuerpo (Gobierno de la Ciudad de México, 2022; Mojica y Morales, 2020; OMS, 2022c; Secretaría de Salud/Estado de México, 2022).

Desde el inicio de este problema sanitario la OMS se encuentra trabajando coordinadamente con diversos grupos de investigadores para construir conocimiento científico que permita conocer con mayor detalle al virus SARS-Co-2, encontrar medicamentos adecuados para los tratamientos, producir mejores vacunas que permitan controlar la propagación y disminuir los contagios, así como mejorar las medidas de protección (OMS, 2022c). Acerca de las recomendaciones para contener y prevenir la enfermedad, ocupan un lugar relevante las referidas a las medidas de higiene, por ejemplo: el lavado frecuente de manos con agua y jabón durante al menos 20 segundos; desinfección de superficies y objetos con soluciones de jabón, de alcohol o de cloro; establecer una distancia mínima de 1.5 a 2.0 metros al hablar con otras personas, el uso correcto del cubrebocas para evitar esparcir gotículas de saliva y secreciones respiratorias; ventilar los espacios y evitar aglomeraciones (OMS, 2022c; UNAM/Facultad de Medicina, 2022).

Las medidas enunciadas tienen su razón de ser en el tipo de propagación que caracteriza a este virus, pues el contagio ocurre básicamente por contacto del SARS-CoV-2 con las células de los epitelios que recubren la boca y los conductos del sistema respiratorio de una persona sana. Éstas son las vías de acceso del virus mediante contaminación por aerosoles¹¹ o gotículas que son expulsadas por una persona enferma. Incluso éstas pueden quedar adheridas en superficies de todo tipo que, si son tocadas por otros sujetos y llevadas a las vías de acceso, pueden continuar propagando al patógeno. Una vez que el virus se encuentra dentro del cuerpo, las proteínas de sus espículas identifican al receptor de membrana específico celular, el virus se adhiere a él y desencadena un proceso bioquímico que le permite introducir su material genético al citoplasma y aprovechar la maquinaria celular para elaborar numerosas réplicas virales que, al salir al ambiente, infectan a otras células. La infección detona una serie de complicaciones y afectaciones del virus en diversos tejidos, órganos y sistemas del cuerpo humano, como el sistema respiratorio. La presencia del virus además provoca una respuesta inmunitaria cuyas reacciones se suman a las ya provocadas por el daño celular directo.

De acuerdo con Molina (2020), algunos de los factores más importantes que explican la velocidad de transmisión del virus se relacionan con la estructura química de la cápside o cubierta y otros con el comportamiento humano como es el seguimiento inadecuado de las medidas preventivas de la infección. El autor explica que la cubierta del virus SARS-CoV-2 posee espículas que tienen, entre otras moléculas, la secuencia de aminoácidos arginina-arginina-alanina-arginina, misma que reconoce químicamente a la furina¹², una enzima abundante en los tejidos pulmonares; la reacción entre ellas causa la apertura de la membrana celular y la entrada del virus al citoplasma, donde encuentra las estructuras para replicarse y continuar con el proceso de propagación; esto otorga al virus una alta infectividad¹³. Agrega Molina que también la conducta social despreocupada ha contribuido con la diseminación del virus y el elevado índice de contagios. Como ejemplo de ello, el medio informativo VOA (2020), resalta el llamado que la OMS hace a la población joven de todo el mundo para que recapacite sobre la necesidad que sienten de romper el confinamiento y asistir a reuniones masivas; en específico, los epidemiólogos Mike Ryan —

¹¹ Dispersión de diminutas partículas sólidas o líquidas (dimensiones entre 1 y 100 μm) en un gas; 1 micrómetro (μm) equivale a una millonésima parte de un metro (Real Academia Nacional de Medicina de España, 2022).

¹² La furina provoca la escisión de los dominios S1 y S2 de la proteína *spike* del SARS-CoV-2 (Díaz et al., 2021).

¹³ Es la capacidad de invasión y multiplicación de un microorganismo para invadir a otro organismo; se mide como el número suficiente de partículas infecciosas para iniciar una infección. Se calcula con una tasa de ataque secundaria (Gil y Vaqué, 2008).

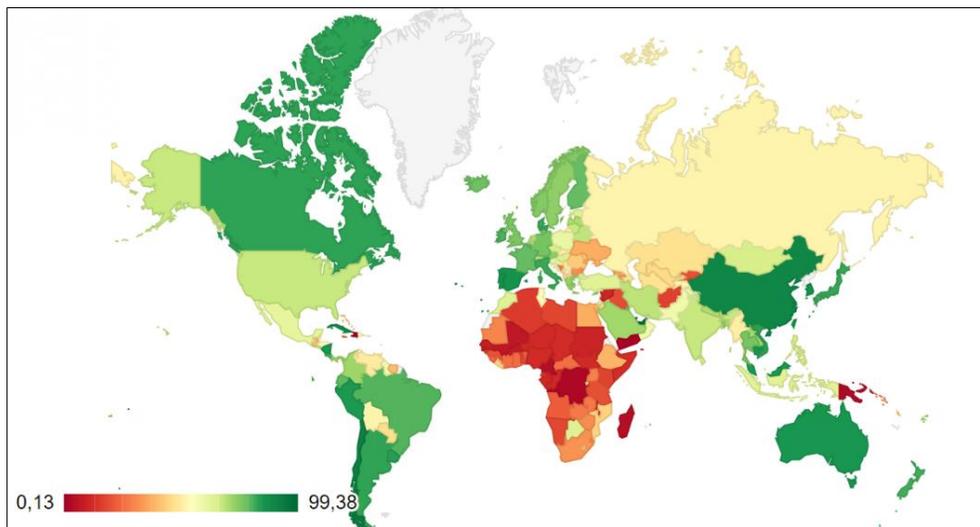
director de emergencias de salud— y María Van Kerkhove enfatizan que la juventud debe asumir el papel que le corresponde para frenar la pandemia. Ambos investigadores se refieren al repunte de contagios que sucede con las aglomeraciones debido a la reapertura de sitios de reunión, por ejemplo, bares, fiestas y eventos deportivos, en los cuales no se siguen las medidas de contención.

Esfuerzos internacionales y nacionales para controlar la propagación del SARS-CoV-2

Es evidente que el comportamiento de la gente conlleva responsabilidad individual y corresponsabilidad, actitudes indispensables para controlar la propagación del SARS-Cov-2 y recuperar la vida cotidiana con un mínimo riesgo de un contagio que lleve al padecimiento, el desarrollo de secuelas o incluso a la muerte. Entre los esfuerzos internacionales para controlar la pandemia se encuentra la elaboración de vacunas, de acuerdo con la Organización Panamericana de la Salud (OPS) y la OMS (2022), hasta diciembre de 2020 se registraron más de 200 vacunas diferentes —en proceso de investigación y producción en ese momento— con el objetivo de proteger a la población mundial, 50 de ellas estuvieron en fase de prueba en humanos. La primera vacuna contra la COVID-19 fue aplicada el 8 de diciembre de 2020 en Inglaterra y continúan los esfuerzos mundiales por inocular a la mayor parte de la población, en el menor tiempo posible. Con base en los resultados reportados por la OMS (World Health Organization, 2022a) para la campaña de vacunación masiva, hasta el 5 de agosto de 2022, se registraron 12 308 330 588 dosis aplicadas a nivel mundial y 4 845 535 590 personas con el esquema completo. En México la vacunación comenzó el 24 de diciembre de 2020, para el 5 de agosto de 2022 se tuvieron 79 947 470 personas con las dosis completas, lo que corresponde al 62.01% de mexicanos protegidos temporalmente. La Figura 4 muestra el resultado comparativo del esfuerzo internacional para contener la pandemia con ayuda de las vacunas contra la COVID-19:

Figura 4

Población mundial con el esquema de vacunación contra COVID-19 completo



Nota. Los matices de color corresponden a porcentajes de vacunación en la población total. Reproducido de “COVID-19-Vacunas administradas”, por Expansión. Datos macro, 2022 (<https://datosmacro.expansion.com/otros/coronavirus-vacuna?anio=2022>). Obra de dominio público.

Frente a esta información estadística es esencial considerar que, si bien la población humana en la actualidad es de alrededor de 7 953 952 de personas (United Nations Population Fund, 2022), el virus está causando serios daños en la salud de un elevado número de infectados (que manifiestan síntomas y secuelas), así como el deceso en numerosos casos, además de alteraciones en todas las áreas de la vida humana (economía, educación, diversos rubros de salud pública y la socialización, por ejemplo). Por otra parte, se debe tomar en cuenta el efecto del alto número de sujetos asintomáticos debido a que el SARS-CoV-2 tiene la capacidad de propagarse antes de que se manifiesten de forma evidente las primeras alteraciones en la salud (CDC, 2022). Un aspecto que resalta con la información mencionada es que —además de la actividad de la comunidad científica por lograr avances médicos y de investigación en diversas líneas sobre el SARS-CoV-2 y el comportamiento de la COVID-19— es fundamental contar con el compromiso de la gran mayoría de las personas para protegerse mutuamente. Como fue posible observar, por ejemplo, en varios medios de comunicación durante los primeros meses de la pandemia el comportamiento de la gente mostró diversas respuestas, numerosas favorables para contener la propagación del padecimiento, pero otras lamentablemente incluyen la incredulidad ante la

existencia del virus y se manifiestan como teorías conspirativas, rechazo al uso del cubrebocas, impaciencia ante los periodos de cuarentena, agresión al personal de salud y creencia en información no confiable o procedente de fuentes no científicas.

En el transcurso de dos años y medio, los medios de comunicación y la vida diaria han mostrado ejemplos de las opiniones, formas de percepción y reacciones de las personas ante la crudeza de la crisis sanitaria. Aunque existe un número alto de variables que influyen en el comportamiento humano, es posible que algunas de ellas como el desconocimiento, la carencia de referentes para distinguir la información confiable de la que no lo es y la falta de empatía, se relacionen con reacciones que van en contra de la solidaridad necesaria para que el esfuerzo mundial contrarreste la crisis originada por un riesgo compartido como lo es la COVID-19. Sanz (2020), Coordinadora Residente de la ONU-México, resalta que la OMS considera las vacunas como un logro esencial para el control de la infección, pero que se debe continuar con las medidas sanitarias, sobre todo las relativas a reuniones sociales, mantenimiento de la distancia física, el uso de cubrebocas, el lavado de manos, así como la acción solidaria común.

Por otra parte, Morales (2020), quien es Representante de OPS en México, expuso que el incremento en los casos de contagio y fallecimientos en México fue crítico y advirtió sobre las consecuencias económicas que afectarían a toda la población, sobre todo a personas en extrema pobreza, lo que haría aún más complicada la inclusión de la gente en las medidas de salud pública (OPS/OMS, 2022). Morales insiste en que los especialistas reiteran la necesidad de practicar las medidas preventivas en lugares públicos y centros de trabajo, así como tener presente el lema “yo me protejo y tú me proteges” para todas las personas sin excepción. Ello, agrega, sin descuidar otras necesidades como la prevención de todas las formas de violencia, el acceso a los alimentos y a la educación, las coberturas de vacunación de otras enfermedades, así como el impacto psicológico del estrés. Morales insiste en que se deben involucrar todos los niveles de organización social, tanto el federal, como el estatal y municipal, así como a la sociedad civil —principalmente familias y comunidades—, para resolver el impacto de la pandemia y continuar actuando con precaución. También remarca el representante que esto es muy importante ya que la mitad de la población debe salir de sus casas para realizar diferentes actividades como trabajar. En el primer año de la pandemia la OMS manifestó su preocupación por el aumento de las cifras en México a causa de COVID-19: del 12 de octubre a noviembre, los contagios ascendieron de 2 000 a 4 000 y los fallecimientos de 31 000 a más de 60 000, lo que provocó un llamado enérgico para las

autoridades mexicanas. En particular, el doctor Tedros Adhanom —director general de la OMS— enfatizó la importancia del uso del cubrebocas y de que los líderes (políticos, religiosos y tradicionales) dieran el ejemplo de su uso a la población (Noticias ONU, 2020).

Lo descrito hasta este momento evidencia que la toma de decisiones en momentos de crisis sanitaria debe tener congruencia en todos los actos en lo individual, en comunidad y por parte de las autoridades de gobierno. Es deseable que las acciones de la población, sin excepción, se alinearan con las políticas de salud pública¹⁴, para comprender que el problema sanitario que se vive es serio. De acuerdo con lo anterior, se espera que la construcción de conocimiento científico sobre el SARS-CoV-2 y la COVID-19 contribuya en dicha comprensión, la que permitiría ofrecer oportunidades de aprendizaje para desarrollar la empatía, la solidaridad, así como la búsqueda del bien de la comunidad. Ello, a partir de la participación individual responsable ya que, en esta situación, la vida está ante un peligro real tanto a nivel local como global. Este alto riesgo para la salud es de origen biológico y natural; es abordado por la ciencia para su estudio y comprensión, lo que posibilita la generación de explicaciones racionales que contribuyen, por ejemplo, en la valoración de las medidas sanitarias de contención y prevención de la pandemia.

En correspondencia con lo anterior, en el Capítulo 2. Estado de la Cuestión, se incluyen los escasos reportes existentes en investigación educativa —realizados en muestras de sujetos de 16 a 25 años de edad— acerca del estudio de las explicaciones espontáneas estudiantiles relacionadas con el fenómeno de infección viral, en general, y del SARS-CoV-2 en particular. Esto tiene relevancia porque la vía más importante para que la población acceda al conocimiento científico es la educación formal. En el ámbito escolar, es actualmente la Didáctica de las Ciencias (DC) la que incluye en sus opciones de sustento teórico el enfoque de modelos para la enseñanza de las disciplinas científicas, como la biología. Por ello, en la presente tesis se parte de dicho enfoque que sustenta la posible construcción de conocimiento científico escolar (CCE) necesario para que los estudiantes elaboren explicaciones cada vez más cercanas a las proporcionadas por la ciencia. Se eligió el nivel de Educación Media Superior para el contexto curricular del fenómeno de referencia debido a que es el más pertinente dado que incluye los contenidos que se vinculan directamente con la complejidad explicativa necesaria que permite abordar el fenómeno desde la disciplina biológica.

¹⁴ Son estrategias para la toma de decisiones en todos los sectores y que permiten, entre otros aspectos, la prevención de enfermedades (Gobierno de México, 2022) y crean entornos propicios para la salud (OPS/OMS, 2014).

Formulación del problema

En el contexto de la DC, con una visión de modelo cognitivo de ciencia, se espera que el diseño de una secuencia didáctica (SD) propicie la construcción de conocimiento en un marco epistemológico semanticista que aporta conceptos como modelos y modelización. Por ello, es fundamental identificar las explicaciones espontáneas estudiantiles e inferir a partir de éstas los modelos mentales o representaciones abstractas mediante los cuales los alumnos interpretan el mundo. Al respecto, como se aborda en el apartado Pensamiento espontáneo (ver página 86), Rufina Gutiérrez analiza la estructura de las representaciones abstractas y permite empatar el constructo modelo científico con modelo mental. De esta forma, es posible identificar entidades, propiedades, relaciones causales y relaciones funcionales en los modelos elaborados por los alumnos. Dichos constructos proporcionan elementos de vínculo relevante para los educandos y les permiten construir CCE útil en el desarrollo de modelos cada vez más complejos y racionales con los cuales describan, expliquen y predigan los fenómenos naturales. Así, resulta interesante indagar la manera de pensar de los estudiantes sobre el fenómeno de infección por SARS-COV-2 en células humanas y se espera que los aportes de la tesis contribuyan con próximos trabajos de investigación/intervención que puedan llevar a cabo el diseño y validación de SD. Cabe mencionar que algunos de los retos educativos inherentes son, por ejemplo, que los estudiantes comprendan qué sucede en el cuerpo humano con la infección viral por SARS-CoV-2 y, mediante construcción de modelos científicos escolares, contribuir en el desarrollo del pensamiento crítico para la toma de decisiones saludables relacionadas con la prevención de enfermedades infecciosas, como la COVID-19. Tal construcción de CCE fortalecería la conservación de la salud individual de los educandos y de su comunidad.

De esta forma, la atención de la tesis se centra en conocer las explicaciones espontáneas de alumnos de Educación Media Superior acerca del fenómeno elegido, así como en la perspectiva de que es posible transformar las concepciones iniciales hacia explicaciones con mayor potencial heurístico para explicar el fenómeno de referencia. En particular, fue seleccionada la modalidad Escuela Nacional Preparatoria, de la Universidad Nacional Autónoma de México (ENP/UNAM). El trabajo documental realizado permitió comprobar que, hasta el momento, hay escasez de literatura didáctica especializada sobre el fenómeno de enfermedades infecciosas virales y, en específico, en relación con el SARS-COV-2 y la COVID-19. Esto último se explica —en parte— por el carácter emergente de la pandemia. Tal ausencia en la investigación educativa origina dos

obstáculos interrelacionados que aquí se consideran fundamentales para el tratamiento didáctico sobre el fenómeno de referencia específico en la enseñanza de la biología: conocimiento insuficiente sobre el pensamiento espontáneo de los alumnos y carencia de criterios que puedan orientar el diseño y validación de SD bajo el enfoque de modelos. Por otro lado, también se denota que falta información relacionada con la acción viral. Pues teniendo claridad de los ciclos lítico y lisogénico, se puede comprender el mecanismo de acción de diferentes virus. Debido a estas razones surgen las siguientes necesidades que conducen, a su vez, al problema de investigación:

- Indagar las explicaciones espontáneas de estudiantes de Educación Media Superior sobre el fenómeno de infección viral por SARS-CoV-2, así como el origen de los síntomas más comunes de la COVID-19.
- Conformar información empírica —con trabajo de campo— que puede ser útil en posteriores trabajos de investigación/intervención.

Preguntas de investigación

Las preguntas listadas en los párrafos siguientes permitieron profundizar en las explicaciones espontáneas provenientes del sentido común de los educandos y que fueron obtenidas mediante el trabajo de campo. Estos datos empíricos procedentes de alumnos de Educación Media Superior reflejan las posibles entidades, propiedades y relaciones, tanto causales como funcionales, de su propio modelo mental para explicar el fenómeno de referencia. De esta forma, se hizo la inferencia de la ontología propia del Modelo Estudiantil Inicial con base en datos empíricos (MEId), misma que se contrastó con la ontología de la explicación científica escolar proveniente de un Modelo Científico Escolar de Arribo (MCEA) elaborado *a priori*.

Con base en lo descrito, se presenta la pregunta central de investigación de la tesis:

I. ¿Cuáles son y qué características muestran las explicaciones espontáneas de estudiantes adolescentes mexicanos de Educación Media Superior, en términos de modelos, acerca del fenómeno de infección de células humanas por SARS-CoV-2?

Ésta da origen a los cuestionamientos siguientes y que especifican los rubros más relevantes de este estudio:

- i. ¿Cuál es la ontología en las explicaciones espontáneas estudiantiles sobre el proceso de infección por SARS-CoV-2?

- ii. ¿En qué grado los estudiantes reconocen la relación causal y funcional entre la presencia del coronavirus en el organismo y la diversidad de síntomas de la enfermedad COVID-19?
- iii. ¿Qué tan cercanos son los modelos espontáneos de los alumnos, a un MCEA postulado *a priori*, para comprender la infección por SARS-CoV-2?
- iv. ¿Es posible categorizar los modelos espontáneos de los alumnos con ayuda del MCEA para identificar sus características explicativas?
- v. ¿Qué desafíos presentan los modelos estudiantiles espontáneos para el diseño y validación de una SD que aborde la infección de células humanas por SARS-CoV-2 y los síntomas de la COVID-19?

Cabe aclarar que se propone el dispositivo teórico-metodológico MCEA para la orientación en la construcción de CCE. Éste incorpora los Modelos Estudiantiles Iniciales inferidos a partir de la recuperación de las explicaciones espontáneas de los alumnos registradas en la literatura didáctica especializada (MEI) (ver Capítulo 2. Estado de la Cuestión). Al mismo tiempo, este dispositivo es el medio de comparación para conocer la ontología de los MEI.

Hipótesis

Para el planteamiento de la hipótesis se tomaron en cuenta dos aspectos que se relacionan con la construcción de conocimiento científico escolar: el primero, es la posibilidad de modificar las formas espontáneas del pensamiento estudiantil hacia explicaciones más sólidas; el segundo, se refiere a la oportunidad de identificar las características explicativas que tienen tales formas espontáneas del pensamiento de los alumnos.

Desde la perspectiva de los modelos en la enseñanza de las ciencias, y de acuerdo con investigadoras como Gutierrez (2001, 2007 y 2017) y Nersessian (2007), la transformación del pensamiento espontáneo hacia el pensamiento científico es posible con base en las capacidades y necesidades cognitivas que presentan todas las personas. Dicha transformación¹⁵ es posible al propiciar en los sujetos nuevos elementos explicativos que permitan una comprensión más robusta del fenómeno de referencia (Nersessian, 2007; Galvis y Angulo, 2019; López y Mota, 2019). Tal

¹⁵ Cabe aclarar que en el discurso del presente documento —para hacer referencia a la transformación gradual de los modelos estudiantiles espontáneos— también se utilizan los términos *tránsito*, *transitar* y *transición*.

comprensión será resultado de procesos de construcción de conocimiento científico escolar que tiene como uno de sus referentes ontológicos y epistemológicos el proveniente del mundo científico biológico, en términos de ciencia estándar o universitaria. Las capacidades y necesidades cognitivas puntualizadas por Gutierrez (2001, 2007 y 2017) y Nersessian (2007) incluyen abstracción, representación mental, construcción de significados, así como la tendencia psicológica natural para hacer preguntas y buscar respuestas que permitan comprender el mundo.

Esta tesis tiene su foco en las representaciones mentales que elaboran los alumnos, es decir, en los productos de tales capacidades y necesidades. Por lo tanto, la exploración de las ideas espontáneas de los educandos —en cuanto a la ontología, el establecimiento de relaciones causales y de relaciones funcionales que involucran en la comprensión del fenómeno de referencia— son fundamentales para inferir los modelos estudiantiles y sus características explicativas. El primer paso en esta exploración fue revisar los reportes en la literatura didáctica especializada sobre las explicaciones espontáneas en alumnos adolescentes relacionadas con el fenómeno de interés (ver sección Reportes sobre las ideas espontáneas de sujetos con edades de 16 a 25 años, página 43). Con este trabajo documental quedaron en evidencia visos de escasez y consecuente debilidad en la construcción de conocimiento científico escolar acerca del fenómeno de infección viral en general. Esto ha permitido inferir la posible existencia de dicha escasez en la muestra seleccionada para la presente investigación.

Una vez hechas estas consideraciones, y dado que el estudio realizado es de carácter exploratorio, **se elaboró la siguiente hipótesis para validar:**

Existe escasez de componentes ontológicos, causales y funcionales en las explicaciones espontáneas de un grupo estudiantil de preparatoria sobre el fenómeno de infección viral por SARS-CoV-2.

La importancia de probar esta hipótesis radica en que tal escasez puede ser un factor que obstaculice la construcción de conocimiento necesario para transitar hacia un MCEA propuesto para este fenómeno. A su vez, pudiera interferir con la comprensión del fundamento científico de las medidas sanitarias de prevención contra la enfermedad COVID-19.

Con respecto de la escasez de componentes o elementos ontológicos y epistemológicos en el pensamiento espontáneo estudiantil, se utilizan también en esta tesis los términos *dificultad* —referida a la transformación de los modelos estudiantiles— y *diferencias* —asociadas a la comparación de los modelos estudiantiles con el MCEA propuesto—.

La hipótesis planteada, como ya se explicó, centra la atención del estudio en las características de los modelos espontáneos de los estudiantes con la finalidad de identificar y analizar —en principio— aquellos aspectos que pueden obstaculizar, e inclusive propiciar, la construcción de conocimiento sobre el fenómeno natural de interés. Las contribuciones que se deriven darán evidencias empíricas directas y provenientes de alumnos de Educación Media Superior sobre un fenómeno sociocientífico vigente, urgente de contener y, de ser posible, solucionar. Otro aspecto esencial en el que se espera aportar en un futuro es en la práctica docente con orientaciones de planeación sustentada, organizada y sistematizada de SD con mayor congruencia con el desarrollo de la comprensión de los fenómenos científicos y que rebasen la mera repetición o memorización de información científica. En cuanto al currículum escolar para el desarrollo de la tesis, se toma el Contenido Conceptual ‘3.3 Los virus y el cáncer’, incluido en el documento *Programa Analítico. Biología IV. Quinto Año* (ENP/UNAM, 2017). Como uno de los puntos sustanciales, se espera abrir la posibilidad de profundizar y enriquecer el tratamiento de los contenidos relacionados con infecciones virales diversas (VIH/sida, VPH/papiloma humano, influenza A(H1N1) u otros semejantes.

Justificación

COVID-19 como problema sociocientífico en la Didáctica de las Ciencias

Con base en los antecedentes descritos, es crucial la conformación de CCE por parte de los estudiantes de todos los niveles educativos referente a las características del coronavirus, de las células humanas hospedadoras y del mecanismo infeccioso del agente patógeno denominado SARS-CoV-2. Este conocimiento es indispensable para comprender de manera racional la forma de propagación, de ingreso al cuerpo, la interacción que establece con las células, así como los daños que provoca y que causan los síntomas de la enfermedad COVID-19. Esto permitiría que los estudiantes comprendan de forma más evidente para ellos la necesidad de aceptar por convicción las medidas de contención e higiene elementales, justificarlas apropiadamente y aprender a tomar decisiones saludables que contribuirían con la cultura del autocuidado y la prevención. El conocimiento científico construido en la escuela sobre este fenómeno infeccioso tiene mayor probabilidad de ser transferido a la vida cotidiana si el educando puede comprobar que es aplicable; esto es, que la explicación que es capaz de elaborar le ayuda a entender una parte de la realidad. Otro aspecto esencial es que el CCE aporta elementos consistentes para identificar

la información confiable de la que no lo es y permite que los alumnos sean capaces de discriminar los contenidos de dudosa validez científica disponibles en redes sociales acerca de la COVID-19.

Lo anterior puede prevenir la toma de decisiones de alto riesgo por desconocimiento, como convivencia en espacios mal ventilados, uso incorrecto del cubrebocas, minimizar los efectos del padecimiento, automedicación, no seguir las medidas de higiene y dudar de la existencia del coronavirus. Por ejemplo, la estructura molecular del coronavirus, su tamaño y propagación por aerosoles contaminados lo hacen notoriamente eficaz en su invasión hacia el interior del cuerpo humano y en la identificación de las células vulnerables a él, pero también son características distintivas que ayudan a comprender las medidas de prevención como el uso correcto del cubrebocas y la desinfección de manos, objetos y espacios de convivencia con jabón, alcohol o cloro. La elaboración de CCE, desde el enfoque de modelos posibilita que los alumnos incorporen componentes ontológicos¹⁶ en sus representaciones o modelos mentales para elaborar explicaciones congruentes que lleven al entendimiento del fenómeno de infección viral. Además de componentes epistemológicos que les permitan explicar y comprender las relaciones entre la existencia del patógeno y las condiciones para que se desarrolle la enfermedad. Tal comprensión contribuye con la participación en la ruptura de la cadena de contagios. Así es como resalta la necesidad del desarrollo de un pensamiento crítico en los estudiantes por la toma de decisiones fundamentadas que les permitan contribuir en la prevención de situaciones de riesgo de contagio, de identificación oportuna del padecimiento y de los cuidados durante la enfermedad, por ejemplo.

De esta manera, se aborda el fenómeno de referencia de infección viral por SARS-CoV-2 en células humanas desde la modelización teórica proveniente de la biología, en este sentido la exploración y análisis de los MEId se concentró en el mecanismo infeccioso de dicho patógeno y la relación causal con la enfermedad COVID-19. El alcance, como ya se mencionó en el apartado anterior, es incidir en la construcción de CCE para incrementar la probabilidad de que el alumno asuma las medidas preventivas correspondientes aplicando la reflexión. Como explican Izquierdo y Adúriz-Bravo (2021), que el educando desarrolle su pensamiento crítico¹⁷ para encontrar utilidad y dar sentido a las explicaciones científicas. Izquierdo y Adúriz-Bravo también exponen que la

¹⁶ Por ejemplo, entidades con sus propiedades.

¹⁷ Esto con el desarrollo de competencias cognitivas científicas como capacidades para, por ejemplo, explicar, argumentar, inferir, contrastar hipótesis y usar analogías (Quintanilla, Izquierdo y Adúriz, 2014).

reconstrucción modeloteórica de la ciencia es pertinente para re-construir los modelos científicos escolares, pero que se debe considerar lo siguiente:

Las ciencias cognitivas nos dicen que las competencias que tienen que ver con pensar científicamente no son como “montar en bicicleta” (en el sentido de que cuando hemos aprendido a montar en una podemos hacerlo más o menos en cualquiera). Estas competencias cognitivas no se aplican tan fácilmente a cada compleja situación de la que se ocupan los textos científicos (que son portadores de las ciencias de referencia), y mucho menos a asuntos propios del mundo del estudiantado, a menudo multidisciplinares y “sociocientíficos”. Los procesos de *modelización teórica* (Merino e Izquierdo-Aymerich, 2011; 2013) están fuertemente incrustados en el saber propio del área; un pensamiento razonado y crítico basado en ellos no puede utilizarse sin más en cualquier contexto. Se ha de poner a prueba (en definitiva, aprender) en el propio dominio de conocimiento en el cual se gestaron los modelos que se emplearán. Por ello, es fundamental decidir qué actividad científica concreta, cognitiva, colectiva, transparentemente fundada en datos y en principios teóricos se va a desarrollar en cada nivel escolar. (p. 82)

A lo anterior se agrega lo que Rodríguez, Izquierdo y López (2011) explican acerca de la necesidad de propiciar condiciones de enseñanza y de aprendizaje para que los alumnos se apropien del conocimiento científico, pero en un marco social y cultural donde sus procesos tengan significado. Con base en ello, aclaran los autores, es recomendable que la educación en ciencias considere situaciones cotidianas que posibiliten apreciar la relevancia del conocimiento científico, así como de las competencias derivadas de su construcción, para la toma de decisiones ante problemas sociocientíficos. Esto implica que, con relación a la cuestión de abordar aprendizajes significativos, es deseable la utilización de fenómenos científicos que permitan retomar de forma evidente el contexto real que incentive el interés de los educandos para la construcción de conocimiento. Durante la pandemia todas las personas han estado expuestas a una gran cantidad de información relacionada con el SARS-CoV-2 y, tal vez, un gran número de adolescentes además han tenido casos de COVID-19 en su persona, en sus familias y en los círculos de convivencia cercana. Frente a tales experiencias, la necesidad natural por comprender lo que ocurre con este fenómeno que afecta la salud puede ser, por una parte, campo propicio tanto para generar y reforzar falsas creencias o, por otra, propiciar la búsqueda de explicaciones y argumentaciones basadas en evidencia científica. En ambos casos, los efectos de cómo se entiende la información

tienen repercusiones en la vida cotidiana en cuanto a la conservación de la salud a corto y mediano plazo. Esto si se considera la probabilidad de contagio al descuidar las medidas preventivas ya sea por desconocimiento o por tener información no sustentada, o la disminución de dicha posibilidad si se toma la decisión de seguirlas en todo momento como resultado de comprender el mecanismo de infección y su relación con el origen biológico de los síntomas.

Los pensamientos espontáneos de los alumnos permiten tener un punto inicial como diagnóstico del cual partir en la enseñanza del contenido curricular. Además de ello, pueden ser enriquecidos teóricamente y modificados durante el proceso de construcción de CCE que les permita reconocer el modelo científico escolar para el fenómeno de referencia de infección viral por SARS-CoV-2. El reconocimiento ocurrirá por medio de las representaciones que tienen acerca del mismo, experiencias individuales acerca de la pandemia, hábitos de higiene, lenguaje y creencias, por ejemplo. Este conjunto de variables se refleja en las explicaciones de sentido común y son el material esencial que permitiría encontrar las estrategias adecuadas para detonar la curiosidad, el interés y la necesidad por conocer y comprender. Además de los puntos de anclaje entre el modelo espontáneo inferido a partir de dichas explicaciones espontáneas y el modelo científico hacia el que se pretende transitar.

Gómez y Adúriz (2011) hacen hincapié en que la ciencia escolar (CE) debe ser auténtica, es decir, debe tener un vínculo evidente con la realidad de las personas para que éstas, por ejemplo, tomen decisiones responsables en asuntos sociocientíficos:

Los llamados *asuntos sociocientíficos* son problemas complejos cuyo tratamiento involucra no sólo conocimientos científicos y tecnológicos, sino también decisiones que trascienden con mucho el ámbito de la ciencia y requieren de competencias científicas muy elaboradas, como la argumentación. Por ejemplo, el conocimiento biológico sobre qué es un clon y cómo se “fabrica” no proporciona suficiente justificación ni para fomentar ni para prohibir la clonación humana con fines reproductivos. Para tomar decisiones en uno u otro sentido, la sociedad en su conjunto –a través de sus representantes– debe sopesar, además de los aspectos estrictamente tecnocientíficos naturales, cuestiones relacionadas con la ética, la política, la economía, la jurisprudencia y los derechos humanos. Elementos culturales locales, como las tradiciones, la cosmovisión o la religión de un determinado pueblo, y universales, como los tratados internacionales o el respeto por los derechos humanos, sin duda tendrán gran influencia en las decisiones que se tomen. El debate de estos temas en

el aula, propuesto en los acercamientos CTS [Ciencia, Tecnología y Sociedad], puede resultar muy fructífero para el alumnado. (p. 121)

En este sentido, la tesis considera la explicación del fenómeno de infección viral por SARS-CoV-2 desde el dominio de la biología y pretende abonar evidencia empírica que puede ser útil, desde la interdisciplina, en la construcción de un modelo complementario o de otros modelos al tener un vínculo con otras disciplinas. Así, las contribuciones que se logren pueden ser retomadas por diversas asignaturas del nivel educativo considerado para continuar construyendo conocimiento que enriquezca la formación integral de los educandos.

De acuerdo con López (2019) los contenidos de enseñanza elegidos para la DC deben reflejar los propósitos educativos, éstos incluyen los siguientes aspectos: científico, como elemento de referencia de la disciplina en cuanto a su epistemología; cognitivo, que considera al alumno como ser cognoscente; antropológico, al conceptualizar al ser humano íntegro; y lo sociológico, porque toma en cuenta las características culturales, económicas y políticas de educando. Así, agrega López, se hace necesaria una transposición didáctica considerando el análisis de la estructura de los contenidos curriculares, cuyo primer paso será la simplificación de los contenidos para pasar a su reconstrucción. El autor precisa que esta parte del proceso de selección de contenidos del currículum escolar y tratamiento para su enseñanza implica rebasar el abordaje de los temas curriculares como meros conceptos y principios científicos, para dar paso al desarrollo de los contenidos a partir de un fenómeno natural con sobresaliente significado educativo.

Por las razones expuestas se considera como contenido de relevancia sociocientífica —en esta investigación— el mecanismo de infección viral por SARS-CoV-2 en células humanas; este patógeno es causante de la enfermedad COVID-19, misma que es un problema de salud mundial clasificado por la OMS como pandemia (OMS, 2022b) y —derivado de ello— en México como emergencia sanitaria por causa de fuerza mayor (Consejo de Salubridad General, 2020). Con base en esta perspectiva, el contenido tiene un tratamiento desde la biología, sin dejar de lado que es un problema complejo de interés social porque afecta a todos los aspectos de la vida humana. Como marco para abordar el fenómeno de referencia seleccionado se ha elegido el enfoque teórico-metodológico de modelos y modelización, pero con énfasis en modelos debido a que se profundizará en el pensamiento espontáneo de los alumnos para identificar posibles desafíos cognitivos aplicables en el diseño y evaluación de SD que aborden el contenido. El centro de la transposición didáctica estará en la inferencia del modelo explicativo a ser alcanzado por los

alumnos, a partir de sus modelos espontáneos que harán posible identificar problemas y aspectos potenciales que influyan en la transición de sus explicaciones espontáneas hacia las explicaciones científicas escolares para comprender el fenómeno de infección viral. Es conveniente agregar que el escaso tratamiento del mecanismo de infección viral por parte del currículum escolar, hace más apremiante tratar dicho contenido desde la parte de realidad que corresponde a la didáctica de la biología. Esta incluye fines cognitivos, preventivos y de desarrollo de pensamiento crítico para la toma de decisiones; es decir, se espera contribuir en la formación ciudadana de los estudiantes.

El derecho a la salud es una prerrogativa para todas las personas y en especial para niñas, niños y adolescentes, y como tal involucra además la responsabilidad de contribuir para propiciar las condiciones necesarias de una vida saludable. En este contexto, la educación es fundamental y la DC es un camino más que viable para intervenir en la formación de los estudiantes mediante el diseño y evaluación de SD eficaces para la construcción de CCE pertinente y con sentido para los educandos. En la postura semanticista de la epistemología y la visión didáctica de modelos/modelización, es esencial tomar en cuenta las ideas espontáneas de los estudiantes para comprender cómo piensan los fenómenos científicos y encontrar elementos en sus lenguajes representacionales que les permitan tener posibilidades para hacer el vínculo con el modelo científico que explica el fenómeno. Así, se detonaría la construcción de conocimiento comprensible en cada nivel educativo. Por ello, la exploración de las explicaciones espontáneas de los adolescentes, en este caso, contribuye de forma fundamental en la mejora de los procesos de enseñanza y aprendizaje de la ciencia, en particular de la biología, con apoyo en un sustento teórico-metodológico pertinente que dé solidez a las propuestas didácticas correspondientes.

Objetivos

Los pensamientos espontáneos de los sujetos corresponden a las explicaciones que elaboran de manera natural, es decir, a partir del sentido común y de las experiencias cotidianas, pueden incluso incorporar conocimiento escolar. Estas formas idiosincráticas o personales de comprender el mundo ayudan a explorar cómo son abordados los fenómenos naturales o sociales que ocurren en él. En cuanto al enfoque seleccionado para realizar el estudio de los pensamientos espontáneos de los estudiantes, en este caso, es el semanticista basado en modelos y modelización debido a que posibilita la construcción de conocimiento científico escolar con altas probabilidad

de que éste sea profundo. De esta forma, es fundamental inferir los diversos modelos necesarios desde la perspectiva teórico-metodológica correspondiente y validada ampliamente en la DC.

Así, la finalidad de la tesis se expone en el siguiente objetivo general:

- I. Describir las explicaciones espontáneas de una muestra no estadística de estudiantes mexicanos de Educación Media Superior —acerca del fenómeno de referencia, infección viral por SARS-CoV-2 en células humanas— y compararlas con un supuesto MCEA para la enseñanza postulado *a priori* a ser propiciado entre ellos. El MCEA permitirá identificar los desafíos cognitivos involucrados en el diseño y validación de secuencias didácticas para explicar dicho fenómeno.

A partir de lo anterior, los alcances del estudio están contenidos en los objetivos generales:

- i. Explicitar el pensamiento espontáneo expresado por una muestra no estadística de estudiantes mexicanos de Educación Media Superior, para comprender el fenómeno de referencia.
- ii. Identificar las Dimensiones Ontológica —entidades con sus propiedades— y Epistemológica —de relaciones causales y de relaciones funcionales— para inferir los MEId correspondientes.
- iii. Evidenciar la complejidad explicativa que tienen los MEId.
- iv. Evidenciar posibles dificultades en la construcción de conocimiento científico escolar de los MEId obtenidos, mismas que pueden ser útiles en la elaboración de criterios didácticos que propicien la transposición didáctica necesaria en el tránsito de los MEId hacia la explicación científica escolar.

Con el alcance de estos objetivos se espera colaborar con el desarrollo de proyectos de investigación/intervención que puedan incluir propuestas más pertinentes con las formas espontáneas del pensamiento de los estudiantes de Educación Media Superior. Con ello se puede facilitar la construcción de CCE más comprensible, cercano a sus representaciones mentales y con mayor significado en el contexto de pandemia por COVID-19 que se vive aún en la actualidad. De esta forma, es posible aumentar la probabilidad de que este conocimiento contribuya en el desarrollo de actitudes de compromiso y responsabilidad más genuinas para romper las cadenas de contagio, así como aportar al cuidado de la salud individual de la comunidad.

Capítulo 2

Estado de la Cuestión

La literatura didáctica especializada registra pocos estudios acerca de las explicaciones espontáneas de los alumnos en relación con enfermedades infecciosas de carácter viral. Por otra parte, el origen del SARS-CoV-2 y la experiencia con la COVID-19 son todavía muy recientes. Durante la búsqueda documental se comprobó que los casos que abordan, por ejemplo, ideas previas o nociones estudiantiles al respecto, son preferentemente estudios hechos en niveles educativos que corresponden a Educación Básica. Solo se encontraron unas cuantas investigaciones en educandos adolescentes de otros países. A esta situación se suma la distancia temporal de los registros y que muestra la necesidad de actualizar la investigación en este rubro. Por ello es necesaria la exposición de un recorrido sobre la información relevante, hasta el momento, que muestra cómo ha sido abordado por algunos autores el problema del que se ocupa la presente tesis.

De esta manera, el Capítulo 2 permite hacer el vínculo entre el conocimiento educativo que se tiene reportado en la literatura especializada y los aportes que se esperan hacer para continuar generando conocimiento acerca de las formas espontáneas del pensamiento de los estudiantes de Educación Media Superior acerca del fenómeno de referencia, su representación en términos de modelos mentales —tanto en forma de *MEI* como de *MEId*— y su comparación con el MCEA con fines didácticos. Por lo tanto, las secciones del capítulo incluyen los acervos consultados, las características de la búsqueda documental, así como las fuentes encontradas y que son pertinentes para esta investigación. De igual forma, se comentan aspectos sobresalientes sobre la necesidad de abordar el fenómeno de referencia como un problema de relevancia socio-científica en la DC.

Precedentes sobre las explicaciones espontáneas estudiantiles

Sobre el fenómeno de infección viral por SARS-CoV-2

En el caso de la DC, la facultad de desarrollar el currículum escolar propicia la elaboración, por ejemplo, de SD que incentiven el desarrollo de aprendizajes conceptuales, actitudinales y procedimentales, considerando las capacidades cognitivas del alumno como sujeto cognoscente. Esto incluye los pensamientos espontáneos sobre fenómenos naturales relacionados con

situaciones de relevancia socio-científica. Por otra parte, el enfoque semanticista, con base en modelos y modelización en la DC, permite que los aportes ofrecidos puedan ser incorporados en actividades de aprendizaje que fomenten en los alumnos la elaboración de representaciones mentales necesarias para describir, explicar y encontrar patrones de comportamiento de un fenómeno. Habilidades que se desarrollan con ayuda de la CE y son requeridas para elaborar explicaciones plausibles —con base en evidencia empírica— sobre los procesos de cambio que suceden en el mundo natural. De esta forma, la investigación llevada a cabo durante el desarrollo de la tesis se hizo en términos de modelos y ayuda a establecer una vía posible de seguimiento en el proceso de transición del pensamiento espontáneo hacia el pensamiento científico escolar pretendido. Así, queda en evidencia qué tanta aproximación es viable en la construcción del CCE por parte de los educandos.

Atendiendo a lo anterior, la visión de modelos en función del diseño de una SD requiere de la elaboración del MCEA —modelo de referencia para el desarrollo curricular—, éste a su vez necesita de la inferencia de los constructos Modelo científico (MCi), Modelo Curricular (MCu) y Modelo Estudiantil Inicial (MEI). Éste último es la representación proveniente de las explicaciones espontáneas estudiantiles con base en la literatura didáctica correspondiente (MEI)). En consecuencia, el primer paso fue indagar lo que se conoce hasta el momento acerca de dichas explicaciones para tener el soporte documental del estado de conocimiento al respecto y elaborar el vínculo con este trabajo de investigación. Al revisar la literatura didáctica especializada se evidenciaron los siguientes aspectos:

- Hay escaso registro de las explicaciones espontáneas de los estudiantes de nivel preparatoria sobre el fenómeno de infección viral en general.
- La mayoría de las investigaciones registradas abordan estudios en muestras de alumnos cuyas edades corresponden al nivel de Educación Básica (primaria y secundaria).
- Las ideas identificadas con mayor frecuencia en las explicaciones estudiantiles son nociones generales sobre enfermedades infecciosas como gripe o resfrío, síntomas (fiebre, dolor de estómago y de cabeza), microbios, microorganismos, virus como seres con características antropomorfas y agresivos, así como medidas de higiene personal preventivas (sobre todo el lavado de manos). Prácticamente la existencia de los virus solo se menciona como parte de los microorganismos. Los registros se encuentran en las

investigaciones realizadas por Prout, 1985; René y Gilbert, 1994; Jones et al., 2013 y Simoneaux, 2000.

- No existen, hasta el momento de la presente investigación, referencias en la literatura especializada acerca de las explicaciones espontáneas estudiantiles que informen sobre cómo piensan los alumnos acerca del fenómeno de referencia seleccionado: infección por SARS-CoV-2 en células humanas.
- No hay registro de investigaciones para alumnos de Educación Media Superior sobre el fenómeno general de infección viral, ni en específico para el caso SARS-CoV-2.

Estos señalamientos se lograron de la búsqueda con los criterios y fuentes que a continuación se mencionan.

Características de la búsqueda documental

La revisión de las fuentes especializadas en didáctica se llevó a cabo en los acervos virtuales indicados en la lista y durante el período de diciembre de 2020 a diciembre de 2021:

Repositorios

- Academia.edu: <https://www.academia.edu/about>
- Ideas Previas (UNAM): <http://www.ideasprevias.ccadet.unam.mx:8080/ideasprevias/ConsultsFrame.html>
- ResearchGate: <https://www.researchgate.net>
- Taylor & Francis Group (Inglaterra): <https://taylorandfrancis.com/who-we-serve/industry-government/business/>
- Wiley Online Library: <https://onlinelibrary.wiley.com>

Publicaciones

- Revista Bio-grafía (Universidad Pedagógica Nacional/Colombia): <https://revistas.pedagogica.edu.co/index.php/bio-grafia>
- Revista Enseñanza de las Ciencias (Universidad Autónoma de Barcelona): <https://ensciencias.uab.es>
- Revista Iberoamericana de Educación (Organización de Estados Iberoamericanos, OEI): <https://rieoei.org/RIE>
- Revista Mexicana de Investigación Educativa (COMIE): <https://www.comie.org.mx/revista/v2018/rmie/index.php/nrmie>

- Revista Perfiles Educativos (UNAM): http://www.perfileseducativos.unam.mx/iisue_pe/index.php/perfiles
- RevistasUNAM: <http://www.revistas.unam.mx/front/>

Los parámetros de búsqueda sobre el pensamiento espontáneo de los alumnos de Educación Media Superior acerca del SARS-CoV-2 y su relación con la COVID-19 se realizaron con base en las siguientes listas y combinando los términos mencionados:

- Palabras clave relacionadas con el nivel educativo:
Ideas previas (*previous ideas*), nociones (*notions*), concepciones (*conceptions*) e ideas espontáneas (*spontaneous ideas*), pensamientos espontáneos (*spontaneous thought*), estudiantes de educación media superior (*upper secondary education students*), alumnos bachillerato o preparatoria (*high school students*), alumnos 16 y 17 años (*students 16 or 17 years old*).
- Palabras clave relacionadas con el fenómeno de referencia:
Virus (*virus*), infección viral (*viral infection*), ciclo lítico (*lytic cycle*), ADN (DNA), ARN (RNA), microorganismos (*microorganisms*), microbios (*microbes*), enfermedades infecciosas (*infectious diseases*), enfermedad por coronavirus (*coronavirus disease 2019*), SARS-CoV-2 y COVID-19.

Es importante comentar que la mayoría de las referencias encontradas abordan temas de educación y COVID-19, pero solo en los rubros siguientes: retos educativos, enseñanza y aprendizaje en la pandemia, recomendaciones para el regreso a las aulas, constructivismo y virtualidad, salud mental de niños, vacunación en adolescentes y menores de edad, infancia y COVID-19, precauciones en el aula, manejo de la infección por SARS-CoV-2, aspectos inmunológicos, COVID-19 y la nueva normalidad. Debido al carácter emergente que aún tiene el fenómeno de referencia —infección viral de células humanas por SARS-CoV-2— la literatura didáctica especializada no hace mención de él desde la perspectiva de la biología.

Reportes sobre las ideas espontáneas de sujetos con edades de 16 a 25 años

La búsqueda arrojó cuatro referencias especializadas de 1985 a la fecha y que abordan la investigación educativa sobre las ideas espontáneas de los sujetos de entre 16 y 25 años de edad acerca de los virus en general. Son las referencias más cercanas a la edad de los alumnos de Educación Media Superior (entre 16 y 19 años). Es importante señalar que los investigadores que

se citan en los siguientes párrafos llevaron a cabo entrevistas y elaboraron cuestionarios para reunir las respuestas de los alumnos. Los cuestionamientos incluyeron en algunos casos *ítems* de opción múltiple y elaboración de dibujos para conocer las ideas previas involucradas. Los ejemplos de lo anterior se muestran en la Tabla 1, misma que hace notar que los estudios educativos se han centrado en evidenciar las respuestas de los alumnos desde la descripción de las características de los microorganismos patógenos y no a partir de un análisis de la ontología de las respuestas de los estudiantes:

Tabla 1

Investigaciones reportadas sobre sujetos con edades de 16 a 25 años

Referencia	Objeto de estudio	Nociones en los estudiantes	Metodología	Hallazgos
Prout (1985)	Nivel de conocimiento científico en el pensamiento de los alumnos sobre el proceso de infección de enfermedades como el resfriado común, gérmenes infecciosos y resistencia corporal.	Enfermedad (escalofríos; fiebre; dolor de cabeza, tórax o abdomen), las zonas frías influyen en el resfrío, los antibióticos son para todos los gérmenes.	Entrevista donde se solicitó a los sujetos explicar la afirmación 'No hay nada que pueda hacer para deshacerse de un resfriado'.	El 78% especificó que los resfriados son causados por un germen de algún tipo y se relacionan con zonas frías. El 9% sabía que los virus y las bacterias son diferentes tipos de organismos. El 13% consideraron la existencia de los gérmenes con el resfriado.
René y Gilbert (1994)	Comprensión intuitiva de la idea de microbio y asociación microbio-enfermedad.	Microbiología, microbio, patologías infecciosas, homeostasis y salud.	Entrevista semiestructurada con la preguntas como '¿Qué te viene a la mente? cuando menciono la palabra microbio?, ¿cómo imaginas un microbio?'	La representación microbio se asocia con algo malo, es grande, peludo con patas, por ejemplo y ataca al cuerpo y hace que funcione mal.

Nota. Las respuestas de los sujetos de las muestras estudiadas permiten notar que las nociones de virus se reducen a que son un tipo de microorganismos nocivos, que causan infecciones y enfermedades, mismas que se pueden prevenir siguiendo hábitos de higiene.

Continúa...

Referencia	Objeto de estudio	Nociones en los estudiantes	Metodología	Hallazgos
Simoneaux (2000)	Ideas preconcebidas y marcos de pensamiento estudiantil sobre el resfriado común.	Biotecnología, resfriado, infección, microorganismos, microbios, bacterias y virus.	Entrevistas con preguntas sobre microorganismos, respuesta inmunológica y enfermedades alérgicas, autoinmunes y virus del SIDA, entre otras. También se les pidió dibujar a las bacterias y a los virus.	Algunos estudiantes muestran ideas similares a las de los alumnos de Primaria: carentes de claras, con contradicciones y fragmentadas.
Jones, Gardner, Lee, Poland y Robert (2013)	Percepciones estudiantiles sobre la transmisión microbiana.	Entornos propicios para infecciones, microbios, bacterias, virus, antibióticos, enfermedades como la gripe H1N1.	Entrevistas y encuestas con preguntas sobre microbios en distintos entornos, conceptos generales de microbiología.	Los estudiantes saben que los virus son en extremo pequeños, pero les resulta difícil definir la escala. El conocimiento científico permitió a los estudiantes tomar conciencia de dónde se encuentran los microbios y por lo tanto fueron más cuidadosos con la limpieza de los entornos: picaportes, mesas, botellas, por ejemplo.

La columna de la Tabla 1 que corresponde a los hallazgos de las investigaciones citadas, muestra que las explicaciones de los sujetos acerca de los microorganismos patógenos en general incorporan conocimiento cotidiano preferentemente, que son capaces de relacionar la existencia de los microbios con enfermedades infecciosas (transmisibles) e incluso cambian algunos hábitos para tener mejor higiene. Sin embargo, no pueden explicar los mecanismos de acción involucrados como la reproducción del patógeno o daños al menos a nivel de tejidos o de célula. Las cuatro referencias aportan información importante sobre la necesidad de hacer transitar el pensamiento espontáneo hacia el de las explicaciones científicas, aunque no incluyen un análisis de las respuestas de los alumnos en términos ontológicos sí coinciden en lo esencial que resulta estudiar tales explicaciones y buscar una forma de tratamiento de los contenidos relacionados con el fenómeno de infección viral (en general) para que los alumnos elaboren respuestas cada vez más congruentes y racionales. A continuación, se muestran algunos aspectos sobresalientes de cada uno de los estudios.

Para Prout (1985) las explicaciones estudiantiles acerca del resfriado provienen de un modelo que llama 'popular tradicional de infección', sustentado en conocimiento cotidiano (experiencial) y que es, a la vez, consistente, flexible y adaptable. Agrega que no es necesariamente coherente, visto desde la explicación biomédica con base en la evidencia científica, pero ese modelo popular tradicional procede de prácticas culturales de las personas para hacer frente a la enfermedad y puede ser modificado hacia uno más racional. Prout propone que se debe cambiar el tratamiento mecanicista y simplista de las explicaciones escolares. El autor plantea que una forma de hacerlo es vincular los principios científicos y las formas de conocimiento cotidiano con el fin de abordar la relación entre la explicación científica de la infección viral y la discrepancia cognitiva con los alumnos. Es necesario aclarar que Prout utiliza el término modelo, no como representación mental, sino como una forma de abordar el contenido desde un área biomédica, por ejemplo, modelo médico de educación sanitaria o modelo de educación en salud.

René y Gilbert (1994) indican que los alumnos elaboran explicaciones tratando de comprender los fenómenos naturales sin que necesariamente incorporen los conocimientos escolares. Por este motivo, los autores resaltan la importancia que tiene el estudio de las representaciones o concepciones porque éstas dan sentido a las experiencias de los sujetos e influyen en los prejuicios, actitudes y en el comportamiento. También advierten que, en el caso de temas como los microbios, tal situación es de cuidado por su relación con la comprensión del

origen de algunas enfermedades. La propuesta de René y Gilbert para modificar el conocimiento común hacia el conocimiento oficial (resultante de la investigación científica) propone contrastar el conocimiento científico de una época histórica con el contemporáneo y luego hacer una interpretación de ellos como un continuo.

Simoneaux (2000) puntualiza que las ideas de los alumnos en ocasiones retoman algo de conocimiento científico y también de formas de conocimiento alternativo (creencias o experiencias propias y de otras personas), pero en ambos casos con la lógica propia del alumno. Otra característica que resalta Simoneaux es que el conocimiento científico presentó ideas estudiantiles que denominó 'incorrectas' y pocas 'correctas', fragmentadas y vagas. El autor explica que una concepción es resultado de la actividad mental, por lo tanto, está en construcción, y forma parte de la memoria e historia personal, con la cual el sujeto elabora explicaciones. Simoneaux propone articular la información científica con las ideas preconcebidas, lo que incluye una codificación, organización y categorización para que el alumno construya un sistema cognitivo coherente.

Por último, Jones, Gardner, Lee, Poland y Robert (2013) plantean que el conocimiento de la ciencia puede promover conductas para la conservación de la salud, sin embargo, el aumento en el conocimiento científico no necesariamente lleva a ello. La razón, explican los autores, se debe a que la experiencia que tienen los alumnos sobre las enfermedades producidas por microbios, así como las prácticas culturales familiares influyen más en el conocimiento del alumno que las explicaciones científicas. Inclusive, resaltan que esto ocurre, aunque los estudiantes tengan conocimiento básico sobre dichas enfermedades y las formas de transmisión. La estrategia que sugieren Jones, Gardner, Lee, Poland y Robert, puede ser un enfoque que aborde un problema sociocientífico para permitir el debate de ideas, retomar experiencias relevantes de los educandos y dar contexto al proceso de construcción de conocimiento.

Otro aspecto coincidente entre las cuatro investigaciones es la necesidad de hacer propuestas didácticas para que los alumnos desarrollen procesos de comprensión de los fenómenos naturales que les signifiquen y que puedan aplicar en su vida cotidiana. Situación que recuerda lo indispensable que resulta que las explicaciones científicas escolares sean entendidas y valoradas por los alumnos, lo que llevaría en esta tesis al enfoque de modelos. Una vez hecha la lectura de estas publicaciones, se analizó la información aportada en ellas para identificar en las respuestas de los alumnos las entidades, propiedades y relaciones causales que presentarían los sujetos de las muestras y hacer posible su desglose en términos de modelos. Para ello se elaboró la Tabla 2:

Tabla 2

Ontología básica de los estudiantes (edades: de 16 a 25 años)

Referencia	Muestra	Dimensión ontológica		Dimensión epistemológica
		Entidades	Propiedades	Relaciones causales
Prout (1985)	54 alumnos de 15 años y algunos padres y maestros. (p. 400) Pero solo el 9% distingue virus y bacterias (p. 401).	Gérmenes y organismos infecciosos, virus (p. 400).	Pequeños animales malévolos.	El 78% de los estudiantes especificó que los resfriados son causados por un germen de algún tipo (p. 400). Fiebre como resultado de 'gérmenes', 'bichos' o 'virus' que se consideran "pequeños animales" malévolos (p. 403).
René y Gilbert (1994)	Jóvenes de 18 a 25 años; nunca han tenido una educación formal específicamente sobre los gérmenes (p. 46).	Gérmenes, microbios, bacterias. No incluyen virus.	Ser vivo microscópico, infinitamente pequeño, está en todas partes, se mueve, reaccionan y tienen forma.	Microbios que producen enfermedad (pp. 47-48).

Nota. Las respuestas de los sujetos incluyen escasas nociones de virus, por ejemplo, son un tipo de microorganismos nocivos, causan infecciones y enfermedades que se pueden prevenir con hábitos de higiene. La dimensión epistemológica no incluye las relaciones funcionales porque las ideas previas de los alumnos no contienen elementos explicativos acerca de las alteraciones que ocurren en órganos y células.

Continúa...

Referencia	Muestra	Entidades	Propiedades	Relaciones causales
Simoneaux (2000)	10 estudiantes de quinto curso de Le Rheu Lycée (licenciatura en la Escuela Nacional de Formación Agronómica. Gran Bretaña) (p. 621),	Virus Células Bacterias	<p>Las bacterias se transforman en virus. Los virus son tan pequeños como un átomo y más grandes que una bacteria. Tienen células y por lo tanto núcleo. Antropomorfos: dientes afilados, filamentos en su superficie y de apariencia viscosa (pp. 623-626).</p> <p>Los virus se alimentan de las células, se las comen.</p> <p>Proliferan como los tumores malignos (cáncer). Se multiplican en una célula humana y pasan a otra (p. 627). Se alimentan de sangre (p. 628).</p>	<p>Los virus son más agresivos con el cuerpo humano y atacan el interior, a diferencia de las bacterias que dañan el exterior del cuerpo (p. 625).</p> <p>Causan SIDA, contaminan la sangre como el VIH (p. 627).</p> <p>Se transmiten por una sustancia que producen y por condiciones antihigiénicas, casa, manos, ducha (pp. 628 y 630).</p>
Jones, Gardner, Lee, Poland y Robert (2013)	<p>132 estudiantes de pregrado, en un curso de microbiología en dos universidades y un colegio comunitario, en Estados Unidos (p. 199).</p> <p>Distribución demográfica: 101 europeos americanos, 14 afroamericanos, 12 asiáticos y 5 otros; edad media 21 años (p. 204).</p>	Virus y bacteria son términos intercambiables debido a que las bacterias pueden convertirse en virus (p. 203).	<p>Descripción inexacta de la estructura y funciones. Los virus son de mayor tamaño que las bacterias (p. 202).</p> <p>Tamaño extremadamente pequeño de los virus y demasiado complejo para muchos estudiantes.</p>	Provocan enfermedades en los humanos. Más agresivos que las bacterias. En particular atacan el interior del cuerpo (p. 203)

Como es posible identificar, hay una marcada escasez de fuentes en la investigación educativa al respecto de las explicaciones espontáneas de los estudiantes sobre el fenómeno aquí abordado y, más aún, en muestras equivalentes a la Educación Media Superior en México. El problema se hace más evidente al considerar que lo poco que se ha reportado remite a nociones sobre los virus, pero no sobre el ciclo de infección en cuanto la interacción del patógeno con el cuerpo humano y su representación mental como modelo abstracto. Así, es evidente la necesidad en la didáctica de las ciencias naturales, y en particular de la biología, de explorar los pensamientos espontáneos de los alumnos para integrarlos —en términos de modelos— al diseño y evaluación de SD que aborden el fenómeno natural de infección viral, como el caso del SARS-CoV-2 en células humanas y su relación con la enfermedad COVID-19 e incluso con otros fenómenos similares. El enfoque de modelos es útil para explorar con qué componentes o elementos ontológicos y epistemológicos elaboran los estudiantes sus explicaciones, lo que lleva a dar un paso más hacia la elaboración de conocimiento científico escolar.

Tratamiento del fenómeno de referencia en el currículum escolar de Educación Media Superior

Currícula escolar disponible

Para elegir el nivel educativo acorde con la finalidad de esta investigación se consideró el que tiene mayor cercanía curricular con la explicación científica, proveniente de la biología, para el fenómeno de infección por SARS-CoV-2 en células humanas. Una de las condiciones centrales para que ocurra el fenómeno es la interacción molecular virus/célula hospedadora, por esta razón los requerimientos —sobre la construcción de conocimiento científico escolar— que se espera hayan desarrollado los alumnos para comprender la infección viral son los que se listan enseguida:

- Nociones básicas de la estructura de las biomoléculas participantes en el proceso de infección viral: proteínas, enzimas, material genético, por ejemplo.
- Nivel de profundidad suficiente de los contenidos escolares de biología para abordan las infecciones virales: ciclo lítico y lisogénico.

Así, se decidió que el nivel de Educación Media Superior era el adecuado porque los alumnos provienen del nivel de Educación Básica, que incluye los grados de Secundaria, y ya cursaron las asignaturas Ciencias y Tecnología. Biología Primer grado y Ciencias y Tecnología. Química Segundo grado, de tal forma que se espera que tengan nociones de biología y química

elementales para abordar de manera general la estructura celular y de algunas biomoléculas. Por otra parte, debido a que en México existen numerosas modalidades de Educación Media Superior, fueron seleccionadas cuatro de ellas para hacer la revisión de la currícula escolar e identificar el programa educativo que incluyera el abordaje del fenómeno de infección viral; al menos de forma general, si no específica para el caso SARS-CoV-2. En la Tabla 3 se mencionan las cuatro modalidades revisadas y las características más sobresalientes de los contenidos curriculares de los programas de asignatura específicos:

Tabla 3

Comparativo entre cuatro programas de asignatura de Educación Media Superior y los contenidos relacionados con virus

Modalidad	Asignatura	Documento rector	Características curriculares
Colegio de Bachilleres	Biología I	Biología. Programa de asignatura (CB/SEP)	No incluye contenidos relativos a la entidad virus, ni a enfermedades virales.
Bachillerato Tecnológico	Biología	Programa de Estudios del Componente Básico del Marco Curricular Común de la Educación Media Superior (SEP, 2016)	El Eje “Explica la estructura y organización de los componentes naturales del planeta” incluye el Contenido Central “¿Cómo distinguimos un ser vivo de uno no vivo? ¿Y de uno inorgánico?”. El foco de los aprendizajes esperados son las características de los seres vivos y de los no vivos. No incluye virus ni enfermedades virales. Solo se sugiere abordar la entidad virus en las sugerencias de Reforzamiento Académico, con un debate guiado por el cuestionamiento “¿Los virus son una entidad viva?” (p. 23).

Continúa...

Modalidad	Asignatura	Documento rector	Características curriculares
Colegio de Ciencias y Humanidades	Biología I	Programas de Estudio. Área de Ciencias Experimentales. Biología I-II (CCH/UNAM)	No se aborda la entidad virus debido que el Enfoque Disciplinario y Didáctico del programa, en la sección Concepción de Sistemas (p. 8) indica que no se incluyen en los contenidos entidades biológicas como sistemas enzimáticos de experimentos <i>in vitro</i> , plásmidos y virus debido a que no se consideran sistemas vivos.
Escuela Nacional Preparatoria/Universidad Nacional Autónoma de México	Biología IV	Programa Analítico. Biología IV. Quinto Año (ENA/UNAM, 2017, pp. 5 y 6)	La 'Unidad 3. La investigación biológica y sus aportaciones para la comprensión de alteraciones en los procesos celulares' incluye los Contenidos Conceptuales siguientes: '3. 3 Los virus y su relación con el cáncer'. '3.5 Bioelementos y biomoléculas'. '3.6 Estructura y funciones celulares'.

Nota. Llama la atención la escasez de oportunidades para abordar de manera oficial el tema de los virus y las enfermedades que causan, situación que deja a criterio del profesor de grupo la decisión de tratar el contenido.

Características curriculares de la asignatura Biología IV (ENP/UNAM)

Con el primer acercamiento que se hizo al currículo escolar —resumido en la Tabla 3— se tomó la decisión de seleccionar el programa de Biología IV de la ENP/UNAM para trabajar con una muestra de alumnos de 5° Año. Estos educandos tienen como contexto escolar lo siguiente:

- Cursaron, en su Educación Básica (Nivel Secundaria), las asignaturas Ciencias y Tecnología. Biología (Primer grado) y Ciencias y Tecnología. Química (Segundo grado), por lo que se espera que tengan nociones elementales de biología y química para abordar de manera general la estructura celular y la estructura de algunas biomoléculas.
- En la asignatura Biología IV los contenidos centrales demandan abordar biomoléculas (proteínas, enzimas, material genético y tipos de ARN¹⁸); estructuras celulares y su relación con el metabolismo celular (ribosomas y síntesis de proteínas, material genético y replicación, membrana celular, endocitosis y receptores de membrana, entre otros); así como la estructura básica de un virus (envoltura, cápside, material genético, por ejemplo).
- Cursan simultáneamente las asignaturas Biología IV y Química III, por lo tanto, se refuerzan nociones como molécula, biomoléculas e interacción química.

En particular, la asignatura Biología IV tiene como sustento teórico, pedagógico y normativo oficial el documento *Programa Analítico. Biología IV. Quinto Año* (ENA/UNAM, 2017, pp. 5 y 6), cuyo objetivo general incluye, entre otros aspectos, que el alumno valore los conocimientos biológicos para comprender la alteración de procesos celulares metabólicos, fisiológicos y genéticos. El programa clasifica los contenidos de las tres unidades que lo conforman en conceptuales, procedimentales y actitudinales. Las unidades son las siguientes: Unidad 1. Los seres vivos y el cambio climático; Unidad 2. Pérdida de la biodiversidad una problemática en México y el mundo y Unidad 3. La investigación biológica y sus aportaciones para la comprensión de alteraciones en los procesos celulares. El mismo documento lista los siguientes temas para la Unidad 3 (pp. 6 y 7) y que se relacionan con la comprensión del fenómeno de infección viral en general que comprende los ciclos lítico y lisogénico:

¹⁸ En la célula existen distintos tipos de ácido ribonucleico (ARN) involucrados en los procesos de transcripción del material genético y síntesis de proteínas. Por ejemplo: ARN de transferencia (ARNt), ARN mensajero o ARNm y ARN ribosomal o ARNr.

- Contenidos Conceptuales

- 3.2 Origen de las alteraciones celulares, metabólicas y genéticas precursoras de cáncer, diabetes y miopatías mitocondriales

- 3.3 Los virus y su relación con el cáncer

- 3.5 Bioelementos y biomoléculas

- 3.6 Estructura y funciones celulares

El contenido que se retoma es el '3.3 Los virus y su relación con el cáncer' porque se relaciona directamente con la entidad virus y prevención de enfermedades que se originan, por ejemplo, con la alteración del metabolismo celular. Así, tanto el objetivo y el contenido seleccionado tienen relación directa con los mecanismos de infección viral (ciclos lítico y lisogénico). Si bien, con base en la evidencia científica hasta el momento, el virus SARS-CoV-2 no origina ningún tipo de cáncer, este virus lleva a cabo el proceso de infección conocido como ciclo lítico, por lo que altera las funciones metabólicas celulares. De esta manera, el contenido 3.3 es el que abre la posibilidad de abordar el caso específico de interés en la presente tesis dada la emergencia sanitaria que aún se vive en el mundo y que es de urgente tratamiento en la didáctica de la biología.

Así, el trabajo de tesis se encuentra en el contexto de la educación escolarizada y, con respecto de la DC, ésta contribuye con planteamientos filosóficos, epistemológicos y didácticos consistentes para abordar los currículos escolares, no como contenidos rígidos y conceptuales, sino desde fenómenos naturales de referencia que permitan situar la construcción de conocimiento científico escolar en la vida cotidiana a partir de problemas sociocientíficos (Izquierdo, 2005; Izquierdo, 2007). En este caso se encuentra la propagación del virus SARS-CoV-2, origen de la COVID-19. Los antecedentes curriculares descritos aumentan la probabilidad de que los alumnos identifiquen entidades, propiedades, relaciones causales y funcionales esenciales para comprender la interacción molecular que ocurre entre el SARS-CoV-2 y las células humanas hospedadoras. Ello con la profundidad suficiente para la re-construcción del modelo científico retomado de la biología y que permitiría la construcción de CCE congruente con el nivel educativo.

Necesidades sociales por las afectaciones del fenómeno de referencia en todos los ámbitos de la vida humana

Los jóvenes solicitan información confiable sobre la COVID-19

Una gran parte de jóvenes en el mundo necesitan información confiable sobre la COVID-19. De acuerdo con el Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia (*United Nations International Children's Emergency Fund* o UNICEF), solo considerando la población juvenil de América Latina, existe una alta demanda de información confiable para comprender la pandemia y las medidas para contrarrestarla. La Tabla 4 muestra los datos recuperados por el organismo internacional a través de una encuesta realizada en su red *U-Report Global* donde la participación de los jóvenes inició el 20 de junio de 2020 (UNICEF, 2022a y 2022b):

Tabla 4

Características del foro U-Report Global sobre la pandemia por COVID-19

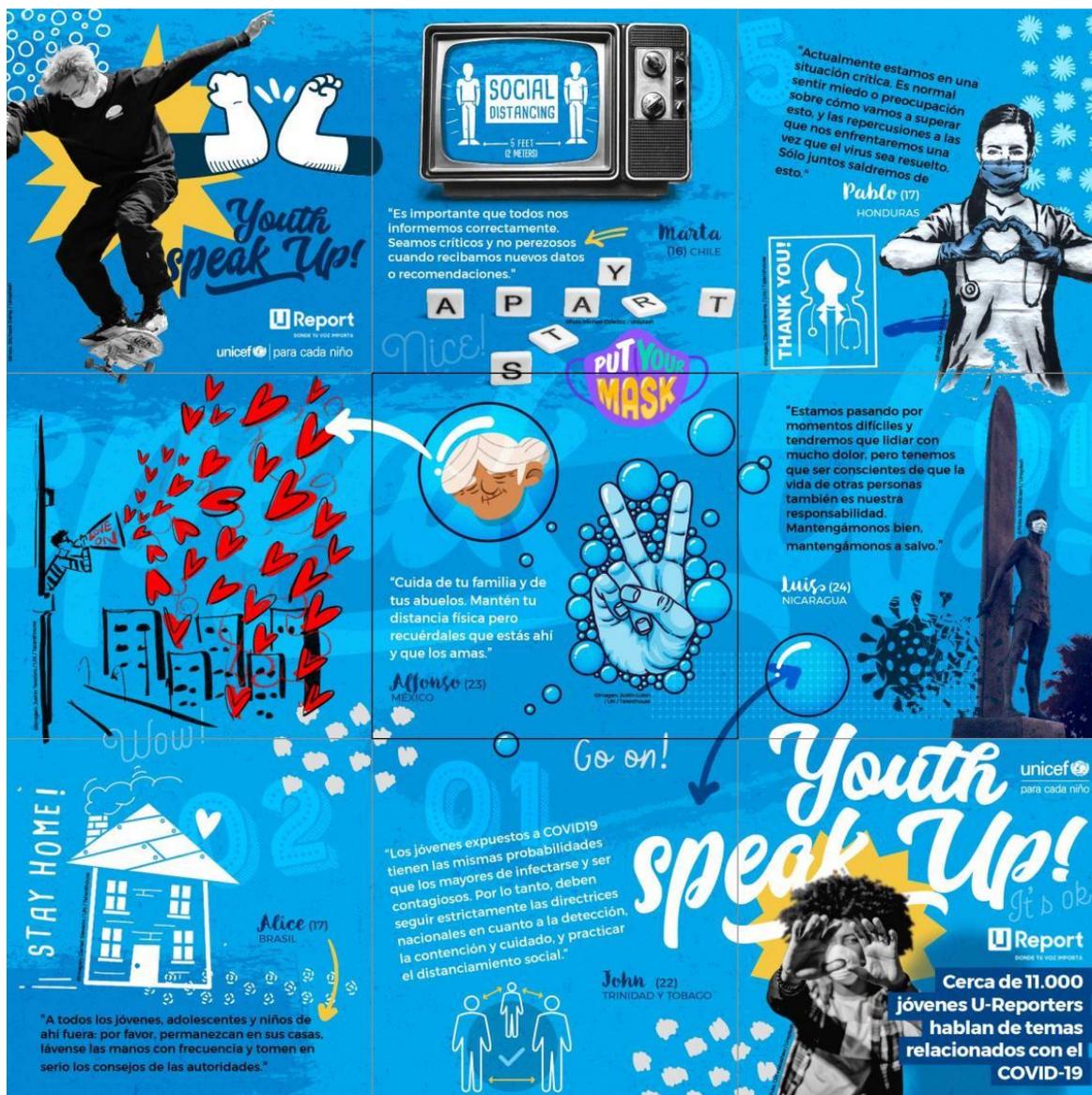
Característica	Población participante	Información disponible
<i>U-Report Global</i> es un foro de exposición de temas de interés para la comunidad y que ayuda para implementar acciones humanitarias.	Inicio: una encuesta en la que participaron 10 500 jóvenes (de 16 a 24 años) y de 31 países de América Latina y el Caribe.	Solicitan acciones para combatir la COVID-19, junto con información segura y clara disponible.
Plataforma gratuita.	Cerca del 95% requiere acciones para combatir el virus, pero más del 50% no identificaron sitios en internet. El 44% reconoció que estaban algo informados y aproximadamente un 30% respondió correctamente cómo se propaga la COVID-19. Otro 30% de jóvenes pensaba que no tenían riesgo de contagio.	
Acceso de usuarios con un <i>chatbot</i> de información sobre situaciones de riesgo y participación comunitaria para controlar la COVID-19.		
Los canales de comunicación incluyen <i>Viper</i> , <i>Facebook</i> , <i>SMS</i> , <i>WhatsApp</i> y <i>Telegram</i> .		
Aporta datos para que UNICEF evalúe necesidades; comparta información confiable y contrarreste la errónea; así como implemente acciones en conjunto con los gobiernos de los países adscritos.	Hasta el momento: han accedido cerca de 7 millones de personas a consulta y tiene registrados 20 000 000 de jóvenes y comunidades comprometidas en el apoyo de difusión de información. Los países registrados hasta el momento son 51.	Información elaborada por expertos sobre el SARS-CoV-2 y la COVID-19 con directrices de la OMS: es precisa, segura y de acceso rápido.
Evalúa el impacto de la COVID-19 en niños, jóvenes, padres y comunidades.		Contribuye con la difusión de hechos en las comunidades, resolución de brechas de información y contrarrestar rumores. Incluye una función de seguimiento y desacreditación de rumores.
Disponible en inglés, español, francés, bahasa, árabe, vietnamita, tailandés, y otros que se incluyan conforme se inscriben nuevos países.		

Nota. Un *chatbot* es un foro de conversación previamente programado para que el usuario conteste preguntas de interés, exponga puntos de vista y a la vez reciba información.

A partir de las respuestas de los jóvenes en la primera etapa de la encuesta, la UNICEF elaboró carteles para incentivar la búsqueda de información confiable sobre la COVID-19, su relación con el SARS-CoV-2 y la importancia de las medidas preventivas de contagio (Figura 5).

Figura 5

Necesidades informativas de los jóvenes en América Latina y el Caribe sobre la pandemia

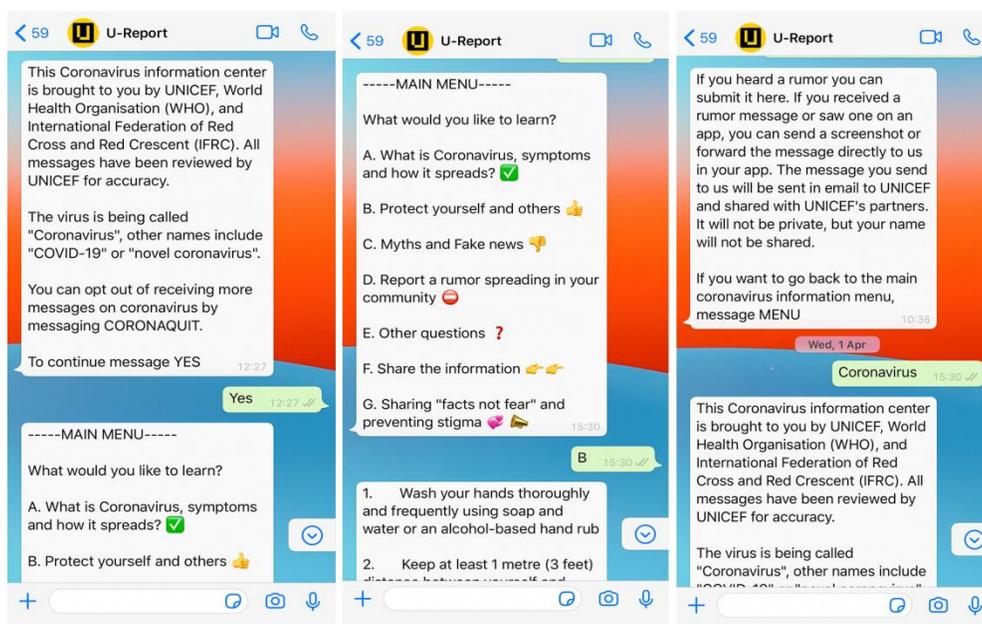


Nota. Reproducido de “La juventud hace un llamado a tomar medidas contra el COVID-19 en América Latina y el Caribe. Ensayos fotográficos”, por UNICEF, 2022a (<https://www.unicef.org/lac/historias/ureport-covid-19>). Obra de dominio público.

En la Figura 6 se muestran algunos ejemplos del tipo de información incluida en el *chatbot*:

Figura 6

Formato del chatbot: tipo de preguntas y respuestas disponibles en el foro U-Report Global



Nota. Reproducido de “U-Report-COVID-19 outbreak response”, por UNICEF, 2022b (<https://www.unicef.org/lac/historias/ureport-covid-19>). Obra de dominio público.

A partir de la etapa inicial de aplicación de la encuesta, UNICEF (2022a) expone que la falta de conocimiento sobre la COVID-19 en los jóvenes es “preocupante” ya que no pueden responder cuáles son los síntomas, las formas de prevención y transmisión de la enfermedad. Esto puede parecer explicable hasta cierto punto si se considera que los primeros datos de los jóvenes se comenzaron a recibir en junio de 2020. Pero, aunque apenas había pasado medio año desde el descubrimiento del SARS-CoV-2, los avances científicos al respecto y la utilidad de las Tecnologías de la Información y de la Comunicación hicieron posible que para entonces estuviera disponible la información conforme se generaba prácticamente en tiempo real. Llama la atención lo que puntualiza la UNICEF a partir de esa primera valoración: el desconocimiento sobre la COVID-19 era grande “incluso entre algunos de los jóvenes más alfabetizados digitalmente” y les causó —en general— la percepción de que estaban poco informados. Esta situación hace pensar en que, aunque la información científica esté disponible, no basta con ello para interpretarla y valorar sus aportes en la comprensión de un fenómeno natural. Faltaría entonces incidir en la construcción de conocimiento científico para incorporar las formas espontáneas del pensamiento de los sujetos y que son esenciales en la decodificación y codificación de tal conocimiento.

Con base en lo anterior se puede pensar en que la comprensión del conocimiento científico asimilado y construido contribuiría a subsanar las posibles dificultades en las explicaciones, mismas que pueden incluir falsas creencias, rumores y ausencia de elementos ontológicos para incorporar relaciones de causalidad coherentes. De otra manera, la información no sería analizada, ni transitaría de los meros datos hacia la argumentación racional en un lenguaje científico escolar, por ejemplo, con ayuda de los modelos mentales.

Algunas preocupaciones docentes sobre el tratamiento didáctico de la COVID-19 en la escuela

Es evidente para la comunidad docente la necesidad de incluir el fenómeno de referencia de infección por SARS-CoV-2 en células humanas, en los contenidos actuales de enseñanza. Al respecto, Salazar (2020) documenta el siguiente ejemplo:

¿Puede convertirse el coronavirus en **una oportunidad para la enseñanza**, para que los alumnos aprendan de una forma más significativa en una situación que están viviendo en primera persona? Los profesores de Secundaria y Bachillerato responden con un rotundo sí, sin ninguna duda.

Lo que está ocurriendo tiene su **encaje en prácticamente todas las materias del currículum** y puede ser una buena forma de ayudar a los estudiantes a abordar, desde un punto de vista académico y colectivo como grupo-clase, es momento al que se han visto abocados de la noche a la mañana y que seguramente les estará generando mucha incertidumbre. (p. 1)

Salazar continúa con lo siguiente:

Celestino López es profesor de Biología desde hace 30 años, y director del IES “Cañada de las Eras” en Molina de Segura (Murcia) desde hace dos décadas, y compara la crisis del coronavirus y cómo va a **cambiar la forma de enseñar en los institutos** con la crisis sanitaria por el VIH. Entonces, se creó una alarma muy importante y hubo trabajar sobre el tema de la prevención en los centros educativos.

Con el Covid-19 se desconoce cómo habrá que tratarlo cuando se dé por finalizada la emergencia, pero lo que López sí tiene claro es que **también habrá que abordarlo desde los centros**: “Se abordará de forma transversal o modificando los currículos, pero de alguna forma tenemos que aprender todos de esto, jóvenes y adultos”. (p. 2)

A casi dos años y medio de la pandemia vigente, la escasez de investigación educativa al respecto y la urgente necesidad de que los adolescentes en edad escolar puedan acceder a actividades didácticas que propicien la construcción de conocimiento científico escolar para comprender el fenómeno de referencia, llevan a la necesidad de, primero, indagar la manera espontánea de pensar estudiantil sobre dicho fenómeno, con objeto de que posteriormente, próximos trabajos de investigación/intervención didáctica, puedan ser llevados a cabo con esta información previa.

Postura disciplinar de la tesis

La explicación del fenómeno de infección viral por SARS-CoV-2 se hace desde el dominio de la biología y a partir de ella se infiere el MCi que hace posible evidenciar los componentes de las Dimensiones Ontológica y Epistemológica (DOyE) indispensables para comprender el fenómeno infeccioso. El dominio de la biología aporta ejemplos de representaciones del proceso de interacción virus/célula, formas de transmisión, factores biológicos que explican la rapidez de transmisión, síntomas de la enfermedad y el sustento de las medidas preventivas de contagio. Esta postura de la cual se parte para el estudio de la posible relación entre las explicaciones espontáneas estudiantiles y la construcción de CCE, no pretende simplificar la comprensión del fenómeno de referencia, sino contribuir en la elaboración de conocimiento científico comprensible y confiable para los alumnos. Este conocimiento puede impactar de manera favorable para mejorar los hábitos de conservación de la salud si se toma en cuenta, como ya se explicó en el desarrollo de este capítulo, que la información disponible sobre la COVID-19 no siempre es verídica y es necesario aprender a distinguirla. Tal situación se hace grave porque un gran número de personas puede depender de lo que otros interpreten sin sustento racional, o bien, elaborar explicaciones a partir de la confusión o de temores sin fundamento.

El riesgo para la salud es alto cuando se toman decisiones en un contexto de desinformación, confusión e interpretación lejano de la coherencia científica. Las decisiones se reflejan en el comportamiento ya sea responsable o no ante el riesgo de contagio. Esta tesis aporta evidencias empíricas útiles en la didáctica de la biología y que pueden ser retomadas por asignaturas como Educación para la Salud u otras para enriquecer la formación integral de los educandos. En el siguiente capítulo se explican las bases teórico-metodológicas que sustentan el problema de investigación ya planteado.

Capítulo 3

Marco Teórico-Metodológico

La presente tesis surge de la necesidad de contribuir en la DC, en específico, de la biología, en torno a un tema urgente de atención en el ámbito educativo: la prevención de infecciones virales, como la producida por SARS-CoV-2 u otras similares. El objetivo centra su atención en los pensamientos espontáneos de los educados acerca del *proceso de infección de este coronavirus en células humanas* y está dirigido a estudiantes de 5° Año de preparatoria. Así, la investigación derivada consiste en profundizar en las explicaciones espontáneas de los adolescentes acerca del fenómeno de referencia para obtener los correspondiente MEId y compararlos con un supuesto MCEA que permita identificar los desafíos didácticos que puedan orientar el diseño y validación de SD para dicho fenómeno, por ejemplo.

En el contexto de la DC, con una visión de modelo cognitivo de ciencia, la construcción de conocimiento se sustenta en un marco epistemológico semanticista necesario para conceptualizar los modelos mentales y su proceso de generación. En las secciones de este capítulo se explica el sustento teórico-metodológico que da soporte a la tesis de la presente investigación y, por lo tanto, a la inferencia de los constructos MCi, MCu, el MEI, MEId y MCEA. Todos ellos fundamentales para el estudio de las explicaciones espontáneas estudiantiles a partir de la pregunta para abordar el fenómeno de referencia: ¿cómo es que el coronavirus SARS-CoV-2 daña las células humanas, provoca COVID-19 y puede incluso causar la muerte?

La transposición didáctica y el currículum escolar

Necesidad de mejorar la enseñanza de la ciencia

La corriente epistemológico-positivista ha influido de manera notable en las concepciones de ciencia que tienen las personas, así como de educación en general, con una perspectiva rígida sobre la validación de la investigación y del conocimiento científico. Durante mucho tiempo el positivismo ha repercutido en la comunidad escolar en México. Por ejemplo, Flores (2012) expone que las concepciones de ciencia de los profesores de secundaria incluyen una gama de posiciones epistemológicas desde el empirismo, constructivismo, positivismo racional y el lógico racionalismo, pero la mayoría de ellos adopta una visión positivista. De acuerdo con Calixto (1996,

como se citó en Flores, 2012) esto ha dado lugar a numerosos mitos como que los conocimientos científicos son exclusivos de los científicos, el método científico es absoluto y secuencial, los conceptos son lo más importante de aprender y solo algunos estudiantes tienen capacidad para aprender ciencia. Por otra parte, Canales (2007) confirma que los procesos de enseñanza aprendizaje están orientados por cada docente ya que éste es el responsable de elegir el método y la técnica que considere más adecuados para abordar la asignatura correspondiente y que desde hace tiempo existe un esfuerzo por ponderar los procesos de aprendizaje, es decir, cómo se aprende. Prosigue Canales con un ejemplo revelador de los problemas que enfrentan los estudiantes —de acuerdo con una encuesta aplicada antes del 2000 por la Asociación Nacional de Universidades e Instituciones de Educación Superior— que muestra rasgos académicos considerados como no deseables: toma de dictado en clase, actitud pasiva en relación con el conocimiento, sin cuestionamientos hacia el profesor y actitud indiferente hacia el desarrollo del conocimiento. De esto, se sigue que existe una práctica docente tradicional que repite estrategias de enseñanza y aprendizaje en las cuales el alumno queda excluido de una participación activa cognitivamente. De esta manera, en la actualidad es esencial que en las prácticas educativas se asuma una postura teórica y metodológica que favorezca la construcción de conocimiento con sentido para los educandos en su acontecer cotidiano y contrarreste la visión lejana, ajena y sin utilidad que pueden tener acerca del conocimiento científico.

Si bien, las reformas educativas nacionales no han logrado del todo incorporar una visión cognitiva de la ciencia para mejorar la práctica docente y los procesos de enseñanza y aprendizaje de los educandos, existe una alternativa en el desarrollo curricular. Por ejemplo, el diseño de propuestas de estrategias acordes con la comprensión de fenómenos estudiados por la ciencia y que pueden ayudar a los sujetos a explicarse situaciones que los afectan en su vida diaria, es decir, situaciones de origen sociocientífico. Aquí es donde el modelo cognitivo de ciencia y la visión semanticista de Ronald Giere, así como los modelos y la modelización abren la posibilidad de hacer aportes novedosos y congruentes con una enseñanza de las ciencias que corresponda de forma más fiel a las necesidades de las formas espontáneas de pensamiento de los educandos.

Importancia de la transposición didáctica

Uno de los elementos esenciales para la mejora de la práctica docente en la DC es el análisis del currículum escolar. Gimeno (1997), resalta la pregunta central “¿Qué debemos enseñar?” (p.

193) y especifica que las decisiones actuales tienden a considerar tanto la filosofía educativa como la psicología del aprendizaje. Por lo tanto, el autor insiste en que la educación debe considerar un currículum que integre saberes generales, competencias y campos disciplinares para el desarrollo de una comprensión sintética del mundo por parte del alumno. En este aspecto, es importante recordar que el desarrollo de competencias generales y disciplinares se relaciona estrechamente con el aprendizaje significativo, por lo que pretende la movilización de los aprendizajes de la escuela hacia la vida cotidiana, así como el desarrollo de habilidades para el aprendizaje permanente a lo largo de la vida. En relación con la organización de secuencias de aprendizaje que le signifiquen a los alumnos, Coll (1987) explica que la organización de los bloques de contenido permite evidenciar intenciones educativas para propiciar los aprendizajes, definidos éstos como destrezas cognitivas. El autor afirma que la estructuración del currículum otorga un hilo conductor para las estrategias instruccionales necesarias en los procesos de enseñanza; así, es posible tratar aprendizajes conceptuales, actitudinales y procedimentales ya que se resalta la relación entre ellos.

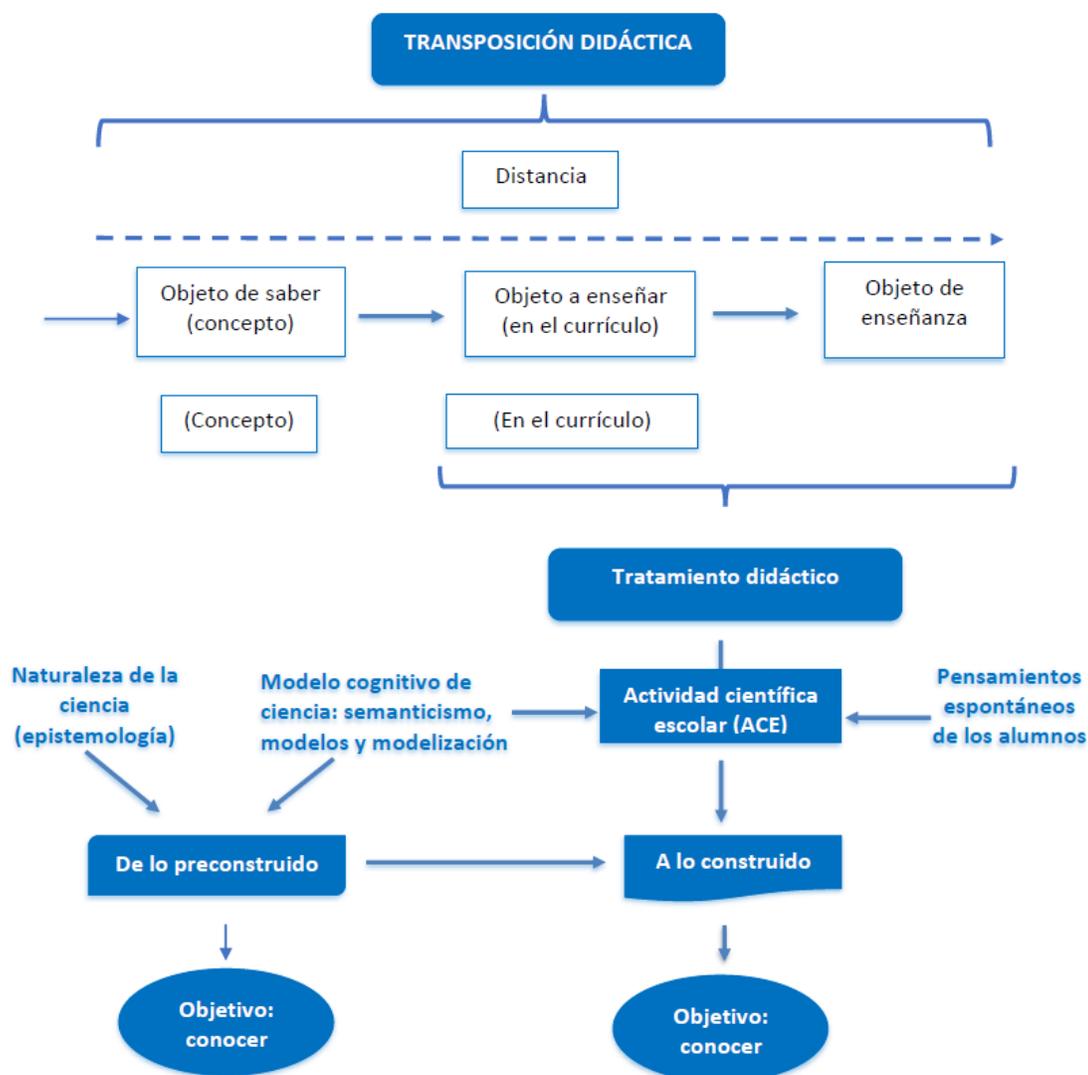
Además del aspecto de la identificación del conocimiento más pertinente de ser enseñado y su organización, se encuentra el de su tratamiento o adaptación didáctica. Al respecto, Chevallard (1991) llama transposición didáctica a dicho proceso y sostiene que el saber tiene una estructura y secuencia específicos, por lo tanto, para ser enseñado también debe tener una estructura y secuencia, pero acordes al proceso de construcción del sujeto. Como ejemplo de lo anterior se puede considerar el caso del conocimiento científico, tiene características ontológicas y epistemológicas vinculadas con la generación de conocimiento nuevo que se valida mediante determinados criterios consensados por los investigadores. Sin embargo, se debe adaptar su enseñanza para la construcción de conocimiento por parte de los alumnos considerando sus pensamiento espontáneo o intuitivo sobre los fenómenos naturales.

Esta necesidad de transposición didáctica, explica Chevallard, se deriva de que el saber (texto científico) es preconstruido y en el aprendizaje el alumno tiene que construirlo. Ahora bien, en el caso de la DC, la inclusión de los diversos lenguajes y formas de representación, la identificación de puntos de anclaje para la construcción de conocimiento científico escolar en un nivel educativo y la selección de los criterios didácticos para el diseño, aplicación y validación de SD, se llevan a cabo por medio de la modelización o elaboración de modelos mentales. López (2019) acota que el papel de los pensamientos espontáneos en esta labor es el sustrato epistémico que hace posible la postulación de la transposición didáctica de la que nos habla Chevallard y, en

consecuencia, la posibilidad de plantear la construcción del conocimiento científico escolar al que se refieren Izquierdo y Adúriz (2003). Esto significa que dichas nociones son la vía para iniciar e involucrar a los estudiantes en el proceso de la Actividad Científica Escolar (ACE). La Figura 7 muestra una representación del proceso, con base en Chevallard:

Figura 7

La transposición didáctica desde la DC



Nota. Desde la DC, la transposición didáctica permite ajustar la ciencia erudita (de los investigadores) a la ciencia escolar, lo que permite la construcción de conocimiento estudiantil contextualizado.

Así, es notable la necesidad de analizar el currículum y pensarlo desde la oportunidad de intervención. Esta consciencia es fundamental para modificar la práctica educativa en busca de una construcción de conocimiento que involucre al estudiante de forma más honesta con sus necesidades de aprendizaje y con el propósito de que la escuela se vincule con las problemáticas actuales urgentes de resolver. Entre otras, la propagación y contención de enfermedades, como COVID-19, originada por la presencia del SARS-CoV-2. Esta situación implica indagar sobre las formas espontáneas del pensamiento que desarrollan los alumnos para comprender tal fenómeno de referencia.

Modelo cognitivo de ciencia y postura epistemológico-semanticista

Los modelos científicos y la actividad científica

Con el modelo cognitivo de ciencia Giere (2010a) aporta un enfoque mucho más cercano a la realidad del quehacer científico que la visión positivista; pues para este filósofo la actividad científica mediante la cual se construye conocimiento se relaciona con las características cognitivas naturales de las personas, entre las cuales está la de elaborar modelos o representaciones abstractas para comprender los fenómenos del mundo. Giere explica que el razonamiento científico se basa en modelos y que esas representaciones son intencionales por parte del sujeto debido a que es éste quien decide qué fenómeno o hecho de la realidad desea explicar y selecciona qué características considerará de éste. Desde dicha postura de la ciencia, en esta tesis, se retoma que el individuo es central como sujeto cognoscente para llevar a cabo el quehacer científico y, en consecuencia, su papel es activo y protagónico en la construcción de conocimiento. Esto es, que se involucra la necesidad psicológica del sujeto por comprender, sus concepciones y percepciones acerca de la realidad, así como la decisión de indagar sobre aquello que ha llamado su atención o detonado su curiosidad. Pero, aclara Giere, los modelos científicos se corresponden con el mundo real, solo en esa parte limitada de condiciones que toma en cuenta el investigador para explicar una situación derivada del propósito que se le dé. Lo interesante es que se propicia la posibilidad de elaborar nuevos modelos sobre el hecho científico si se incluyen otras condiciones que pueden evidenciar las interrelaciones.

Así, como explica Giere, se van construyendo familias o sistemas de modelos que permiten —cada vez— explicaciones con mayor aproximación a la realidad. El filósofo acota que los modelos abstractos —teorías y principios, por ejemplo— caracterizan o distinguen a un modelo

representacional específico. En su carácter de objetos o constructos no lingüísticos no es posible validarlos como verdaderos o falsos, como afirma el autor, pero las hipótesis teóricas sí se pueden comprobar y por lo tanto calificar como verdaderas o falsas y con ello proporcionan indicios de similitud con el mundo. Con base en esto, prosigue Giere, los modelos permiten aproximaciones teóricas para comprender los sistemas naturales, pero éstas no son verdades absolutas; razón por la que los modelos representacionales son abstractos e ideales. No obstante, resalta Giere, como el modelo se vincula con la realidad debido a que sus componentes provienen del sistema estudiado y de la interpretación o explicación del mismo, esto incluye a la hipótesis porque hace posible explicar y predecir el comportamiento del fenómeno o hecho con base en evidencias. Al mismo tiempo se reúnen nuevos datos que resaltan la similitud del modelo con el evento real.

Giere (2010a) explica que es necesario lo que denomina como la ‘concepción intencional de la representación científica’ para identificar qué aspectos de la similitud —entre modelo y mundo real— son los que importan en la representación. Agrega que, en los modelos idiosincráticos, es más evidente la intencionalidad; en los modelos científicos se utiliza una simbología convencional para hacer una representación y eso hace difícil evidenciar la intencionalidad. Resalta Giere que es difícil distinguir con gran detalle qué aspectos de la representación son exitosos y cuáles no; sin embargo, sí es posible valorar qué tan bien se ajustan bajo los criterios consensados de veracidad de la realidad e inclusive de la comprensión personal del sujeto. Con base en lo aseverado por el filósofo, se retoma aquí que la intencionalidad está presente en las capacidades cognitivas de todas las personas y que en el proceso de representación mental o modelización se incorporan los recursos simbólicos del sujeto que, en el caso de los alumnos, corresponden a los componentes de sus pensamientos espontáneos y —bajo los cuales— tiene sentido dicho modelo dependiendo de los significados que ha construido en determinado momento. Giere afirma que “aprender una ciencia o un nuevo enfoque de un campo de investigación establecido es, en parte, una cuestión de adquirir nuevas incorporaciones a la lengua materna” (p. 279), lo que se deriva de la importancia de las representaciones que hacen los seres humanos con base en una diversidad de lenguajes que son aprendidos en el proceso de significar el mundo como forma de interacción con él para descifrarlo y darle sentido.

Debido a que los modelos son entonces constructos humanos que ayudan a pensar la realidad, Giere (1999e) analiza la relación existente entre los modelos, las teorías, los datos (interpretados en función de la noción de modelos) y las analogías para comprender la naturaleza

de los modelos, así como su relevancia en el quehacer científico. Suppes (1990, como se cita en Giere, 1999e) es retomado por Giere para afirmar que “Una teoría es una entidad lingüística que consta de un conjunto oraciones (axiomas) y los modelos son entidades no lingüísticas (objetos) en las que se satisface la teoría” (p. 41), por lo que permite una interpretación. Pero el filósofo aclara que, para el caso de las ciencias empíricas, los modelos más que ser interpretativos, son representativos del mundo por lo que pueden incluir objetos físicos; éstos al ser entidades no lingüísticas, no pueden ser considerados verdaderos o falsos. Agrega Giere que los modelos, al ser representativos, tienen similitud con la realidad, pero no absoluta, esto es, que la correspondencia está dada por el grado de aproximación o precisión de acuerdo con los aspectos (contexto) que el investigador decida seleccionar sobre esa realidad.

Para Giere (1999e) los datos obtenidos de un sistema real deben ser tratados como modelos de datos ya que se obtienen a partir de los aspectos seleccionados a estudiar e incluidos en el modelo teórico. El modelo de dato es una herramienta de contraste para comprobar la hipótesis del modelo. En cuanto a las analogías, el autor explica que los científicos en varias ocasiones se remiten a otros modelos y fenómenos ya conocidos para comprender fenómenos nuevos, sin dejar de lado que el estudio de un evento nuevo necesita de la construcción de un modelo propio. Así, Giere concluye que, en una visión de los modelos como representaciones, el lenguaje y el mundo no tienen conexión directa, sino que el modelo es el intermediario entre ellos. Por ello afirma que la utilidad de esta concepción radica en que —en los fenómenos empíricos— la naturaleza de los objetos físicos y sus relaciones no están bien definidas, pero las características del modelo sí se pueden definir o delimitar debido a la intencionalidad del investigador.

En esa misma línea, puesto que la biología es una ciencia empírica, se asume que construye modelos teórico-representacionales que muestran procesos de interpretación sobre fenómenos biológicos, por ejemplo, la división celular, la fotosíntesis, la digestión, el catabolismo, el crecimiento e incluso la replicación viral¹⁹. Todos ellos incluyen elementos que toman del sistema real para estudiar sus características, interrelaciones y procesos de causa-efecto con los que se elabora la explicación del fenómeno elegido y su comportamiento —regularidades o patrón en el sistema— bajo ciertas circunstancias o condiciones. Con apoyo de dichos modelos se ha podido

¹⁹ Si bien los virus no son considerados aún seres vivos porque carecen de funciones metabólicas y biosintéticas, sí son objeto de estudio de la biología porque tienen una estructura básica que involucra material genético (ADN o ARN), proteínas y otros componentes macromoleculares. Otra razón de tal inclusión es su estrecha interacción con los seres vivos al ser parásitos obligados que dependen de la maquinaria celular para replicarse.

conocer desde la estructura celular hasta la fisiología del cuerpo humano y la interacción de éste con determinados agentes patógenos, como algunos virus, por ejemplo. En el caso del SARS-CoV-2, el conocimiento científico referente al coronavirus se sigue construyendo de manera apremiante para comprender la estructura viral, la enfermedad que provoca, las medidas preventivas, cómo mejorar los tratamientos médicos disponibles y la elaboración de vacunas con diversas tecnologías.

Todas estas líneas de investigación tienen su origen en el estudio disciplinar de la biología, pero sin una posición reduccionista de la problemática. Una gran ventaja que han tenido los científicos en el estudio del SARS-CoV-2 es la existencia de modelos previos acerca de los virus (coronavirus en específico), sus mecanismos de replicación y de comportamiento de las infecciones que producen, ésta es la información que se vincula con los diversos modelos científicos disponibles hasta hace dos años y medio. Con ayuda de esos modelos se ha continuado la indagación formulando nuevas explicaciones, así como suposiciones que son probadas para confirmar su apego a la realidad de la COVID-19 y que permiten hacer ajustes que originan nuevos modelos y teoría. Así, se puede comprobar que la vigencia de la explicación y la utilidad de los modelos científicos —como parte inherente del pensamiento científico— es indispensable para generar conocimiento sustentado y esencial que permita comprender una parte de la realidad.

Epistemología semanticista

El término modelo tiene numerosas acepciones, al respecto Adúriz-Bravo (2011) da la siguiente explicación:

... el único rasgo común de la idea de modelo sobre el que acuerdan casi todos los científicos naturales y epistemólogos de las distintas épocas es el hecho de que el modelo es un “sustituto” –o, técnicamente hablando, un *subrogado*– de los sistemas reales que se están estudiando. La complejidad de esos sistemas, con numerosas componentes ricamente relacionadas entre sí, hace imposible atacarlos científicamente; por tanto, los científicos y científicas trabajan con “reemplazos” (*re-presentaciones*) de esos sistemas que sólo retienen algunos elementos esenciales de interés. De allí esta consideración de que el modelo (tanto en su versión 1, *axiomática*, de ejemplo, como en su versión 2, *operacional*, de imitación) funciona como *facilitador*... (p. 143)

De acuerdo con lo anterior, se desprende que la realidad no puede ser representada uno a uno con los modelos debido a la complejidad que tienen los fenómenos naturales. Sin embargo, el

modelo como mediador entre el pensamiento y la realidad, así como su característica de contexto para ajustar la explicación, hacen posible que se considere a los modelos como medios para aproximarse a la comprensión de los eventos del mundo. Esta característica, de acuerdo con Giere, se relaciona con un realismo moderado o como lo llama Adúriz-Bravo (2011): “una epistemología moderadamente racionalista” (p. 147). Como es posible notar, tal visión de los modelos recuerda que son producto de construcciones cognitivas paulatinas que se producen con los elementos culturales e históricos que se tienen en un momento determinado (significados, prácticas, intereses, métodos u otros).

Adúriz-Bravo (2011, p. 147) menciona también la relevancia de las representaciones desde la concepción semanticista:

... y en especial para los miembros del llamado *programa estructuralista*, los modelos constituyen el centro de la *parte aplicativa* de una teoría y forman una *clase* o conjunto que queda caracterizado por las *leyes* científicas (axiomas en sentido propio) de esa teoría (Moulines, 1982; Díez y Moulines, 1999; Lorenzano, 2008). En esta línea, los modelos son “proyecciones” de la teoría al mundo, o sus *realizaciones posibles*. (p. 147)

Así, continúa Adúriz-Bravo (2011), el significado de las teorías científicas es lo más importante, en contraste con la sintaxis o enunciados de las mismas y la postura semanticista da el encuadre para los modelos en la enseñanza de la CE. Por lo que las familias de modelos entonces distinguen a las teorías, prosigue el autor, y es más adecuado analizar metateóricamente a los modelos, es decir, procurar una aproximación modeloteórica (basada en modelos) para comprender la construcción, tanto del conocimiento científico como del conocimiento científico escolar. Adúriz entonces afirma que el saber ya no se considera rígido y se puede expresar en lenguajes diversos por lo que afirma lo siguiente:

Giere da el nombre de *modelo teórico* a una entidad abstracta, no lingüística, que se comporta como lo “mandan” los enunciados o proposiciones –en cualquier sistema simbólico elegido– que definen esa entidad (Giere, 1992; Estany, 1993; Díez y Moulines, 1999; Echeverría, 1999; Adúriz-Bravo, 2001). Según Giere, los modelos –y no el “núcleo” proposicional de la teoría– son lo que se presenta usualmente en los libros de texto universitarios destinados a formar a los nuevos científicos y científicas. (p. 151)

En la Tabla 5 se muestra el comparativo que hace Adúriz-Bravo entre las características de las posturas sintáctica y semántica para analizar las explicaciones científicas:

Tabla 5

Posturas sintáctica y semántica sobre las explicaciones científicas

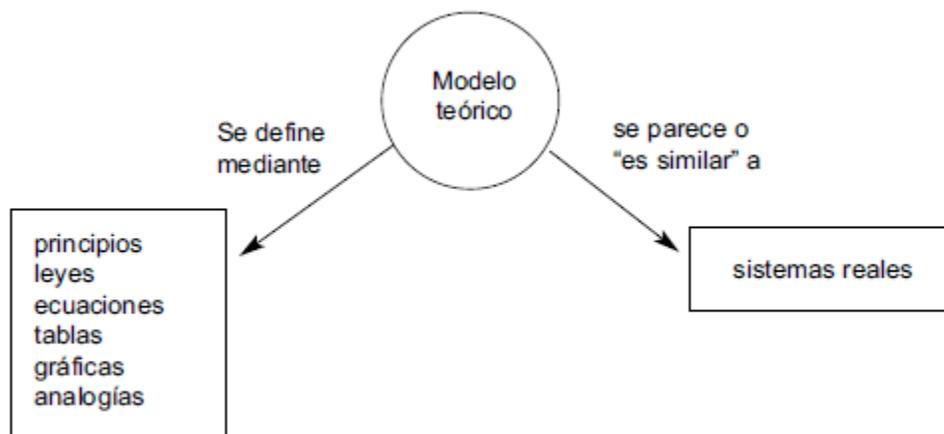
Concepción Criterios	Sintáctica	Semántica
1. Foco del análisis	Estructura de las teorías	Significado de las teorías
2. Contenido de la teoría	Enunciados interpretados por ellos	Enunciados y hechos
3. Unidad de análisis	La teoría completa	Los modelos de la teoría
4. Relación de significado	Los enunciados dicen algo sobre los sistemas	Los enunciados dicen algo sobre los modelos
5. Tipo de enunciados	Lenguaje formal, preferiblemente axiomático	Diversos "lenguajes" (sistemas de símbolos)

Nota. Reproducido de *Didáctica de las ciencias naturales: El caso de los modelos científicos* (p. 151), por A. Adúriz-Bravo, 2011, Editorial Le Lugar.

Con base en lo anterior, Adúriz-Bravo hace una representación de la esencia del modelo teórico (Figura 8):

Figura 8

El modelo teórico y su papel como mediador entre la teoría y la realidad



Nota. Reproducido de *Didáctica de las ciencias naturales: El caso de los modelos científicos* (p. 151), por A. Adúriz-Bravo, 2011, Editorial Le Lugar.

Con base en los aportes hechos por Giere y la explicación desarrollada por Adúriz-Bravo, se muestra que los modelos científicos permiten que las personas piensen, analicen, se aproximen y comprendan los fenómenos naturales que ocurren en el mundo. Estas acciones cognitivas que tienen los sujetos forman los procesos de pensamiento mediante los cuales las percepciones y la realidad pueden ser vinculadas de manera congruente. El pensamiento elabora modelos, es decir, modeliza una parte de la realidad. Con esta capacidad cognitiva, por ejemplo, las personas reconocen, clasifican y relacionan los componentes en las representaciones que hacen para elaborar una explicación ante aquello que llama su atención. Adúriz-Bravo (2011) enfatiza que la modelización, entendida como acción con modelos, es una actividad fundamental para los científicos y las características de este proceso son innovación, aplicación y evaluación que, en el caso de los alumnos, favorece la ACE.

Así, es esencial es que en la elaboración de las representaciones mentales están inmersas las explicaciones espontáneas de los sujetos. En los estudiantes, éstas no son necesariamente producto de la inferencia, sino de la intuición. Pero, como forma de pensamiento, son susceptibles de modificación por medio del desarrollo de las habilidades cognitivas pertinentes, es decir, al propiciar la reconstrucción y construcción de ideas cercanas a los hechos de la realidad. En el caso de la inferencia, ésta es un proceso del sujeto para explicar el comportamiento de un fenómeno natural con base en la comprensión de relaciones causales que aporten coherencia desde el referente de la ciencia escolar. En cambio, la intuición es un proceso que involucra la elaboración de una explicación a partir de las propias ideas del sujeto, mismas que no necesariamente corresponden con la ciencia escolar porque incluyen creencias que para la persona tienen sentido y significado desde sus referentes. Esto se abordará con mayor detalle en el Capítulo 3. Marco Teórico-Methodológico.

Características epistemológicas de los modelos

De acuerdo con Adúriz-Bravo y Ariza (2014) es fundamental el análisis metacientífico acerca de la naturaleza de la ciencia para enriquecer la DC con base en una visión semántica ya que este ejercicio permite la reflexión teórica sobre los procesos de enseñanza y aprendizaje con la finalidad de estudiarlos y entenderlos. Por esta razón insisten en el análisis de las teorías científicas desde los aspectos del lenguaje en relación con los significados, desde la sintaxis o forma de las teorías hacia la semántica o significado de éstas. Así, el enfoque de modelos o modelo-

teórico se puede utilizar con el propósito de comprender la ciencia para mejorar su enseñanza. Los autores advierten que las múltiples acepciones que tiene el término modelo, pueden obstaculizar el proceso. Además, señalan que tal situación se puede atenuar cuando se consideran las características epistemológicas del constructo modelo. Adúriz-Bravo y Ariza puntualizan que la escuela semanticista, con la propuesta de Ronald Giere, es adecuada para el desarrollo de la DC. Detallan que la concepción semanticista analiza la noción de modelo considerando desde las caracterizaciones de la diversidad de modelos, su estructura y lugar en las teorías científicas, hasta las funciones entre éstas y los sistemas reales estudiados (representacional, analógica, mediadora). De tal manera que los modelos favorecen el razonamiento sobre los fenómenos del mundo. De esta manera, Adúriz-Bravo y Ariza listan las características epistemológicas de los modelos científicos de la siguiente forma:

Modelos a partir de teoría y empiria. Son aquellos modelos concretos que se obtienen de pautas generales resultado de la abstracción. Por ejemplo: réplicas a escala e imágenes.

Modelos para unas determinadas finalidades y valores. Aquellos modelos que se utilizan para explicar algo, por lo que conllevan intencionalidad y valores para quien los construye; las funciones que tienen en específico son describir, explicar, predecir y comunicar la realidad.

Analogías teóricas respecto de la realidad. Presentan una similitud con el sistema que representan y en ese aspecto son análogos del mundo, debido a esto, se pueden ajustar de acuerdo con las nuevas evidencias que se observen de esa parte de la realidad. Así, los modelos analógicos abordan y explican determinados sistemas bajo ciertas condiciones y forman parte de la teoría producto del razonamiento.

Mediadores entre la teoría y la empiria. Se refiere a que los modelos tienen similitud con el mundo y dependen de los recursos simbólicos o teoría; debido a ello, son constructos híbridos porque dan cuerpo a las teorías y permiten a la vez desarrollarlas por lo que son mediadores entre éstas y el mundo real.

Adúriz-Bravo y Ariza (2014) mencionan que el enfoque semanticista de Giere es el más utilizado en la DC y se conoce como modelo cognitivo de ciencia; en él, Giere asume un estudio del conocimiento científico a partir de una postura cognitiva. Así, agregan, los modelos teóricos se relacionan con los diversos recursos expresivos referentes a la parte teórica y los sistemas reales (empíricos) con los que tienen similitud. De esta forma, las representaciones mentales, que son de sí internas y abstractas (no lingüísticas) se relacionan con la realidad que les asignan los

investigadores; por otra parte, la teoría está conformada por familias de modelos ya que cada modelo teórico aborda un aspecto de la realidad, pero se interconecta con otros modelos relacionados con dicho aspecto y que explican otra parte de la misma realidad. La parte lingüística, prosiguen los autores, corresponde a las entidades o hipótesis que hacen posible la relación entre los modelos teóricos y el mundo ya que son enunciados que se pueden validar, es decir, confirmar si son verdaderos o falsos con dicho contraste. La validación es un indicador del nivel de semejanza entre la hipótesis y el sistema real. De esta forma, afirman Adúriz-Bravo y Ariza, gracias a la postura semántica, las teorías científicas pueden ser representadas en una modalidad semiformal análoga y formuladas de manera abstracta en términos de los modelos que las caracterizan. Este enfoque se vincula con las características epistemológicas de la DC.

Como se ha desarrollado en los párrafos anteriores, la visión cognitiva de ciencia aporta un sustento teórico fundamental para favorecer la construcción de conocimiento científico en la DC debido a que muestra numerosas ventajas frente a otras posturas de enseñanza. Izquierdo (2007) explica algunas de estas ventajas:

- El conocimiento científico se hace accesible al relacionarlo con los intereses cognitivos de los alumnos porque los procesos de pensamiento que se llevan a cabo en la modelización (Giere), y que son retomados del hacer científico, son propios de todas las personas: habilidades de abstracción para comprender un suceso, verbalización oral o escrita para explicar y apropiarse de un lenguaje —científico—, así como hacer cuestionamientos y desarrollar representaciones o modelizaciones propias para explicar un fenómeno natural de forma lógica y con evidencia.
- Rescata la dimensión humana del conocimiento (raciocinio, creatividad y valores) que le da significado al conocimiento y la posibilidad de que los alumnos generen sus propias estrategias de aprendizaje para la vida.
- Deja en evidencia la relevancia de estructurar el pensamiento, de expresar, dialogar, argumentar y socializar el conocimiento para sostener decisiones fundamentadas en explicaciones racionales.
- Resalta los procesos de modelización que, con enfoque semanticista, dan significado al conocimiento porque favorece su construcción a partir de las ideas e hipótesis (representaciones del mundo), la actuación (experimentación) y el lenguaje (comunicación). Este proceso es característico de la ciencia y de la CE.

- Los modelos favorecen además la interdisciplina y con ello el tratamiento de la complejidad de los fenómenos, en la medida de lo posible.

A partir de las aportaciones de los investigadores mencionados, se concluye que el modelo cognitivo de ciencia y la postura semanticista hacen posible centrar la atención de la DC en la naturaleza epistemológica de la ciencia y, en consecuencia, en la construcción del conocimiento científico a partir de las capacidades cognitivas del sujeto. La elaboración de modelos mentales ocupa el lugar principal de dichas capacidades humanas y permite la elaboración de modelos científicos para comprender los fenómenos naturales que ocurren en el mundo. Dado que los alumnos también son sujetos que buscan comprender el mundo, elaboran de forma natural sus propias explicaciones o pensamientos espontáneos que les son significativos porque derivan de la lógica de su sentido común. Tal situación conlleva la necesidad de traducir el pensamiento espontáneo de los estudiantes a una estructura de modelos mentales que permita su análisis con la finalidad de incorporarlos de forma coherente como constructos que sean integrados en la ACE.

Didáctica de las ciencias y actividad científica escolar

Modelo de actividad científica escolar

Aliberas, Izquierdo y Gutierrez (2013) resaltan la importancia del modelo de ACE como un enfoque que adapta las características, epistemología y dimensiones de la actividad de los científicos a las necesidades de las formas espontáneas del pensamiento de los alumnos. Este contexto didáctico haría posible que el estudiante se involucre en acciones correspondientes a las dimensiones de la actividad científica con énfasis en la elaboración de modelos mentales y su vínculo con los sistemas físicos existentes en el mundo. Por otra parte, Izquierdo y Adúriz-Bravo (2021) acotan que Giere adopta una postura naturalizada de la actividad científica con base en las ciencias cognitivas, es decir, que todas las personas piensan con ayuda de representaciones abstractas, a partir de las cuales elaboran juicios y toman decisiones, igual hacen los científicos para abordar la realidad. Agregan que tales representaciones son modelos mentales que se construyen por el sujeto y en un determinado contexto; en consecuencia, los alumnos también tienen las capacidades cognitivas para pensar los distintos aspectos del mundo con el rigor que otorga el razonamiento. Izquierdo y Adúriz-Bravo retoman lo que Giere plantea sobre un realismo moderado o racionalidad perspectiva. Cabe mencionar que Giere (1999d) explica que la construcción de los modelos científicos busca que éstos se aproximen lo mejor posible a las

evidencias de la realidad. Por lo tanto, la construcción de conocimiento científico es progresiva con base en hipótesis diversas que se prueban para encontrar la similitud con la realidad y comprender el mundo, mas no se busca una verdad absoluta.

Izquierdo y Adúriz-Bravo (2021) resaltan que el modelo cognitivo de ciencia contribuye con la DC al propiciar una formación centrada en el sujeto, en sus capacidades cognitivas naturales y con base en ellas es posible desarrollar una ciencia escolar:

... una manera humana de conocer colectiva, vigilada y autocorrectiva, en donde las inferencias se muestran justificadas. Se desdibuja entonces esa idea positivista de verdad inmutable “descubierta”, debido a que en la modelización se suman ahora las motivaciones, intereses y emociones que acompañan de manera intrínseca la actividad de intervención y de producción de discurso que permite conocer el mundo *para moverse en él* (Izquierdo-Aymerich, 2014). (p. 80)

Al retomar el realismo perspectivo o constructivo de Giere (1999b), la elaboración de un modelo mental incluye el pensamiento de la persona y sus intereses, así como su experiencia individual y social. Esto, afirma el filósofo, se traduce en la selección de determinadas características o condiciones de la realidad para elaborar el modelo y tratar de comprender esa parte de la realidad. Así, Giere explica que se abre la oportunidad de que todas las perspectivas de los modelos se puedan considerar para explicar un fenómeno, pero en el proceso de comprensión serán seleccionados aquellos modelos que sean compatibles con base en su grado de ajuste a las evidencias de la realidad para dicho fenómeno. Con base en este supuesto del autor, es interesante considerar que contribuye de forma relevante con la educación en ciencias porque hace posible incentivar la creatividad de los alumnos en la elaboración de modelos científicos escolares, pero considerando en todo momento la forma de probarlos para contrastar su validez. Izquierdo y Adúriz-Bravo (2021) resaltan que este modelo de ciencia permite elaborar modelos rigurosos, pero flexibles, y es congruente con el quehacer científico y con la ACE ya que permite la transposición didáctica constructivista.

En concordancia con lo anterior, Adúriz e Izquierdo (2009) profundizan en que las teorías y los modelos científicos favorecen la ACE porque un modelo es un esquema teórico que explica una parte de la realidad y es útil para estudiarla. Por lo tanto, es un *subrogado* que *re-presenta* interacciones entre determinados elementos y, agregan, que por ello Moreira lo define como un *facilitador* para comprender el mundo. De esta forma, se puede inferir que las capacidades de

abstracción, creatividad e imaginación de los investigadores son esenciales en la elaboración de los modelos teóricos porque —como afirman ambos autores— la intervención mediante los modelos permite pensar los fenómenos y actuar para comprenderlos. Acerca del concepto de modelo teórico, Giere (1999, como citan Adúriz e Izquierdo, 2009) hace aportes para definir el constructo como una entidad abstracta, no necesariamente lingüística, equiparable a las proposiciones, por lo que concuerdan en que un modelo es cualquier representación por un medio simbólico que permite analizar, comunicar y actuar con formalidad y profundidad sobre el fenómeno que se está estudiando. Por esas razones —nos explican los autores— es que los modelos son pertinentes en la DC, pues permiten estructurar el pensamiento para analizar y comprender la realidad, y dicha estructuración perdura y es factible de ser aplicada en la comprensión de otros problemas. Además, agregan que la modelización despierta el interés en los alumnos porque los involucra en la reconstrucción de los fenómenos naturales y el enfoque semántico hace posible la apropiación del conocimiento con participación del estudiante ya que favorece el desarrollo de herramientas intelectuales.

Así, Izquierdo y Adúriz (2003), con base en el modelo cognitivo de ciencia de Giere, exponen una vía de sustento epistemológico para la noción de construcción de CCE con ayuda de distintas formas de representación que los estudiantes pueden utilizar y les faciliten la apropiación de conocimiento científico escolar. Desde finales de los años 80, el epistemólogo Ronald Giere centró su atención en la filosofía cognitiva de la ciencia como marco teórico para buscar genuinas explicaciones de la ciencia como actividad humana. Y en esta perspectiva, Izquierdo y Adúriz han buscado trasladar el significado de tal esfuerzo en beneficio de la DC. Es preciso notar que el objetivo de la ciencia es construir conocimiento científico nuevo sobre una diversidad de asuntos y el de la CE consiste en que los educandos se apropien del conocimiento científico ya conocido, pero a partir de desarrollar un significado para ellos. Giere (1988, como se cita en Izquierdo, 2007) explica que los procesos cognitivos de representación de los hechos naturales son similares en todos los seres humanos, es decir, todas las personas utilizan la abstracción, la representación y lenguaje diverso para comprender el mundo y esto es un punto de coincidencia fundamental como punto de partida con la DC. Como refieren López y Moreno (2014), Giere sostiene que el lenguaje científico es fundamental para abordar la realidad, cuyos aspectos sintáctico y semántico son importantes, pero es el semántico el que es crucial para comprender el mundo porque conlleva la representación de éste. Así, el aspecto semántico permite pensar el mundo para estudiarlo,

utilizando los lenguajes y formas representacionales que permiten elaborar modelos científicos y en éstos se centra Giere porque son mediadores entre la realidad y la teoría.

De esta forma, teniendo en cuenta a Giere (2004c), se considera que, desde el marco de la filosofía de la ciencia, la representación científica de los fenómenos desde el aspecto de la semántica da referentes para representar y, después, validar la información. Por lo que la representación es utilizada para construir modelos que permiten elaborar explicaciones que se aproximan lo más posible a lo que ocurre en el mundo, en la realidad empírica. Asimismo, Izquierdo (2007) explica que los aportes de la historia, la lingüística y la sociología han enriquecido y modificado el estudio de la ciencia, por lo que ahora se asume que las teorías científicas son generalizaciones sustentadas en modelos que ayudan a comprender los fenómenos que ocurren en el mundo. Éstos son representaciones abstractas que dan la posibilidad de identificar, analizar y comprender la realidad y como afirma Izquierdo en el mismo texto, las teorías científicas en realidad no son tan lejanas como se piensa, ya que son producto de la actividad humana de abstracción. Así mismo, continúa, los modelos son producto del lenguaje y valores culturales con los que se interpreta el mundo, es decir, tienen una semántica o significados determinados. Por lo tanto, se abre la oportunidad de enseñar ciencias mediante modelos teóricos adecuados para dar significado a los hechos que se estudian y que propicien la construcción de CCE paulatinamente más cercano al conocimiento científico requerido en el nivel educativo de los alumnos. Sobre el mismo tema, Izquierdo y Adúriz (2003) evidencian que el conocimiento semántico o representacional que aporta el Modelo Cognitivo de Ciencia, al concebir la Ciencia como el esfuerzo humano de conocer e interpretar el mundo con las capacidades de abstracción inherentes a los seres humanos, permite hacer el vínculo de la ciencia con la DC. Esto es posible porque facilita la intención de que los alumnos se apropien de ideas teóricas significativas para ellos. Agregan los autores también que posibilita la transposición didáctica —ajustar la ciencia de los investigadores a la ciencia escolar CE— requerida para las necesidades de aprendizaje de los estudiantes, como ya se mencionó, de acuerdo con cada nivel educativo.

Izquierdo y Adúriz establecen una conexión entre el quehacer científico y la CE, para ello hacen una analogía entre los modelos como entidades no lingüísticas en la ciencia y como elementos en la cognición de los estudiantes. Entre los principales conceptos teóricos cognitivos de la educación científica que resaltan los autores están los procesos metacognitivos o pensamiento autónomo, las concepciones de los estudiantes (Duschl, 1990, como se cita en Izquierdo y Adúriz,

2003) y la transposición didáctica o reconstrucción de la ciencia para la enseñanza (Chevallard, 1990; Joshua, 1993; Dupin y Ogborn, 1996, citados por Izquierdo y Adúriz, 2003), todo ello en equilibrio con los aspectos sociales necesarios para la construcción de conocimiento. De esa forma, el objetivo de conocer es el vínculo con la CE, por esta razón es necesaria la transposición didáctica. Cabe destacar que, como aclaran Izquierdo y Adúriz, (2002) en la visión epistemológica de la ciencia —como producto histórico y cultural humano— se incluyen supuestos fundamentales como que el lenguaje científico es cambiante, los paradigmas no son permanentes y que el razonamiento abductivo o creativo es relevante. Izquierdo y Adúriz analizan que los científicos, con sus propios objetivos, significan el mundo con ayuda de varios métodos de investigación, entre los que se desarrollan los modelos —entidades lingüísticas, modelos materiales, mapas, analogías— que semejan la realidad con base en interpretaciones abstractas o teorías y que se vinculan con el mundo mediante la prueba de hipótesis con base en los propios modelos. Acotan ambos autores que los científicos eligen los problemas a estudiar para construir nuevos conocimientos, crean modelos teóricos y su propio lenguaje, a diferencia de los estudiantes. Es ahí donde se puede afirmar que la CE adapta los modelos teóricos científicos para que tengan sentido desde la forma de pensar espontánea de los alumnos. De igual forma, puntualizan Izquierdo y Adúriz, que las teorías no son verdades absolutas, sino representaciones del mundo, aproximaciones para comprenderlo, por ello la concepción semántica es pertinente en la DC.

Ahora bien, la inclusión de los diversos lenguajes y formas de representación, la identificación de puntos de anclaje para la construcción de conocimiento científico escolar en un nivel educativo y la selección de los criterios didácticos para el diseño, aplicación y validación de SD, se llevan a cabo con ayuda de la modelización. Al respecto, López (2019) acota que el papel de las explicaciones espontáneas en la transposición didáctica es esencial porque es la vía para orientar el diseño de SD que les permitan a los alumnos utilizar lenguajes y formas de representación para favorecer la construcción de conocimiento científico con sus propias formas de pensar. Esto da como resultado, en el proceso de modelización del alumno, conocimiento con posibilidades de apropiación estudiantil. Así, aumenta la probabilidad de que la comprensión de un hecho natural sea interesante, satisfactorio y útil para los educandos; como puede ser el caso de la toma de decisiones fundamentadas para mantener la salud y participar de manera solidaria con la salud de la comunidad.

Sistemas de creencias de los estudiantes

Como una primera aproximación a la forma de pensar natural de los alumnos, se tiene la explicación de Flores (2022) acerca de existen distintas formas de nombrarla, como ideas previas, nociones alternativas o concepciones espontáneas sobre los fenómenos científicos que no han sido evidenciadas en el contexto de aprendizajes escolares. Existen en las mentes de los estudiantes como respuestas de una persona para construir explicaciones sobre un fenómeno natural determinado. Por ello, estos razonamientos espontáneos generalmente incluyen descripciones y predicciones. Los aportes de Pozo (1989, como se cita en Flores 2022) permiten aclarar que, además, dichas explicaciones son causales y conllevan esquemas relacionales; también agrega que estos argumentos tienen un sistema de validación que puede ser por comparación y acuerdo con las ideas de otras personas (sus iguales o personas comunes, por ejemplo). Hasta este punto es evidente que se debe considerar que las ideas espontáneas pueden incluir desde explicaciones más o menos cercanas al conocimiento científico, así como también falacias y falsas creencias. En todo caso, considerando el objetivo de construcción de CCE, será necesario propiciar la transformación de las mismas. Esto, como explican Strike y Posner (1985, citados por Flores, 2022) para orientar a los estudiantes en el reconocimiento de anomalías, explicaciones o predicciones no del todo satisfactorias, así como la aceptación y mínima comprensión de otras explicaciones sustentadas científicamente; esto conlleva el tránsito por varios niveles en el proceso de construcción de CCE.

El antecedente descrito es valioso, no obstante y debido a que en la presente investigación se considera la perspectiva de modelos, se considera la descripción de pensamiento espontáneo como lo sugiere Gutierrez (1994): término genérico para incluir concepciones espontáneas, ideas de los alumnos, marcos alternativos y conceptuales, preconcepciones, miniteorías u otros términos similares referentes a las explicaciones que construyen los alumnos desde sus propias ideas sobre un hecho o fenómeno natural. Además, Gutierrez (1996) profundiza en las características distintivas de las ideas espontáneas de las personas y menciona las siguientes: son construidas por el sujeto en un contexto físico y social determinado, sin necesidad de una instrucción específica, tienden a ser resistentes a la modificación y se originan en el inconsciente. De esta forma, como sostiene Ausubel (1983), el pensamiento construye conocimiento que invariablemente tendrá un componente idiosincrático, con relevancia y significado para el sujeto porque es consistente con una lógica particular de la estructura cognitiva del individuo. Como evidencian estos autores, las ideas espontáneas forman parte sustancial del pensamiento de los individuos debido a que reflejan

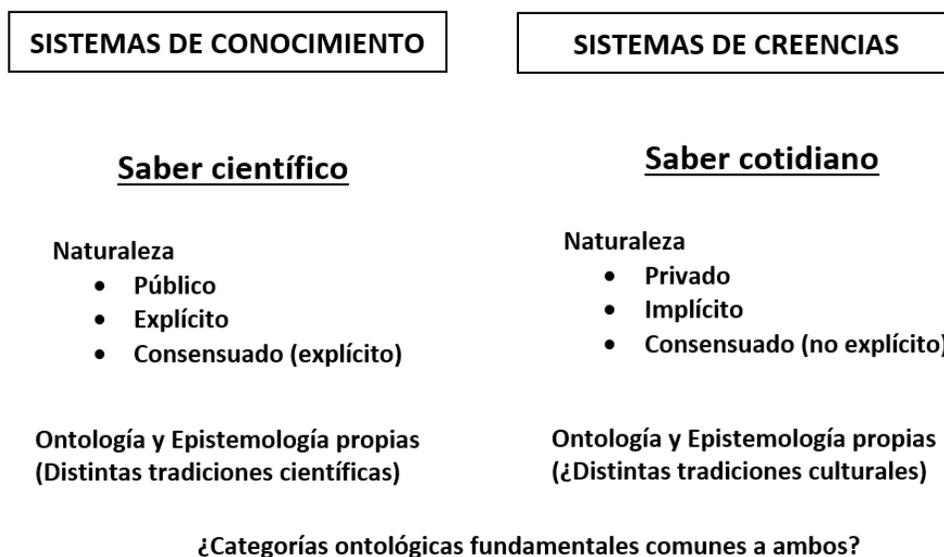
cómo se explican el mundo con ayuda de referentes y significados que toman del entorno y que valoran y acomodan de acuerdo con sus propios referentes.

Otro aspecto a considerar es la cercanía o distancia entre los modelos espontáneos de los alumnos y los modelos científicos. Galagovsky y Adúriz-Bravo (2001) describen a los modelos de sentido común como constructos idiosincráticos producto de las experiencias cotidianas y de los significados sociales de los educandos; por esta razón su relación con la realidad es la de representaciones elaboradas tal cual son captadas por los sentidos. Esto es, tienden hacia el realismo ingenuo ya que carecen de entidades auxiliares que permitan relaciones de causalidad no lineales y reversibles, sustituyen a la realidad, son rígidos, se construyen para cada aspecto de la realidad y sus reglas lógicas no corresponden al pensamiento hipotético-deductivo riguroso. Estos autores también llaman a los modelos de sentido común, representaciones de primer orden. Acerca de los modelos científicos, Galagovsky y Adúriz-Bravo detallan que éstos se elaboran por consenso de una comunidad científica, poseen entidades e interacciones de causalidad que permiten abstracciones para simplificar, reestructurar y hacer analogías de sus elementos; por estas razones constituyen familias de modelos o sistemas complejos de representaciones. Los autores concluyen que los modelos científicos, al ser representaciones de segundo orden, permiten describir, explicar y predecir el comportamiento de un fenómeno natural.

Con mayor detalle Gutierrez (2007) expone que los sistemas de creencias, los sistemas de conocimientos, así como las creencias epistemológicas y ontológicas espontáneas de los sujetos influyen en la significatividad del aprendizaje. Explica Gutierrez que la Ciencia Cognitiva abrió la oportunidad para abordar el pensamiento de los alumnos como Sistemas de Creencias que, junto con los Sistemas de Conocimiento, permiten comprender la conducta cognitiva de los sujetos:

Los Sistemas de Conocimiento son los saberes públicos que se identifican como conocimientos científicos. Como tales, son explícitos, tienen coherencia interna y criterios de demarcación (epistemologías, órganos de control y consenso). Los Sistemas de Creencias son implícitos (escapan al ámbito consciente de los sujetos), se construyen espontáneamente, sin que medie instrucción específica, y son resistentes al cambio. (p. 575)

Los Sistemas de Creencias se refieren a los saberes construidos de forma cotidiana, Gutierrez hace una comparación entre Sistemas de Conocimiento y Sistemas de Creencias que resalta las características de ambos, como muestra la Figura 9:

Figura 9*Sistemas cognitivos en los sujetos*

Nota. Reproducido de “Sistemas de creencias, modelos mentales y cambio conceptual” (p. 576), por R. Gutierrez, 2007, *Indivisa, Boletín de Estudios e Investigación, Monografía VIII*.

Gutierrez con base en Abelson (1979, como se cita en Gutierrez 2007) retoma algunos ejemplos de construcciones espontáneas: creencias (dogmas), categorías esenciales (materia, brujas, espacio), juicios de valor (utopías, el deber ser), situaciones (buenas, malas, normales), tradiciones, supersticiones, dificultad para tener nitidez conceptual y diversos grados de aproximación a “la verdad”. Gutierrez aclara que puede ser que ambos sistemas compartan categorías ontológicas fundamentales y que los Sistemas de Creencias corresponden a un nivel de cognición donde se originan las ideas espontáneas de los sujetos. Este supuesto reitera la naturaleza del pensamiento humano en función de la necesidad de entender la realidad con base en el conocimiento que el sujeto construye, debido a que tal elaboración por una parte es natural e incluye a las ideas provenientes de la vida cotidiana, como por otra parte a las ideas propiciadas por la instrucción escolar o formal. De esta forma, se tiene que los procesos cognitivos de asimilación y acomodación subyacen a la elaboración del conocimiento; cuando esos saberes se construyen de forma sistematizada por medio de la actividad científica, el conocimiento se formaliza bajo los criterios de la visión científica porque incorpora a la representación mental los componentes provenientes de la realidad.

Modelo científico escolar

Otro constructo relevante para la presente tesis es el modelo que será utilizado como referente para la construcción de conocimiento en el aula; al respecto Izquierdo y Adúriz-Bravo (2021) explican lo siguiente:

Para reconstruir la ciencia escolar con base en modelos, lo primero (y quizás lo único, en realidad) es diferenciar lo que es el mundo (cualquier sistema real estudiado por las ciencias) de lo que de él dicen (ordenándolo) los libros de ciencias y, a la vez, conectar ambas cosas. En la ciencia escolar nos concentramos en el mundo de las y los estudiantes (el conjunto de contextos que tienen impacto en su vida) y también buscamos orden, pero un orden que ha de ser el adecuado a la acción competente de los agentes cognitivos a quienes estamos enseñando. (p. 82)

Esta afirmación de los autores se vincula con la importancia del aprendizaje situado, mismo que debe considerar los intereses y necesidades de las formas espontáneas del pensamiento del alumno, así como los hechos ejemplares representativos de la ciencia para pensar los fenómenos naturales, por ejemplo, el mecanismo de infección viral. De acuerdo con Izquierdo y Adúriz-Bravo (2021) lo relevante no es replicar ciencia sabia, sino tener presente que los estudiantes tienen capacidades cognitivas y de toma de decisiones que les permiten desarrollar la ACE, por esta razón es esencial que los sistemas reales seleccionados para la enseñanza deben ser ejemplo representativo de los modelos teóricos incluidos en el currículo. Los autores prosiguen y explican que lo importante es que los educandos construyan el marco que usa la ciencia para intervenir los fenómenos naturales y explicar las razones que le dan validez y valor para comprender el mundo desde la visión de la ciencia.

Con lo descrito hasta este momento, se afianza la idea de que la enseñanza basada en modelos y modelización hace posible que los alumnos expresen sus formas espontáneas del pensamiento acerca de un hecho de la vida cotidiana concreto; y la ACE permite la transposición de los modelos científicos para relacionarlos con los modelos mentales de los estudiantes. En el tránsito de las explicaciones espontáneas hacia las científicas, los educandos reconocen componentes como entidades, propiedades y relaciones causales del fenómeno estudiado. De tal forma que el modelo hace posible la confrontación con el hecho real y permite expresar la forma de pensamiento, comunicarla para incluso, compararla con el modelo científico. En el trayecto el estudiante reconstruye sus explicaciones y tiene la posibilidad de fundamentarlas de manera cada

vez más satisfactoria teóricamente. Al respecto, Izquierdo y Adúriz-Bravo (2021) exponen que los sistemas reales son los casos, el modelo teórico escolar puesto a su consideración es el sistema de reglas bajo las cuales se explica dicho caso. Así, enfatizan, la actividad con modelos o modelización teórica permite la visión basada en un modelo que los alumnos pueden considerar valioso, lo que los anima a querer abordar esos fenómenos, a explicarlos y aplicarlos debido a que pueden hacer la abstracción necesaria para analizarlos de forma detallada y profunda. De esto se confirma que el enfoque de modelos además permite explorar el pensamiento espontáneo de los estudiantes a partir de técnicas y herramientas (entrevistas y cuestionarios, por ejemplo) diseñadas para propiciar que los alumnos expongan sus ideas, por ejemplo, a partir de preguntas abiertas y que les permitan distintas formas de lenguajes de expresión (esquemas, fotografías, escenarios, dibujos, narraciones u otros).

Con la finalidad de detallar más el constructo modelo espontáneo y sus características, se retoma a Orrego, López y Tamayo (2013), quienes explican que las nociones, signos y conjuntos de símbolos que elabora mentalmente una persona permiten representar aspectos del mundo tanto exterior como de su mundo interior. Por lo tanto, sugieren que se pueden clasificar las representaciones en externas, cuando son originadas por las acciones y son evidentes ante los demás, y en internas cuando corresponden a los pensamientos como fantasías, creencias, imágenes, modelos mentales, conceptos, u otros, que pueden llevar a explicaciones intuitivas o a científicas. Los autores aclaran que los modelos mentales, con base en Johnson-Laird, se relacionan con la elaboración de deducciones e inferencias con base en relaciones de semejanza (analogías) entre el modelo y el mundo real. Orrego, López y Tamayo agregan que Johnson-Laird (1983, como se citó en Orrego, López y Tamayo, 2013) sustenta que un modelo mental es una representación psicológica que tiene un vínculo estructural con aquello que representa, por lo tanto, tiene las siguientes características:

- Representa el referente de un discurso.
- La representación lingüística captura el significado del discurso (conjunto de situaciones descritas).
- El discurso se considera cierto en función de la relación del modelo con el mundo real.

Con base en ello, Orrego, López y Tamayo (2013), mencionan que los modelos mentales son analogías de algún aspecto de la realidad porque tienen limitantes derivadas de la representación. También explican que los modelos mentales incluyen las creencias que tienen las

personas sobre cómo funciona un sistema, por lo que deben tener correspondencia con esa parte de la realidad. Otro aspecto interesante de los modelos mentales y que agregan los autores es que “son dinámicos, incompletos, inespecíficos, parsimoniosos y evolucionan permanentemente, al interactuar el sujeto con el contexto. Independientemente de estas características, los modelos mentales pueden ser usados de forma adecuada por las personas en los contextos en los cuales ellas se desenvuelvan” (p. 83). De lo anterior se infiere que estudiar los pensamientos espontáneos, naturales o intuitivos de los alumnos permite conocer los modelos mentales que elaboran, es decir, cómo representan, por ejemplo, el proceso de infección por SARS-CoV-2 y el origen de los síntomas de la COVID-19. Esto propicia la posibilidad de identificar qué elementos o entidades están presentes en las representaciones de los alumnos y qué características les atribuyen, así también evidenciará las relaciones de causalidad que les satisfacen psicológicamente hasta el momento y, con ello, los aspectos de los modelos estudiantiles que se encuentran probablemente distantes o cercanos de la explicación científica que corresponde con base en el modelo erudito o universitario. Así, estos referentes son esenciales en el diseño y planeación de SD desde la perspectiva constructivista.

Pensamiento espontáneo

Como Gutierrez (1996) expone, la ciencia cognitiva retoma las investigaciones provenientes desde la psicología, la antropología, la inteligencia artificial y la lingüística y las integra bajo un enfoque de sistema computacional. Gutierrez detalla que este enfoque ha proporcionado una base de modelización e interpretación para el estudio del pensamiento humano y que dicha visión permite investigar cómo razonan los sujetos y la forma de representación de sus conocimientos, lo que incluye a las ideas espontáneas. Con base en esta perspectiva de estudio, se retoma en la presente tesis el concepto de pensamiento espontáneo para referir a la forma de razonar de los alumnos y que permite analizar la posibilidad de modificación de sus modelos mentales. Gutierrez (1996) aclara que se debe considerar que existen razonamientos que no siguen necesariamente reglas lógicas proposicionales y que pueden ser considerados como razonamientos alternativos. Para modelizar éstos, Gutierrez retoma el concepto de modelo mental de Philip N. Johnson-Laird (1983, como se cita en Gutierrez 1996), quien explica que los seres humanos construyen conocimiento al elaborar modelos para comprender y explicar los sistemas, tanto físicos como sociales, del mundo. Por lo que los sujetos son capaces de anticipar y predecir el

comportamiento de los sistemas que llaman su atención. Es importante recordar que se incluye en esta tesis el pensamiento espontáneo de los estudiantes en los razonamientos alternativos, ya que forma parte esencial en la elaboración de las explicaciones que les permiten encontrar sentido a los fenómenos naturales cotidianos; pero no necesariamente considera elementos del pensamiento científico como proposiciones y relaciones causales con base en los acontecimientos del mundo.

Para caracterizar el constructo modelo mental, Gutierrez (1996) resume los procesos cognitivos que conlleva:

- Primera representación: uso de símbolos, como palabras, números u otros y que hacen posible traducir los procesos del sistema externo al sujeto y formar una representación interna de los mismos.
- Segunda representación: mediante procesos de inferencia, la obtención de otra categoría de símbolos que permita hacer deducciones.
- Puesta en marcha de la segunda representación: retraducir la segunda representación en acciones o formas que lleven a la comprobación de la correspondencia entre la representación interna y el sistema exterior.

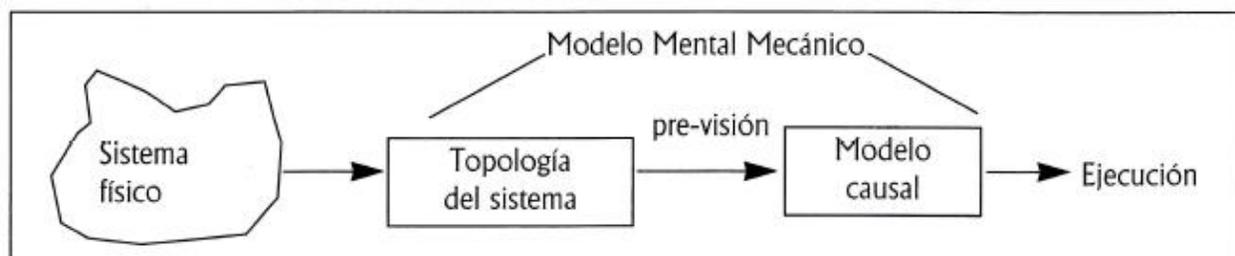
Gutierrez también agrega dos acotaciones fundamentales para la descripción anterior. En primer lugar, que el modelo mental construido solo incluye aquellos elementos de la realidad que son de interés para el sujeto ya que siente la necesidad de comprenderlos. En segundo lugar, que la difusión del concepto modelo mental ha dado origen a nombres matizados como teorías intuitivas o espontáneas, modelos cualitativos, modelos idealizados cognitivos, entre otros; no obstante, los distintos referentes teóricos están de acuerdo en los elementos constitutivos de un modelo. En el caso de la segunda, Gutierrez resalta que para operativizar o modelizar las explicaciones espontáneas de los sujetos, es esencial caracterizar los elementos del modelo mental y reconocerlos en dichas explicaciones. Con base en ello, se puede mencionar, como ejemplo de la primera acotación, que alguien puede tener curiosidad sobre cómo giran las ruedas en el eje de un automóvil, sin necesitar la explicación acerca del funcionamiento del motor; la segunda, correspondería a las piezas mecánicas, sus características e interacciones para provocar el movimiento giratorio.

Para resolver el problema de la operativización, Gutierrez retoma la teoría de los modelos mentales mecánicos de Kleer y Brown (1981, 1983 y 1984, como se citó en Gutierrez, 1996) ya que proporciona un marco para simulaciones de programas computacionales en el que se detallan

los elementos del flujo de información en el análisis de un sistema físico. Kleer y Brown, citados por Gutierrez, retoman el modelo mental de Johnson-Laird y lo adaptan, como muestra la Figura 10, para elaborar el constructo modelo mental mecánico:

Figura 10

Elaboración de una representación mental por parte del sujeto



Nota. En esta representación que hace Gutierrez nuevamente el modelo mental es un constructo para comprender cómo funciona una parte de la realidad. Reproducido de “Modelos mentales y concepciones espontáneas” (p. 77), por R. Gutierrez, 1996, *Alambique Didáctica de las Ciencias Experimentales*, (7).

Gutierrez (1996) explica que la topología del sistema —primera representación— es la construcción interna de la estructura del Sistema físico (exterior). El elemento pre-visión —paso a la segunda representación— es el proceso de inferencia que explica el funcionamiento del sistema exterior. El Modelo causal —segunda representación— es la reconstrucción interna que explica la interacción entre los componentes del sistema y, por lo tanto, explican la causalidad de su funcionamiento. Por último, la Ejecución —puesta en marcha de la segunda representación—, es el proceso de comparación entre el comportamiento del modelo mental mecánico y el sistema físico exterior para confirmar la correspondencia entre ambos. Es posible notar en la explicación anterior que con la comparación entre el modelo mental de Johnson-Laird y el modelo mental mecánico de Kleer y Brown, Gutierrez pone en evidencia la concordancia y utilidad de ambos referentes para analizar los procesos del pensamiento espontáneo desde una visión de cambio en la cual ocurren construcciones y reconstrucciones del conocimiento, con base en representaciones mentales. Gutierrez (1996) explica que la mejora de los modelos mentales que elaboran los sujetos se debe a la modificación de la topología o invención de reglas nuevas que permitan ajustar la explicación, siempre en búsqueda de coherencia entre lo que piensan y lo que ocurre en la realidad. Así, Gutierrez enfatiza que la primera representación y el proceso de pre-visión son los momentos

en los que las ideas personales —provenientes del sentido común— tienen mayor oportunidad de ser incorporadas por el alumno en forma de pensamiento espontáneo, mismo que es posible analizar en términos de otro modelo denominado ONEPSI, mismo que se explica en los siguientes apartados de este capítulo.

Gutierrez (2001) menciona que los estudiantes construyen, en todos los campos de conocimiento, sus propias ideas acerca de los conceptos científicos, incluso sin necesidad de una instrucción formal; por esta razón, sus ideas espontáneas deben incluirse en la instrucción escolar con el propósito de transformarlas hacia las explicaciones científicas. Gutierrez retoma el modelo mental mecanicista de Kleer y Brown debido a la claridad con la que describe los elementos necesarios para su elaboración a partir del supuesto de la observación de un sistema físico dinámico. Los elementos de dicho modelo son: imaginar una representación interna de la interacción de los componentes que hacen funcionar el sistema externo de interés, el producto es un modelo causal; correr o pensar el modelo causal de manera dinámica como una secuencia de eventos; ejecutar, simular mentalmente para comparar el modelo mental causal con el comportamiento del sistema físico externo para evaluar su correspondencia. En el proceso de explicar un fenómeno, agrega Gutierrez, con base en Kleer y Brown, los sujetos buscan las causas y los efectos para comprender y, en el caso de desconocerlas, incluso las puede inventar (causas míticas). Esta tendencia cognitiva, aclaran los autores, se debe al Principio causal: todo efecto tiene una causa. Por lo que agregan que el Modelo causal obtenido debe ser coherente —sin contradicciones internas—, correspondiente —predictivo del comportamiento del sistema externo— y robusto —con correspondencia y aplicable en otras situaciones nuevas— para que origine satisfacción cognitiva al sujeto.

Con respecto de los modelos científicos, Gutierrez y Pintó (2005), con base en la ontología de Bunge, cuya postura de realismo moderado concuerda con la de Giere, consideran que un modelo científico, también llamado teórico, tiene los siguientes conjuntos ontológicos que permiten reconocerlo:

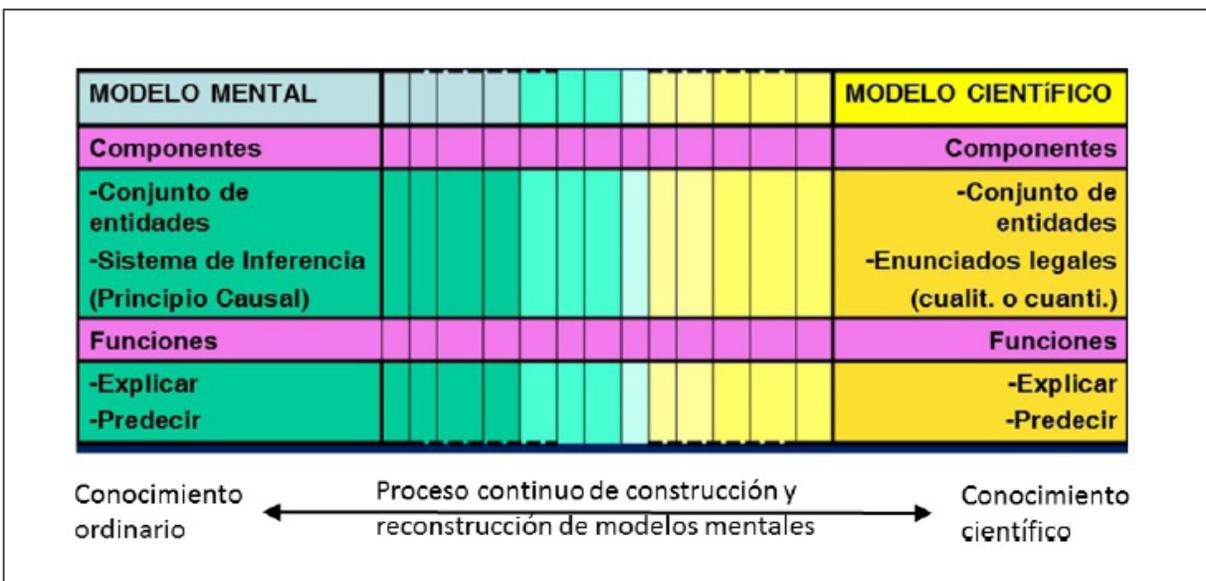
- Entidades con propiedades características y que forman el modelo objeto, es decir, una representación esquemática de un sistema concreto (estructura material y propiedades físicas) o de un sistema formal (constructos como conceptos o proposiciones, sin propiedades físicas).
- Enunciados legales que explican los comportamientos de las entidades.

De esta forma, para efectos de la presente tesis, la identificación de estos elementos ontológicos y sus correspondientes relaciones causales y funcionales en el pensamiento espontáneo de los alumnos permitirá reconocer el grado de aproximación o lejanía de sus sustentos con base en la explicación científica. Dicha ontología remite a los componentes de la realidad de un fenómeno natural que son identificados y permite hacer tanto la comparación, como el análisis de las explicaciones espontáneas en términos de modelos.

Hipótesis de la continuidad

Gutierrez (2017) agrega que Nersessian, al plantear la Hipótesis de la Continuidad, proporciona un marco teórico firme para comprender el vínculo entre los procesos de construcción del conocimiento espontáneo y del científico. Como ya se abordó en esta tesis, Nersessian, permite partir del supuesto de continuidad entre el pensamiento espontáneo y el pensamiento científico que sirve como orientador para la transformación de las explicaciones espontáneas de los estudiantes. Dicho proceso es semejante en ambos casos debido a los modelos mentales que se forman para representar el mundo. De esta forma, el aspecto ontológico que se evidencie con la exploración de las ideas espontáneas de los educandos hará posible inferir el MEI necesario para compararlo con el dispositivo teórico-metodológico MCEA. Éste hace posible la descripción y caracterización de los MEI y del MEI d de forma más detallada al considerar, también, los modelos provenientes tanto de la ciencia como del currículum escolar.

En la Figura 11, mostrada por Gutierrez (2017), se identifica el vínculo en los procesos cognitivos propios de los seres humanos para abordar un problema y buscar respuestas, ya sea a partir de un modelo mental o de un modelo científico. Gutierrez explica que Nersessian se refiere a que tanto el pensamiento espontáneo como el científico se elaboran a partir de representaciones o modelos mentales que, en el caso de los investigadores, dan pie a la elaboración de expresiones formales como las leyes y teorías. Así, continúa la autora, Nersessian aporta la Hipótesis de la Continuidad y la sustenta en el método Análisis Histórico Cognitivo que desarrolló al estudiar datos provenientes de la historia de la Ciencia sobre la construcción de modelos científicos. La investigación de Nersessian muestra que, lo que en un inicio fueron modelos mentales, alcanzaron posteriormente el estatus de modelos científicos.

Figura 11*Hipótesis de la continuidad*

Nota. Reproducido de “Construcción del conocimiento espontáneo y del conocimiento científico I: ¿existe alguna conexión?” (p. 4334), por R. Gutierrez, 2017, *Enseñanza de las ciencias*, (Número extraordinario).

Es importante resaltar que la Figura 11 muestra diferencias en la construcción de conocimiento por parte de los científicos y de los sujetos en general debido a que los primeros utilizan objetivos teóricos, estrategias y métodos de validación por consenso con otros investigadores. No obstante, como afirma Nersessian (2007), en ambos casos se involucra la búsqueda de resoluciones a situaciones problemáticas. Es conveniente recordar que el origen de estos mecanismos que llevan al aprendizaje es la necesidad cognitiva que surge al identificar diferencias entre las representaciones formuladas para comprender un aspecto de la realidad y lo que ocurre en efecto en dicha realidad. Como también se puede apreciar en la Figura 11, el proceso cognitivo es constructivo, es decir, se elabora con la base del conocimiento que ya se tiene y hace posible reconocer significados en el nuevo conocimiento, asimilarlo y acomodarlo. Esto hace posible que se originen nuevos esquemas cognitivos porque también ocurre una reconstrucción de las representaciones mentales.

Aunque Nersessian se refiere a los cambios conceptuales profundos para explicar cómo ocurren los mecanismos de aprendizaje, incluye en ellos a las representaciones y para explicar que

los cambios conceptuales son modificaciones o “cambios de visión” razonadas se apoya en Harman (1986, como se citó en Nersessian, 2007) y, por lo tanto, son parte de la construcción de sentido que desarrollan las personas para abordar las situaciones. Esta característica resalta la naturaleza del razonamiento humano de elaborar modelos para resolver problemas; como ejemplos la autora menciona modelos analógicos, visuales y simulativos mediante experimentos mentales. De esta forma, se tiene que el concepto de Nersessian sobre los modelos mentales como representaciones resultado del razonamiento lógico y que involucran relaciones estructurales, de comportamiento o funcionamiento de un sistema, es congruente con el Modelo de Ciencia Cognitiva porque se sustenta en las capacidades humanas de abstracción, de discriminación (analogías) e imaginación para predecir entre otras.

En el caso de la hipótesis de la presente investigación —ya enunciada en el Capítulo 1. Planteamiento del problema—, se parte de la capacidad humana para construir modelos mentales, del interés por describirlos y de afirmar que es posible la transición entre el pensamiento espontáneo o natural de los estudiantes hacia el pensamiento científico, por medio de la construcción del CCE sobre el fenómeno de referencia que se desee abordar. De manera inherente, en el proceso se involucra tal pensamiento espontáneo y eso lleva a la necesidad de profundizar en sus características para inferir los modelos correspondientes. Éstos son la expresión del conocimiento científico escolar que elabora el alumno y de la forma como lo genera con los componentes ontológicos y epistemológicos con los que cuenta.

Nersessian, con base en Johnson-Laird (1983, como se citó en Nersessian 2007), considera que en la línea semántica es mayor la relevancia de las representaciones de una situación en el razonamiento lógico que la descripción de la misma. La autora se concentra en la modelización mental y por ello da una explicación psicológica acerca de la construcción y manipulación de los modelos en el proceso de razonamiento. Por esta razón, está de acuerdo con Johnson-Laird en que los modelos mentales son representaciones icónicas amodales, más que proposicionales, esto debido a que son ‘transducciones arbitrarias de estados perceptivos’ (p. 17). Es decir, que el modelo mental es una estructura de comportamiento análoga funcional de una situación real o imaginaria, a ello Nersessian agrega el conocimiento causal como dimensión necesaria para la inferencia y la simulación necesarias en la construcción de modelos mentales científicos. También expone que existe la posibilidad de que las personas desarrollen habilidades para la modelización por medio del aprendizaje. En este caso, continúa Nersessian, el origen y diversidad de los modelos

que el sujeto puede construir con la capacidad de razonar se desarrolla al llevar a cabo actividades específicas de un dominio de conocimiento determinado. Así, remite a las interacciones de las personas en un contexto social y cultural. Derivado de estas explicaciones, se tiene que la ACE involucra a los alumnos en situaciones de aprendizaje en las cuales expresan sus explicaciones, las comparan con las de sus iguales y las que provienen del modelo científico universitario seleccionado. De esta forma, construyen nuevos significados con los cuales modifican sus explicaciones espontáneas y aprenden a sistematizar el pensamiento con base en las prácticas científicas, como la elaboración de modelos, la comunicación y la evaluación de los mismos.

Nersessian (2007) también menciona que los modelos mentales permiten comprender el razonamiento y que tal vez la capacidad cognitiva para elaborarlos es resultado de la evolución del ser humano que le ha permitido sobrevivir, es decir, hace posible anticipar situaciones y resolverlas. Otro aspecto relevante que retoma Nersessian es que el modelo mental es una representación del sistema físico, es una abstracción idealizada y con restricciones que dependen de las condiciones que se tomen en cuenta en su construcción. Estas limitaciones del modelo permiten que el sujeto desarrolle simulaciones al imaginar e inferir y buscar relaciones de causalidad que, en el caso de las ciencias, produce diversas combinaciones de representaciones para explicar un fenómeno determinado. De esto se sigue que, si bien el pensamiento espontáneo de los alumnos no tiene la estructura formal del pensamiento científico, es evidente que también busca nuevas formas para explicar los fenómenos del mundo. Por ello, el pensamiento espontáneo tiene la plasticidad necesaria para elaborar nuevos referentes que, por medio de la enseñanza de las ciencias, le permiten al alumno desarrollar la sistematización necesaria en la incorporación de entidades, propiedades y condiciones esenciales que expliquen los fenómenos naturales desde una base cada vez más racional y congruente con la realidad.

Ahora bien, como expone López (2019), la posibilidad de tránsito del pensamiento espontáneo proveniente del sentido común de los educandos hacia el pensamiento científico, queda en evidencia con ayuda del MCEA. Ya que éste resulta de retomar y comparar tanto las explicaciones espontáneas de los estudiantes en forma de MEI, como el MCu y el MCI. A partir de dicha comparación, explica el autor, se identifican los aspectos de posible discrepancia entre las tres dimensiones de explicaciones y es posible identificar lo que se puede lograr mediante la intervención didáctica. López además aclara, al retomar a Nersessian (2002, como se citó en López, 2019), que es importante considerar el papel de las habilidades humanas y de sus

características para favorecer la labor de construcción de conocimiento científico, así como retomar las prácticas cognitivas basadas en modelos que —por involucrar la creatividad, por ejemplo— llevan al cambio representacional. Agrega que esto implica que ya existen, por parte del estudiante, representaciones sobre las cuales es posible realizar la modificación en términos de modelos y, en consecuencia, la transformación de las explicaciones espontáneas. Así, López resalta que se parte del supuesto de que existe una continuidad entre el pensamiento espontáneo y el pensamiento científico y este último sirve de orientación final para la transformación de las explicaciones de los alumnos, pasando por la consideración de lo que plantea el currículo. Cabe recordar que la transformación a la que se hace referencia en esta tesis es la que ocurre por medio de la comprensión y no por mera sustitución de conceptos.

Con base en lo anterior, confirma López (2019), en esta fundamentación también existe paralelismo entre el pensamiento científico de los investigadores y el espontáneo de los alumnos, porque en ambos se busca —esencialmente— resolver una situación problemática; aunque en el primer caso, se pretende profundizar en la comprensión básica de un fenómeno y en el segundo, dar cuenta de un fenómeno de interés científico que presenta un sustento educativo. No obstante, agrega el autor, con base en Nersessian (2002, como se citó en López 2019), que los mecanismos cognitivos que se ponen en juego con las representaciones mentales son en sí modelos mentales originados en la percepción y en la necesidad de explicación, que son formas de organización de conocimiento que mantienen una analogía con el mundo y, a la par, un modelo es una representación de objetos, procesos o eventos basados en interacciones reales. Continúa el autor al resaltar que, en este sentido, un modelo se relaciona con la naturaleza de la representación que ejecuta, la cual puede ser un lenguaje, fórmulas matemáticas, analogías, tablas, dibujos o alguna otra forma de representación; lo que permite que dichos modelos favorezcan la continuidad entre pensamiento espontáneo y científico.

Con base en lo descrito, las explicaciones espontáneas son reflejo de las representaciones mentales de los educandos y a partir de ellas es posible inferir el MEI que hace posible considerar los conocimientos del alumno como centro del proceso de construcción de CCE, alineado con el conocimiento científico erudito o universitario. El contraste entre el MEI inferido a partir de las explicaciones espontáneas de los estudiantes, además de permitir identificar puntos de enlace entre el nivel espontáneo y científico en la explicación de un fenómeno natural, abre la posibilidad de identificar desafíos en el proceso de construcción de conocimiento científico escolar, al identificar

las posibles dificultades en los procesos de construcción de conocimiento por parte de los estudiantes. Tales desafíos se originarían —en principio— en qué componentes del modelo reconocen o no los alumnos en el fenómeno de referencia.

Modelo ONEPSI

Como resalta Gutierrez (2017), el conocimiento espontáneo, natural o de sentido común y el conocimiento científico tienen sostén en paradigmas diferentes debido a que el primero proviene de las capacidades cognitivas naturales y el segundo se origina por medio de recursos teóricos específicos. Gutierrez retoma el concepto de inconmensurabilidad propuesto por Kuhn (1962, como se citó en Gutierrez 2017) y que se refiere a la existencia de estas diferencias entre ambos tipos de conocimiento porque los supuestos teóricos y conceptos esenciales que conllevan son distintos. Sin embargo, prosigue Gutierrez, existe una necesidad psicológica, en ambos casos, que da el impulso para buscar explicaciones a los fenómenos del mundo, es por esta característica que los seres humanos buscan explicar y predecir los fenómenos del mundo real y lo que nutre la construcción y reconstrucción de los modelos mentales que se elaboran para representarlo y buscar comprenderlo²⁰. Tal explicación de Gutierrez se sostiene en su propuesta de Modelo ONEPSI (ontológico-epistemológico-psicológico), mismo que da elementos teóricos para entender cómo ocurren los procesos naturales involucrados en el interés del sujeto tanto en la construcción como reconstrucción de conocimiento y, por lo tanto, de los modelos mentales resultantes.

Por otra parte, Gutierrez (2001) aclara que se deben considerar las siguientes situaciones acerca del modelo mental mecanicista:

- En el proceso de imaginación es posible que no se consideren las suposiciones cuyos efectos fueron pequeños o están ausentes; esto debilita la robustez del modelo porque introduce ambigüedades.
- Si la coherencia, la correspondencia o robustez del modelo mental no se relacionan con el comportamiento del sistema externo, entonces se debe reconstruir la representación. Esto es, se incluye un cambio al modificar ya sea las entidades, las causas o los efectos.

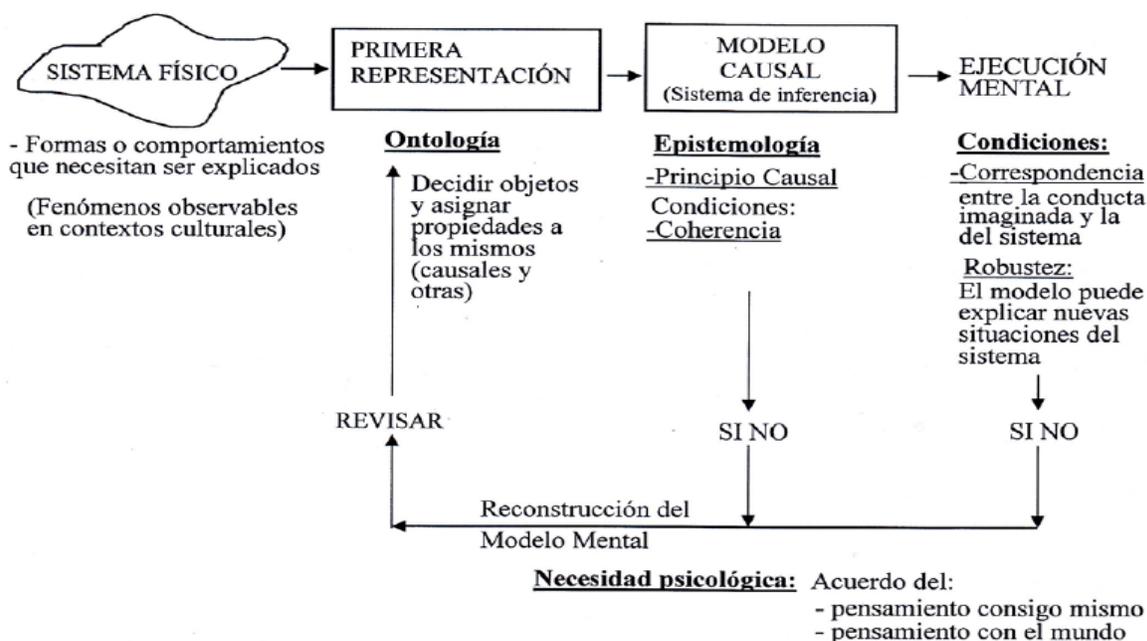
²⁰ Estos supuestos aportan al estudio descriptivo que se ha realizado sobre las explicaciones espontáneas de los educandos acerca del fenómeno de infección por SARS-CoV-2. Es decir, al identificar los elementos ontológicos y epistemológicos que se encuentran ausentes, presentes o confusos en los MEId, se evidencia la posible escasez en su construcción. Esto se relaciona directamente con la incipiente o débil descripción, explicación y reconocimiento del patrón de ocurrencia del fenómeno de referencia.

- Con base en lo anterior, se hacen inferencias y se elabora otro modelo causal que sea más robusto dada su aproximación con el sistema real.

Para Gutierrez (2001) la estructura de construcción mecanicista da oportunidad para describir procesos útiles en el monitoreo de la construcción de conocimiento y con base en ella propone el Modelo ONEPSI. La autora explica que este dispositivo de monitoreo integra las creencias personales de los sujetos acerca de la observación de los hechos en contextos culturales y la vía psicológica que permite el cambio en las concepciones de los individuos en un nivel microscópico. En la Figura 12 se muestra la dinámica del modelo ONEPSI que permite comprender cómo es posible que se modifiquen las explicaciones espontáneas en los sujetos:

Figura 12

Modelo ONEPSI y elaboración de modelos mentales



Nota. Gutierrez explica que el proceso de elaboración de modelos mentales consiste en ciclos de construcción y reconstrucción por parte del sujeto. Reproducido de "Construcción del conocimiento espontáneo y del conocimiento científico I: ¿existe alguna conexión?" (p. 4332), por R. Gutierrez, 2017, *Enseñanza de las ciencias*, (Número extraordinario).

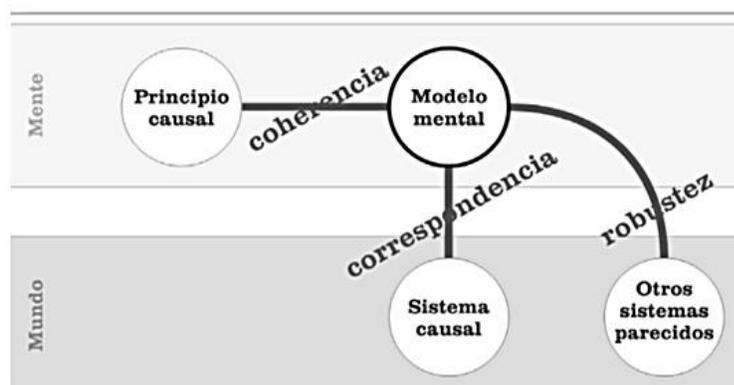
Gutierrez (2001) resalta que el Principio causal está presente en todo el proceso de construcción de los modelos mentales de los sujetos ya que existe en ellos una tendencia hacia la coherencia, correspondencia y robustez de sus representaciones. Cabe mencionar que Gutierrez

agrega a lo anterior que la técnica de entrevista *teach-back*, de Pask, es útil para propiciar los cambios porque pone en evidencia ante los sujetos sus modelos causales al explicar el comportamiento de los sistemas externos. Afirma que con ello se pueden identificar los elementos ontológicos, las propiedades, las relaciones causales, además de las ambigüedades en el modelo y que llevan al sujeto a buscar una explicación para un modelo más robusto cada vez, aunque permanezcan algunas causas míticas que ayuden a tener una explicación con cierta coherencia y correspondencia. Al evidenciar el detalle en la estructura del cambio cognitivo, sostiene Gutierrez, es posible afirmar que el mecanismo original de dicha modificación es la necesidad del sujeto de construir modelos mentales consistentes entre el propio pensamiento y los datos provenientes del mundo externo. Así, concluye Gutierrez, esta dinámica y flexibilidad del pensamiento del sujeto es la que resalta con el modelo ONEPSI, fundamentado en el modelo mental mecanicista. Sumado a ello, el Principio causal, permite comprender la capacidad cognitiva del sujeto para introducir o retirar entidades en búsqueda de las condiciones que otorguen solidez a los modelos.

Sobre el origen de la búsqueda de congruencia entre el modelo mental y la realidad, Aliberas, Izquierdo y Gutierrez (2013) consideran que en el proceso el sujeto identifica tanto entidades como propiedades específicas del sistema que le causa curiosidad y elabora conexiones entre causas y efectos para dar una explicación lógica. Los autores confirman que, si el sujeto confirma la coincidencia entre su modelo mental y lo que sucede con el sistema en el mundo real, entonces siente satisfacción; pero, de no ser así, se origina un problema de no coincidencia que afecta los aspectos cognitivo y emocional del sujeto y que lo llevan a experimentar insatisfacción, como muestra la Figura 13.

Figura 13

Características del Principio de causalidad



Nota. Reproducido de “El papel de la conversación didáctica en la modelización y progresión del conocimiento escolar: el caso de la hidrostática en ESO” (p. 78), por J. Aliberas, M. Izquierdo y R. Gutierrez, 2013, *Congreso Internacional sobre Investigación en Didáctica de las Ciencias*.

Aliberas, Izquierdo y Gutierrez (2013) también exponen que la insatisfacción se puede deber a que el modelo mental construido muestra alguno de los siguientes casos:

- Ausencia de coherencia entre el modelo mental con base en el principio causal: inconexión entre causas y efectos que explicarían el funcionamiento del sistema.
- Falta de correspondencia: el resultado de la predicción o ejecución del modelo mental no tiene coincidencia con el comportamiento del sistema real.
- Debilidad en la robustez: el modelo mental no explica otros sistemas similares.

Así, las explicaciones espontáneas son relevantes en el proceso que propicia la necesidad psicológica de búsqueda de respuestas en congruencia con el mundo real. Pero son también el referente del cual partir para encontrar puntos de anclaje del nuevo conocimiento que se pretende construir. Las explicaciones espontáneas de los alumnos los satisfacen en cuanto a que son construcciones personales e involucran, además el CCE. Para descubrir qué tanto este conocimiento es integrado en las representaciones mentales de los educandos y —en consecuencia— qué tan cercanas o distantes están dichas explicaciones estudiantiles de las explicaciones científicas acordes con su nivel educativo, primero hay que explorar cuáles son estos pensamientos espontáneos. En este contexto, el MCEA es útil para proporcionar elementos que permitan conocer el nivel de complejidad explicativa involucrado en el principio de causalidad de los estudiantes de 5° Año de preparatoria y con el cual se explican la infección viral por SARS-CoV-2 y el origen de los síntomas diversos de la enfermedad COVID-19.

El dispositivo teórico-metodológico: MCEA

Modelo Científico Escolar de Arribo

Para proseguir con la importancia de las representaciones espontáneas de los estudiantes en la DC, en esta tesis se retoma a López (2019), quien remarca que éstas son de gran interés para diversas corrientes de pensamiento que se ocupan del diseño y validación de SD. La razón que expone López es que dichas representaciones son la base para la planeación didáctica ya que involucran nociones, opiniones y rasgos afectivos, que permiten involucrar a los alumnos en la construcción de conocimiento científico escolar para explicar los fenómenos naturales. Así, el

proceso didáctico, afirma el autor, puede plantearse como la construcción de CCE que transita hacia el conocimiento validado por la ciencia. Es decir, debe ocurrir una transformación del pensamiento espontáneo hacia el pensamiento científico. En este sentido, agrega, surge la necesidad de evidenciar cómo ocurre tal proceso y no solo registrar que ocurre un cambio en el pensamiento de los estudiantes respecto a la explicación de un fenómeno natural. Acerca de ello, López y Moreno (2014), aportan el dispositivo teórico-metodológico conocido como Modelo Científico Escolar de Arribo (MCEA) que, mediante la tensión entre el Modelo Estudiantil Inicial (MEI) –esto es la forma espontánea de pensar de los estudiantes en forma de modelo–, el Modelo Curricular (MCu) y el Modelo Científico (MCi) puede establecer una vía para el proceso de transición del pensamiento intuitivo al pensamiento científico escolar pretendido y permite identificar criterios para evidenciar qué tanta alineación ha ocurrido en el conocimiento del alumno. López (2019) define lo siguiente:

El MCEA es un dispositivo teoricometodológico dentro del campo de investigación sobre SD, ya que –como se dijo– pretende dar ‘cuerpo’ al concepto teórico de ‘modelo científico escolar’³⁶ al postularlo como una hipótesis directriz de diseño de SD, que se convierte en ‘fuente’ de generación de criterios de diseño de SD, así como en ‘molde’ testable de los logros alcanzados en el desarrollo de SD.

Así, es posible transitar del interés por los modelos científicos manifestado por R. Giere,³⁷ dentro de la corriente semanticista de la epistemología, hacia la incorporación de éstos al ámbito didáctico para posibilitar la construcción de conocimiento en él mediante el concepto de ‘modelo científico escolar’ de M. Izquierdo y A. Adúriz³⁸ y ‘aterrizar’ el uso de modelos en el terreno científico de DC al incorporar el MCEA en el diseño y validación de SD. (pp. 59 y 60)

Acerca de la posibilidad de orientar las formas espontáneas del pensamiento de los alumnos, López retoma a Nersessian (2002, como se citó en López 2019), quien explica que las representaciones ocurren en un proceso de continuidad en la construcción de conocimiento y que el razonamiento, al ser simulativo e incluir modelos físicos, involucra una base ontológica que, sumada a la necesidad de encontrar una respuesta, hace que ocurran en el sujeto nuevas búsquedas de conocimiento. De igual forma, López explica la necesidad del modelo ONEPSI —ontológico, epistemológico y psicológico— propuesto por Rufina Gutierrez, como herramienta para seguir los

mecanismos de cambio de los modelos en el proceso de construcción de conocimiento científico escolar, hacia el referente del MCEA.

Como indican Aliberas, Gutierrez e Izquierdo (2017), el modelo ONEPSI (Gutierrez, 2005 y 2014) ayuda a analizar los procesos de pensamiento humano que permiten la comprensión del mundo y dan el marco teórico para analizar la construcción de conocimiento científico. Los autores exponen los supuestos del modelo: los seres humanos elaboran modelos mentales que tienen elementos —identificados por Johnson-Laird— como entidades de un sistema y propiedades que hacen funcionar a dicho sistema al tener interacción; en los modelos mentales se establecen posibles relaciones de causas y efectos que llevan a la persona a hacer simulaciones abstractas con inferencias que se pueden comparar con el sistema real. Cuando el modelo mental tiene coherencia —vínculo entre causas y efectos—, correspondencia —coincidencia entre el modelo mental y la realidad— y robustez —aplicación del modelo mental a otros sistemas parecidos al primero—, entonces causa satisfacción al sujeto. A la vez, advierten que, de no existir estos componentes del modelo, entonces la insatisfacción lleva hacia la búsqueda de más elementos para la formulación de una respuesta posible, realizar ajustes y reconstruir el modelo mental. Así, el modelo ONEPSI proporciona una explicación teórica sobre cómo ocurre la construcción de CCE (p. 10).

Es importante recordar que las ideas espontáneas de los estudiantes forman parte de representaciones abstractas y, como lo señalan Moreno y López (2013), aunque aún no sean iguales a las de la ciencia básica, sí reflejarán cada vez mayor coherencia con ellas al tener la posibilidad de reorientarlas hacia esos referentes racionales. Así que esta posibilidad de transformación de las explicaciones espontáneas de los alumnos —a partir de los supuestos que aportan Aliberas, Gutierrez, Izquierdo y Nersessian— necesita ser expuesta con la finalidad de identificar las posibilidades de cambio hacia la construcción de CCE. De esta forma se tiene que la inferencia de los modelos mentales, tanto científicos como a partir de explicaciones espontáneas, facilita el estudio de cómo se está llevando a cabo la construcción de las declaraciones de las ideas en forma de entidades, de las características que les asigna el sujeto y de las interacciones posibles para entender cómo ocurre un fenómeno natural. Aquí es donde la utilidad de MCEA facilita profundizar en cómo está sucediendo la construcción de conocimiento, en término de modelos, en los estudiantes. Sumado a ello, puesto que el MCEA surge de la comparación de las explicaciones científica, curricular y estudiantil, reúne los componentes ontológicos y epistemológicos atemperados o acomodados con base en las similitudes que presentan. Por ello, esta parte del

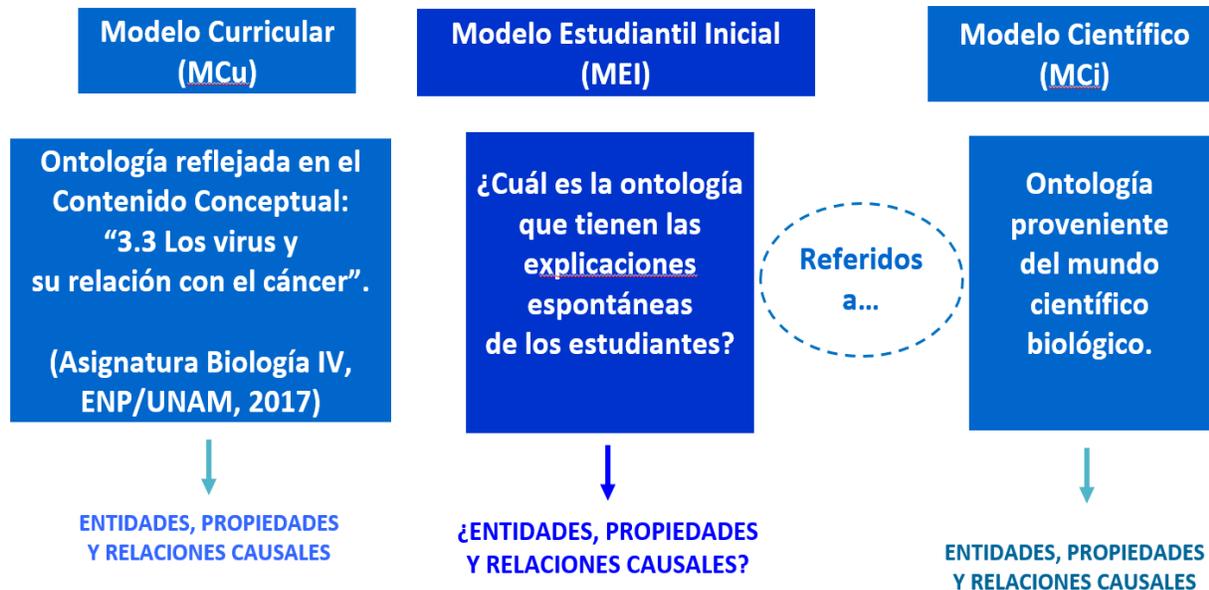
proceso de obtención del MCEA confiere los componentes ideales de ser considerados para propiciar el tránsito del pensamiento espontáneo hacia el científico escolar

Otra utilidad que tiene el MCEA, al poner atención en las explicaciones espontáneas estudiantiles, es el estudio de ellas con base en un referente hipotéticamente alcanzable, ya que el dispositivo incluye la explicación científica curricular. En el caso de la presente tesis, en la cual se parte de la prácticamente inexistencia de investigación educativa sobre el tratamiento del fenómeno de infección viral por SARS-CoV-2, el MCEA es un referente posible y los MEI provenientes de datos empíricos obtenidos en campo pueden ser contrastados de manera más confiable y auténtica a partir de la evidencia actualizada.

Con base en López y Moreno (2014), para obtener el MCEA requerido en esta investigación se hizo un ejercicio de inferencia de los constructos a partir de las explicaciones provenientes del currículum escolar, de los reportes existentes en la literatura especializada sobre las ideas espontáneas estudiantiles y de la ciencia universitaria (Figura 14):

Figura 14

Origen de los componentes ontológicos y epistemológicos que conforman el MCEA



Nota. Para elaborar el MCEA primero fue necesario obtener el MEI. Después el MCEA se tomó como dispositivo de comparación para los MEI obtenidos de forma empírica.

Cada modelo contribuye con elementos ontológicos y epistemológicos particulares que se toman en cuenta para el tratamiento didáctico del fenómeno de referencia, pero que corresponden a la misma naturaleza. Esto es posible porque están conformados considerando las DOyE correspondientes.

Las explicaciones espontáneas estudiantiles y el valor didáctico del MCEA

Como señala López (2019), las ideas espontáneas son la vía para iniciar e involucrar a los estudiantes en el proceso de construcción de CCE. Éste favorece el tránsito de la forma de pensar de los estudiantes hacia el conocimiento validado por la ciencia. Para dicha transposición didáctica se debe elegir un modelo explicativo hacia el cual se orientará la transición y cuya estructura esté conformada por tres componentes, como señalan Galvis y Angulo (2019), al retomar nuevamente a Rufina Gutierrez:

... el ontológico, el epistemológico y el psicológico. Estos constituyentes se erigen como columnas que sostienen el modelo. El constituyente ontológico organiza las entidades y sus propiedades; el epistemológico permite expresar las relaciones que se establecen entre entidades y propiedades, así como las reglas de inferencia que permiten predecir el comportamiento del fenómeno. Y el psicológico es el motor de búsqueda/transformación que conecta los constituyentes ontológicos y epistemológicos, en términos de las relaciones causales que les permiten a los sujetos explicar el mundo y predecir el comportamiento de los sistemas que lo componen, para poder actuar en él. (p, 270)

Dicho modelo explicativo es el MCEA, al comparar los MEId con el primero se pueden identificar los componentes ontológicos presentes, ausentes o confusos en las explicaciones espontáneas de los alumnos. De tal manera que esto contribuya en la planificación de actividades de aprendizaje en las cuales se involucre a los educandos para que construyan, según Galvis y Angulo (2019), los componentes necesarios en su explicación y estén en posibilidades de establecer relaciones de causalidad que lleven a elaborar inferencias que, a su vez, motiven la comprensión para explicar los fenómenos. Por consiguiente, el MCEA contribuye, de igual forma, con el conocimiento de los MEId y con la posibilidad de aportar información para proporcionar criterios didácticos más congruentes con las necesidades de las formas espontáneas del pensamiento de los educandos.

El proceso de homogeneización de los modelos

Las explicaciones científica, curricular y espontánea estudiantil sobre el fenómeno de referencia son indispensables para elaborar el MCEA, pero poseen diferente naturaleza ontológica y epistemológica. Para hacer posible la tensión entre ellas y obtener el MCEA es esencial armonizarlas o nivelarlas, como lo plantean López y Rodríguez (2013):

Lo que requiere de homogeneizar información procedente de diversas fuentes; con el fin contar con elementos de la misma naturaleza que nos permitan direccionar esfuerzos y contar con directrices claras para diseñar Estrategias Didácticas (ED). Esta información proviene de: la manera de pensar de los estudiantes -ideas previas-, las directrices y contenidos de los programas de estudio y la concepción científica del contenido a impartir.

Las ideas previas no corresponden a visiones estudiantiles estructuradas en forma de modelos, los programas curriculares de estudio, tampoco suelen estarlo -sino en unidades temáticas- y, las teorías científicas que soportan dichos contenidos curriculares, tampoco están usualmente expuestas en dicha forma. Así, ¿cómo establecer a dónde se quiere llegar en términos de modelos mediante una estrategia didáctica, si cada uno de estos elementos es de distinta naturaleza? Requerimos entonces que la información de estas tres fuentes, sea compatible para la comparación; que esté expresada en forma de modelos. (p. 2008)

Esto significa que el análisis de los tres tipos de explicaciones disponibles en las fuentes correspondientes debe evidenciar la dimensión ontológica —entidades y sus propiedades— y la dimensión epistemológica —relaciones de causalidad y de funcionalidad— que sustentan la comprensión del fenómeno natural seleccionado para el tratamiento didáctico. Como resultado de dicho análisis se infieren los constructos MEI, MCu y MCi.

Modelo Estudiantil Inicial (MEI)

El MEI se infiere a partir de las formas espontáneas del pensamiento de los estudiantes del nivel escolar de interés. La información puede obtenerse a partir de la literatura didáctica especializada y de las expresiones de primera mano de los alumnos. Con base en López (2019), el MEI tiene las siguientes características:

Modelo Estudiantil Inicial (MEI): son las representaciones evidenciadas de los estudiantes relativas a un fenómeno natural —ejemplo, la *obesidad humana*, la transformación de una

substancia cuando entra en contacto con otra o la caída de un cuerpo en las cercanías de la tierra cuando es ‘soltado’-. Estas representaciones pueden inferirse básicamente de dos formas: una, por medio de los reportes de investigación sobre conceptualizaciones espontáneas y, otra, mediante a evocación de sus modelos mentales por medio del uso de técnicas como el *teachback* ya mencionado. En ambos casos se tiene como referente categorial la definición de *modelo* mencionado previamente. (p. 61)

Galvis y Solano (2019) complementan esta caracterización del MEI:

Está constituido por las ideas espontáneas de los alumnos sobre el fenómeno organizadas por edad, nivel educativo o disciplina. Procede de la literatura especializada o de experiencias del profesor respaldadas en evidencias aportadas por sus alumnos, donde se indaga por sus ideas explicativas respecto al fenómeno. (p. 272)

La importancia del MEI es que hace posible tener el referente indispensable del pensamiento espontáneo o natural de los alumnos. Así, la comparación con el MCi y el MCu, contribuye con una aproximación de mayor confiabilidad para la transposición didáctica. Esto también da pertinencia a la construcción de CCE y favorece la transición del pensamiento espontáneo de los educandos hacia el pensamiento científico escolar, con ayuda de la identificación de lo que López (2019) denomina “‘huecos’ presentes en el MEI” (p. 62). Dichos huecos —relativos a las entidades, propiedades y relaciones causales del fenómeno en cuestión— en las formas de pensamiento espontáneo de los estudiantes, en relación con las explicaciones científicas, son los que dan indicios para los hallazgos que pueden ser útiles en el diseño y planeación de una futura SD. De esta forma, el MEI da la oportunidad de conocer cómo son las explicaciones que los estudiantes elaboran en sus modelos mentales, así como el lenguaje que utilizan para referirse a los elementos presentes en ellos. El MEI puede incluir, por ejemplo, explicaciones más o menos cercanas al conocimiento científico, falacias y falsas creencias, que obstaculizan o alteran la construcción de conocimiento. No obstante, también sirven como origen o continuidad para la construcción de CCE nuevo, y comprensible para los educandos.

Para la elaboración del MCEA, debido al carácter emergente del patógeno, primero se retomó el escaso registro existente sobre los MEI. Después, se obtuvieron los MEI actualizados —inferidos a partir de una muestra de estudiantes de 5° Año de preparatoria— para contrastarlos con el MCEA. Siguiendo los formatos de representación, se elaboraron un diagrama de causalidad y una tabla comparativa para representar cada uno de los MEI.

Modelo Curricular (MCu)

El MCu se elabora a partir de las demandas de los contenidos incluidos en el programa de asignatura correspondiente para el grado y nivel de los educandos a quienes va dirigida la investigación. De acuerdo con López (2019), se distingue por lo siguiente:

Modelo Curricular (MCu): es la representación presente en un currículo que explica un fenómeno natural específico y que de manera corriente en la educación básica corresponde a un modelo ‘atenuado’, proveniente de un modelo científico. Este trabajo generalmente requiere de un proceso inferencial realizado a partir de los contenidos temáticos presentes en el currículo y, también, mantiene como referente la definición de *modelo* adoptado. (p. 61)

El MCu es importante porque proporciona el marco teórico —del programa escolar que se considere— en relación con el fenómeno de referencia seleccionado. Así, el MCu incluye información acerca del conocimiento científico requerido para el nivel y grado escolar hacia los cuales se dirija la intervención educativa. Por lo tanto, esta información corresponde al enfoque didáctico disciplinar —biológico—, así como a la profundidad y gradualidad del contenido considerado pertinente, en condiciones ideales, para los alumnos. Galvis y Angulo (2019) agregan que el MCu “Está implícito en los programas de estudio. Allí se identifican propósitos, aprendizajes esperados, competencias o cualquier otra denominación que aluda a los desarrollos a alcanzar por parte de los alumnos durante cierta etapa del ciclo educativo” (p. 272). De esta forma, el MCu, al ser tensionado con el MCi y el MEI, da mayor certeza en la búsqueda de lo que López (2019) denomina ‘huecos’ en el MEI. Dichos huecos —relativos a los elementos de las DOyE necesarios para la comprensión del fenómeno en cuestión— evidenciados en las formas de pensamiento espontáneo de los estudiantes, en relación con las explicaciones científicas, son los que dan indicios para la construcción de CCE.

En concordancia con lo explicado, el currículum escolar seleccionado para esta tesis —por las características de profundidad y gradualidad requeridas— de acuerdo con el MCEA, es el que corresponde a la asignatura de Biología IV (ENP/UNAM, 2017), del nivel de Educación Media Superior, en la modalidad de Escuela Nacional Preparatoria. La asignatura Biología IV es cursada por los alumnos de 5° Año e incluye el Contenido Conceptual ‘3.3 Los virus y su relación con el cáncer’. Dicho contenido permite abordar el fenómeno de infección viral en general y a partir del cual se puede hacer el vínculo con el ciclo lítico relativo al fenómeno de referencia. Otras fuentes

han sido los libros de texto recomendados en el propio programa de asignatura como referencias básicas para los alumnos del grado. Al igual que con el M_{Ci}, la representación del M_{Cu} se elaboró en dos formatos: diagrama de causalidad y tabla comparativa. Estos son complementarios en su descripción y presentación.

Modelo Científico (M_{Ci})

El M_{Ci} se elabora a partir de la explicación científica del fenómeno natural y tiene las siguientes características mencionadas por López (2019):

Modelo Científico (M_{Ci}): son las representaciones científicas en forma de modelos que dan cuenta de un fenómeno seleccionado. Ello requiere un trabajo de búsqueda –puesto que los libros no están escritos para dar a conocer los modelos que permitieron la formulación de leyes y teorías– y selección –ya que puede haber modelos de ciencia estándar de nivel universitario y modelos de frontera en la ciencia–, dentro del ámbito de referencia al elegir el fenómeno natural de interés. (p. 61)

En consecuencia, el M_{Ci} generado para esta tesis se sustenta en las explicaciones de la ciencia universitaria, procedente del dominio de la biología, acerca del mecanismo de infección por SARS-COV-2 en células humanas. El proceso consistió en una revisión de artículos científicos y libros especializados que abordan el fenómeno de referencia. Con base en su estudio se identificaron las entidades, propiedades, relaciones de causalidad y relaciones funcionales, así como las condiciones que son la base para la explicación coherente y sustentada en la evidencia científica conocida, hasta el momento, para explicar el fenómeno seleccionado. La representación del M_{Ci}, como resultado del ejercicio de inferencia, también se elaboró en dos formatos: diagrama de causalidad y tabla comparativa.

Otro aspecto relevante sobre el M_{Ci} es que, como lo mencionan Galvis y Angulo (2019), a partir de la información científica disponible, se elige la que permita identificar los componentes que correspondan de forma pertinente con la profundidad requerida sobre el contenido escolar. En el caso de la presente tesis, para alumnos de 5° Año de preparatoria que se espera identifiquen — en un nivel bioquímico general— las entidades, propiedades, relaciones causales y relaciones funcionales correspondientes a las acotaciones esenciales que se mencionan a continuación:

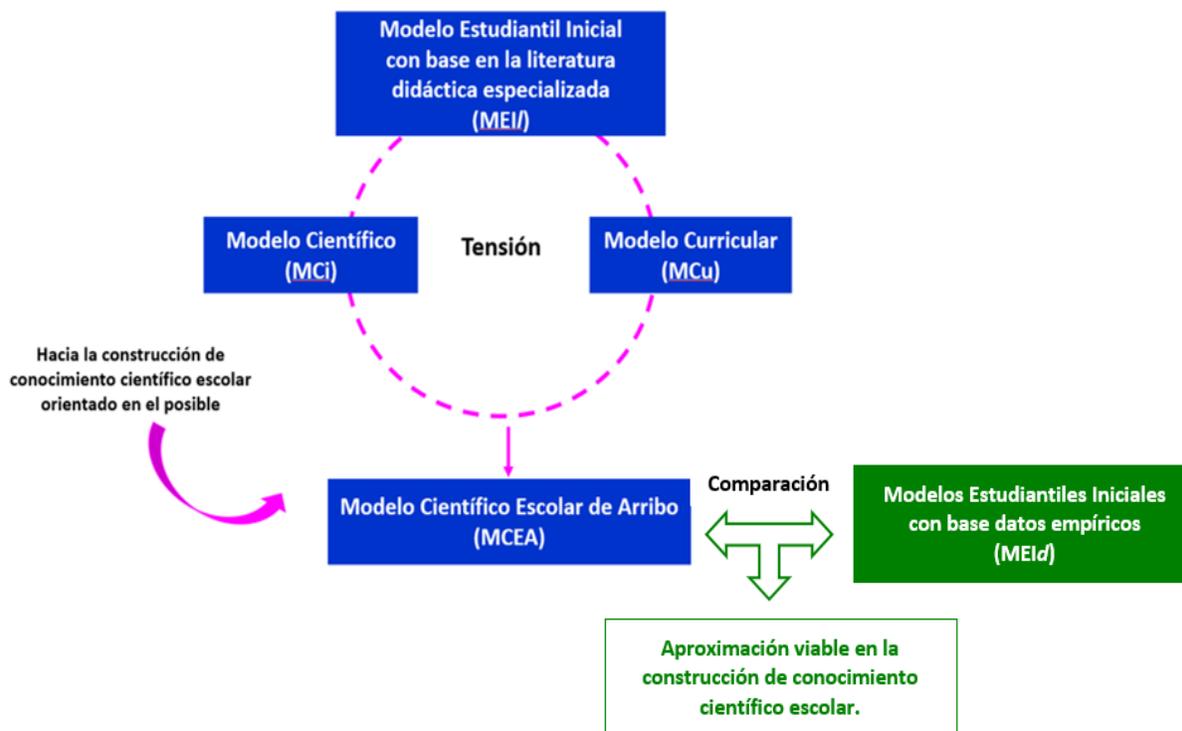
- Fenómeno: infección viral por ciclo lítico y cuyas etapas son 1. Fijación, 2. Penetración, 3. Transcripción temprana, 4. Replicación, 5. Transcripción tardía, 6. Ensamblaje y 7. Liberación.
- Agente patógeno: coronavirus SARS-CoV-2.
- Célula hospedadora: célula humana con receptor de membrana ACE2 (convertidor de angiotensina tipo II).
- Enfermedad: COVID-19; afecta diversos órganos y sistemas del cuerpo humano, en caso de gravedad desencadena un síndrome microvascular trombo inflamatorio.
- Condiciones: presencia del SARS-CoV-2 en el interior del cuerpo humano, así como interacciones bioquímicas virus-célula hospedadora que se llevan a cabo por las características estructurales y moleculares de las entidades participantes.

Inferencia del MCEA

El contraste de los constructos M_{Ci}, M_{Cu} y ME_I resalta las similitudes y diferencias existentes entre estas representaciones abstractas para explicar el fenómeno de infección viral por SARS-CoV-2 en células humanas. Tal comparación hace posible establecer el MCEA que refleja el conocimiento científico escolar ideal para el 5° Año de preparatoria y que, a la vez, permite la caracterización de los ME_I (Figura 15). Además, el MCEA obtenido ha sido útil porque evidenció las categorías de análisis —en términos de modelos— que llevaron a distinguir tres niveles de complejidad en las explicaciones espontáneas estudiantiles —Básico, Intermedio y Avanzado—. Con dicha categorización se sometió a validación la hipótesis descrita en el Capítulo 1; con los resultados obtenidos se tienen elementos confiables para orientar el diseño y validación de una posible SD para el tratamiento didáctico del fenómeno de referencia más cercano a las características y necesidades de las explicaciones espontáneas de los educandos (Figura 15).

Figura 15

El MCEA y su relación con los constructos MCI, MCu y los MEI



Nota. El MCEA integra los componentes ontológicos y epistemológicos de las tres formas de explicación esenciales para el tratamiento didáctico del fenómeno de referencia.

Como se hace notar, el MCEA es un dispositivo teórico-metodológico indispensable en la investigación llevada a cabo ya que contribuye con la coherencia y confiabilidad del estudio. La explicación con detalle del procedimiento para la inferencia de los constructos definidos hasta este momento se encuentra en el siguiente Capítulo 4. Metodología.

Capítulo 4

Diseño Metodológico

En este capítulo se presenta, con detalle, la estructuración de los procesos que constituyen el diseño metodológico que permitió reunir y organizar los datos, tanto documentales como empíricos, requeridos para la investigación. También se explica el enfoque adoptado que da pertinencia al tipo de datos recolectados y a su manejo. Este diseño permite aplicar el sustento teórico-metodológico desarrollado en el Capítulo 3, que es esencial en la investigación de las explicaciones espontáneas estudiantiles en el ámbito de la DC para el tratamiento de los fenómenos naturales. Con base en lo mencionado, los datos fueron examinados e interpretados para generar la información que ha permitido realizar la validación de la hipótesis planteada en el presente estudio y cuya directriz es el MCEA.

De acuerdo con Bunge (2003), las “hipótesis científicas: son puntos de partida de raciocinios y, por ser generales, solo pueden ser confirmados poniendo a prueba sus consecuencias particulares” (p. 30). Agrega el autor que tal verificabilidad necesita de procedimientos racionales y empíricos compatibles con un sustento que permita interpretar los resultados para que se puedan expresar o comunicar. De esta forma, Bunge expone que el conocimiento científico se caracteriza por ser objetivo en la medida de lo posible, es decir, busca explicaciones que tengan concordancia con los hechos, que se puedan verificar con ellos.

En consecuencia, en esta investigación, se asume la necesidad de probar la suposición generada contra datos empíricos que posibiliten su confirmación. De esta manera, se busca contribuir con conocimiento científico —sobre el estudio del pensamiento espontáneo estudiantil— que pueda ser útil en la mejora de la enseñanza de la biología en la Educación Media Superior para el tratamiento didáctico del fenómeno de infección viral por SARS-CoV-2 en células humanas y fenómenos similares. A continuación, se aborda el diseño metodológico que incluye el enfoque de investigación para obtener los datos y realizar su procesamiento; la configuración del MCEA ideal; la utilidad del MCEA ajustado, como dispositivo de comparación; las categorías analíticas para el estudio de los MEId; y, finalmente, la recopilación de los datos empíricos.

Enfoque de investigación

Probar la utilidad del dispositivo teórico-metodológico MCEA ajustado y, con base en él, dar cuenta de los MEId para describirlos con profundidad son dos aspectos centrales de la presente tesis. Por esta razón, se necesitó construir un procedimiento racional que hiciera posible una investigación de las formas espontáneas del pensamiento de los estudiantes acerca del fenómeno de referencia, pero tomando en cuenta una interpretación profunda para inferir los MEId. Esto significa que fue esencial seleccionar un enfoque de investigación, una técnica e instrumentos adecuados para explorar las explicaciones espontáneas de los educandos, en función de una estructura de modelo mental que permitiera resaltar los elementos de las DOyE que lo conforman.

De ahí que se incluyeran diversas opciones de registro y representación para mostrar los datos empíricos, la sistematización de los mismos mediante un proceso de decodificación/codificación, así como la inferencia de los MEId y su categorización. Las opciones fueron —en el caso de los instrumentos utilizados— preguntas abiertas y uso de imágenes. En cuanto a los constructos MCu, MCI, MCEA ideal, MCEA ajustado y MEI, se decidió utilizar una combinación de gráficos a manera de diagramas de causa-efecto y tablas comparativas. Estos formatos de registro y representación, significan estrategias que dieron la posibilidad de realizar una investigación e interpretación heurística de los MEId, lo más completa y profunda posible. A continuación, se retoma la hipótesis que se sostiene en esta investigación y se explica el diseño experimental desarrollado.

Hipótesis

Como se expuso en el Capítulo 2. Estado de la cuestión, existen evidencias acerca de las dificultades en la construcción de conocimiento científico escolar que enfrentan los estudiantes adolescentes para comprender el fenómeno general de infección viral y, en específico, para el caso SARS-CoV-2 en células humanas. Incluso para relacionar a este último con el origen de los síntomas de la COVID-19. Dichas evidencias son las siguientes:

- Los registros en la literatura didáctica especializada sobre ideas previas acerca de temas como los virus y las infecciones virales muestran —como ya se explicó— que los adolescentes tienen confusiones, simplificaciones o dificultades en la forma de describir, conceptualizar a los virus, de relacionarlos con algunas enfermedades infecciosas y además sobre los mecanismos de infección que las provocan. Las

descripciones de las investigaciones consultadas muestran que las explicaciones de los estudiantes se alejan de la explicación científica (Prout, 1985; René y Gilbert, 1994; Simoneaux, 2000; Jones, G., Gardner, Lee, Poland, Robert, 2013) (ver Tabla 1 en las páginas 45 y 46, así como Tabla 2 en las páginas 49 y 50).

- UNICEF (2022a) expone que existe la necesidad de información segura y clara sobre la COVID-19 en los jóvenes, ya que no pueden responder cuáles son los síntomas, las formas de prevención y transmisión de la enfermedad (ver Tabla 4, página 58).

Tal situación puede influir en la práctica de las medidas de contención de la pandemia e incluso de otras enfermedades infecciosas. Para abordar el problema, se parte del enfoque de modelos y modelización y con base en lo anterior, **se planteó la hipótesis:**

Existe escasez de componentes ontológicos, causales y funcionales en las explicaciones espontáneas de un grupo estudiantil de preparatoria sobre el fenómeno de infección viral por SARS-CoV-2.

Para proceder en la obtención de los datos empíricos se trabajó con un enfoque cualitativo y descriptivo como se desglosa a continuación.

Método de investigación

El enfoque elegido para el diseño metodológico que ha permitido poner a prueba la hipótesis es el cualitativo porque, como describe Sabariego (2009), permite flexibilidad para reunir datos relevantes y centrar la atención en las características que éstos presentan para interpretarlos y profundizar en los elementos que los constituyen, más que en la cuantificación de los mismos. Como es posible notar, esto facilita el abordaje de las explicaciones espontáneas de los alumnos al dar relevancia a las particularidades que muestran como reflejo de las representaciones mentales que elaboran para comprender, en este caso, un fenómeno natural. Esto es, el foco de estudio está en la construcción de conocimiento por parte de los alumnos y en cómo interpretan el fenómeno de referencia.

Sobre el tipo de investigación, de acuerdo con Torrado (2009) es descriptiva, lo que hizo posible un primer acercamiento exploratorio al estudio de los MEId de interés, con la finalidad de categorizarlos por su nivel de complejidad explicativa. Tales modelos fueron inferidos a partir de los datos empíricos, es decir, de las explicaciones espontáneas estudiantiles reunidas. La obtención de estos datos se realizó en dos ocasiones: marzo 10 y 23 de 2022. Este sondeo ha permitido

identificar algunas de las formas espontáneas del pensamiento de los educandos de 5° Año de preparatoria e identificar qué elementos, en términos de modelos, están presentes y ausentes en sus representaciones abstractas para explicar la infección viral por SARS-CoV-2 en células humanas. Tal identificación se realizó al utilizar el MCEA como referencia de contraste.

Características de la muestra participante

La población seleccionada para reunir los datos empíricos fue de alumnos de Educación Media Superior que cursaron el 5° Año, en la modalidad de la Escuela Nacional Preparatoria, durante el ciclo escolar 2021-2022. El plantel educativo es privado, con sistema incorporado a la UNAM, se localiza en la Ciudad de México, el ingreso de las familias se considera medio-alto. Como información complementaria se tiene el dato de que la escuela contó con una población total de 320 alumnos en 5° Año, organizados en ocho grupos.

El tipo de muestra, de acuerdo con Sabariego (2009), es no probabilística ya que fue una población natural en la que no se aplicó una selección aleatoria previa de los alumnos. La muestra estuvo formada por un grupo mixto de 36 educandos²¹ y designado por la profesora titular de asignatura. Las edades correspondientes oscilaron entre 16 y 17 años. Los estudiantes cursaron la materia Biología IV, que incluye en sus temas el Contenido Conceptual ‘3.3 Los virus y su relación con el cáncer’ (ENP/UNAM, 2017). Esto último da apertura para abordar el fenómeno de infección viral desde la disciplina.

Otra característica del contexto de la muestra que es importante acotar es que la profesora titular de asignatura aclaró que el contenido curricular mencionado fue abordado solo en dos sesiones, de 45 minutos cada una, entre el 14 y 17 de enero de 2022. Esto dio oportunidad a responder en clase las preguntas de los alumnos relacionadas con el virus que origina la COVID-19. La maestra agregó que ya no se mencionó dicho tema durante el resto del curso. Algunos ejemplos de cuestionamientos estudiantiles mencionados por la docente son los siguientes: “¿cómo hicieron para generar la vacuna?”, “¿por qué las personas reaccionan diferente al virus?”, “¿sí existe?” y “¿por qué se presentan diferentes síntomas?”. Una aclaración importante que incluyó la

²¹ Es importante señalar que la muestra original era de 53 alumnos, pero derivó finalmente en 36 en total debido a lo siguiente: se eliminaron cuatro casos porque utilizaron información textual encontrada en internet para responder los instrumentos, lo que anuló el carácter de explicación espontánea en su participación. Otros 13 casos incumplieron con la asistencia virtual a clase en una de las dos fechas de aplicación de los instrumentos, esto provocó que no se tuviera el registro completo de su participación.

profesora fue que el tema no se abordó en la asignatura Educación para la Salud, que también forma parte del currículum de 5° Año.

De lo anterior se deriva que los conocimientos conceptuales, al menos relacionados con los virus y los procesos de infección viral en el cuerpo humano, fueron tratados con un tiempo escaso dentro de la clase de biología. Tal situación puede interferir con los procesos de construcción de conocimiento científico escolar consistente y fundamental para comprender los detalles del fenómeno de referencia. En cuanto a la aplicación de los instrumentos, la muestra participó durante dos sesiones de la clase de biología y que se desarrollaron los días 10 y 23 de marzo de 2022.

Por último, para obtener la muestra de estudiantes, se buscó comunicación con profesores de biología de tres planteles educativos en la modalidad Escuela Nacional Preparatoria. Un plantel era privado y dos públicos. Una profesora del plantel privado fue la primera en responder la solicitud de participación para la aplicación de los instrumentos virtuales. Así, de acuerdo con Sabariego (2009), el muestreo fue de tipo casual ya que ocurrió por facilidad de acceso y participación voluntaria.

Ámbitos éticos

Debido a la situación de pandemia, durante los meses en los cuales se hizo la recolección de los datos empíricos, por disposición oficial no se tuvo acceso al plantel educativo. No obstante, se estableció comunicación constante con la profesora que accedió a participar en esta investigación con su grupo. Los medios de comunicación principales fueron teléfono celular, reunión virtual por *Google Meet*, correo electrónico, *WhatsApp* y acceso virtual a los cuestionarios para su resolución. El 7 de marzo se realizó la reunión virtual con la profesora titular de asignatura y en la cual se solicitó su apoyo en la aplicación de los instrumentos y se compartieron con ella las características, objetivos y requerimientos de la investigación. De igual forma, se hizo explícito a la profesora que la finalidad de los instrumentos no era evaluativa sino exploratoria de las formas espontáneas del pensamiento de los alumnos, así como el compromiso de confidencialidad hacia los participantes.

A continuación, se mencionan los aspectos éticos de la investigación:

- Resguardo de la identidad personal mediante el respeto al anonimato de los participantes. Con esta finalidad no se solicitó el nombre ni otro dato que permitiera identificar a los sujetos de manera personal. Se asignó un número consecutivo conforme al

momento de entrada de cada alumno a los enlaces virtuales donde están alojados los cuestionarios.

- Manejo confidencial de los datos reunidos. El acceso está restringido a la autora de esta tesis.
- Registro seguro para la privacidad de los datos. La relación y concentrados de los datos se encuentran bajo resguardo con un formato seguro cuya clave de acceso solo tiene la autora de esta tesis y que mantiene restringido el acceso de terceros.
- Balance costo/beneficio. Debido a que el objetivo de los instrumentos no es evaluativo sino exploratorio de las formas espontáneas del pensamiento de los alumnos, se confirma que esta investigación representó un riesgo mínimo de presión o agobio para los estudiantes y la profesora. En el caso de los alumnos, el responder los instrumentos aplicados puede incentivar la búsqueda de más conocimiento sobre el SARS-CoV-2 y la COVID-19. Los hallazgos del estudio, al momento de ser compartidos, por ejemplo, mediante ponencias, pueden ser de utilidad para enriquecer el tratamiento de los contenidos curriculares en biología de una manera que resulte innovadora y benéfica. Esto con ayuda de la elaboración de un modelo que propicie la construcción de conocimiento científico escolar para abordar el fenómeno de infección viral por SARS-CoV-2 en células humanas, por ejemplo.

Técnica e instrumentos

Retomando a Torrado (2009), la encuesta es la técnica recomendada para recopilar datos en estudios descriptivos. Consiste en un formulario con preguntas para ser respondidas por los sujetos de una muestra. Con base en ello se decidió elaborar dos instrumentos de diseño original, en formato de cuestionario virtual e integrados por preguntas abiertas acerca del fenómeno de referencia. El objetivo general de ambos instrumentos fue reunir datos empíricos sobre las explicaciones espontáneas de los alumnos acerca del fenómeno de infección por SARS-CoV-2 en células humanas para inferir, a partir de ellos, los modelos mentales que utilizan en la comprensión de dicho fenómeno.

Los cuestionarios se titularon de la siguiente forma:

- ‘Encuesta 1. Tiempos de pandemia’. Objetivo: explorar cómo reconocen los alumnos el fenómeno de infección viral por SARS-CoV-2 y las condiciones para que éste ocurra.

- ‘Encuesta 2. La pandemia y la salud’. Objetivo: exponer las entidades, propiedades, relaciones causales y relaciones funcionales que incluyen los educandos en sus explicaciones sobre el fenómeno de referencia, es decir, los elementos de las DOyE presentes en los MEId.

Prueba piloto de los instrumentos

Se elaboraron dos instrumentos para ser resueltos por internet —formularios de *Google*— y que incluyeron preguntas e imágenes de diseño original y específico pertinentes con los objetivos de la tesis. Los detalles de las características de dichos cuestionarios se encuentran en las secciones siguientes de este capítulo. Antes de la aplicación con la muestra, se realizó una prueba piloto en la que participaron 20 sujetos, entre 15 y 19 años de edad, que cursaban Educación Media Superior en diversas modalidades e instituciones, además de cuatro profesores. Esto permitió identificar y solucionar desde posibles problemas técnicos y de imágenes, hasta ortotipográficos, de sintaxis o pertinencia en la redacción de los cuestionamientos que fueran origen de confusión en los educandos. Una vez realizada esta prueba, se procedió con la aplicación de los instrumentos en la muestra participante en la investigación.

Elaboración del MCEA

La infección por SARS-CoV-2 en células humanas como fenómeno a modelizar

Es posible abordar la infección por SARS-CoV-2 y su relación con la enfermedad COVID-19 desde diversos aspectos, por ejemplo: propagación viral, respuesta inmune, tipo de células humanas afectadas, síntomas y secuelas, origen evolutivo, medidas de prevención, mecanismo de infección, efectos en el comportamiento humano y modificación de hábitos de convivencia, por mencionar algunos. La complejidad de la pandemia es elevada, pero se considera en esta tesis que el tratamiento del fenómeno desde el mecanismo de infección ofrece ventajas didácticas para incentivar en los alumnos la comprensión de la relación directa entre la presencia del coronavirus en el cuerpo humano y el origen de los síntomas más evidentes de la enfermedad. Por otra parte, se espera contribuir para enriquecer el abordaje del contenido correspondiente en el programa de asignatura de Biología IV, de la Escuela Nacional Preparatoria (UNAM, 2017), correspondiente a 5° Año. Esto con sustento en el Objetivo general de asignatura que incluye, entre otros aspectos,

que el alumno valore los conocimientos biológicos para comprender la alteración de procesos celulares metabólicos, fisiológicos y genéticos.

Dicho objetivo general se vincula con la Unidad 3 del programa mencionado, en específico, con el contenido '3.3 Los virus y su relación con el cáncer'. El enfoque de asignatura solicita el tratamiento de los temas desde la explicación, el análisis y la comprensión de ejemplos concretos de alteraciones celulares y que aporten conocimiento para mejorar la calidad de vida de las personas. En este contexto disciplinar es crucial la construcción de CCE acerca del mecanismo de infección para apoyar la comprensión —por parte de los educandos— acerca del origen de las alteraciones celulares que llevan a cabo los virus en el cuerpo humano. Uno de estos procesos es el ciclo lítico, mismo que realiza el SARS-CoV-2 que, si bien no origina un tipo de cáncer y dada la emergencia sanitaria que aún se vive en el mundo, es de urgente tratamiento en la didáctica de la biología.

El estudio de los modelos estudiantiles espontáneos sobre el fenómeno de referencia permite el análisis detallado de la complejidad de éstos —en función de sus elementos ontológicos y epistemológicos— para elaborar una explicación coherente acerca de la infección viral. Tal explicación se espera esté alineada con los requerimientos de CCE solicitado por el currículum correspondiente. Esto es, con la comprensión del proceso del fenómeno a partir de las razones a niveles molecular y estructural entre el SARS-COV-2 y la célula con receptor de membrana ACE2. El enfoque de modelos puede abrir la oportunidad de que se identifiquen posibles dificultades, así como hallazgos que lleven a propuestas didácticas que favorezcan el desarrollo de CCE comprensible por los alumnos. La comprensión de las interacciones moleculares entre el patógeno y un tipo de célula humana específica conllevan elementos de las DOyE altamente abstractos y complejos en su construcción al no tener referentes reconocibles por parte de los alumnos.

Por otra parte, la modelización del fenómeno de referencia es posible porque en la explicación procedente de la ciencia universitaria es factible identificar las DOyE sobre las que se sostiene el proceso de explicación coherente. Así, con el reconocimiento de las entidades, propiedades, relaciones causales y funcionales específicas se derivan las categorías de análisis que permiten describir y caracterizar las explicaciones tanto científica, como curricular y espontánea estudiantil (incluidas las reportadas por la investigación educativa y las obtenidas con la muestra).

Configuración del MCEA

El MCEA es un dispositivo teórico-metodológico esencial para la transposición didáctica porque hace posible armonizar, en términos de modelos, las explicaciones científica, curricular y espontánea estudiantil sobre el fenómeno de referencia. Este ejercicio de contraste remarca varios aspectos para un tratamiento didáctico con posibilidades en la mejora de la enseñanza:

- Resalta las diferencias y semejanzas existentes entre los tres modelos.
- Proporciona indicadores que se aproximan de una manera más confiable a las necesidades de las formas de pensamiento de los educandos porque integra sus explicaciones espontáneas.
- Evidencia los elementos de las DOyE que pueden funcionar como anclaje para continuar la construcción de CCE.
- Contribuye con un tratamiento más preciso del fenómeno de referencia, en términos de secuencialidad, gradualidad y profundidad con base en el currículum escolar. Es decir, se consideran —de acuerdo con el nivel educativo— tanto los conocimientos previos de los educandos, como su progresión con ayuda de la construcción de explicaciones científicas escolares acordes con la complejidad solicitada por la enseñanza de la biología en el grado o año escolar.
- Aporta, *a priori*, las categorías de análisis indispensables para el estudio de las explicaciones espontáneas de los alumnos. Esto debido a que posibilita la codificación de los datos empíricos para su posterior análisis.

El MCEA se construye a partir de tensionar los constructos MEI, MCu y MCi. Por esta razón se procedió a obtener estos modelos a partir de las explicaciones que les corresponden, es decir, desde el pensamiento espontáneo estudiantil, el currículum escolar y la ciencia biológica. El proceso consistió, primero, en elaborar una representación gráfica, a manera de diagrama que muestra las relaciones de causa y efecto entre las entidades de cada modelo para luego contrastarlos y obtener el gráfico del MCEA. Los gráficos elaborados muestran de manera accesible el énfasis en las entidades, propiedades generales, relaciones de causalidad y de funcionalidad del modelo. Además, facilitan el comparativo directo entre los constructos.

Estos gráficos se incluyen en las secciones siguientes del presente capítulo y la nomenclatura de los diagramas se explica a continuación:

- Etiquetas rectangulares de diferente color que incluyen el nombre de la entidad (en tipografía de mayor tamaño) y sus propiedades (en tipografía de menor tamaño). Además, el color de los rectángulos corresponde a los distintos ámbitos del fenómeno de infección:



- Flechas de diverso color y acompañadas con etiquetas que indican la condición necesaria para que ocurra la relación causa-efecto correspondiente, por ejemplo:

Si interacciona con



- Rótulos en colores diversos para las etapas del fenómeno de infección:

5. Liberación

En un segundo momento, se generó la representación de los MEI, MCu y MCi, pero en forma de tabla comparativa. En este caso, se retomó la metodología de sistematización de Galvis y López (2020) que consiste en delimitar las etapas, ámbitos y dimensiones en los que se reorganizarán los conocimientos necesarios para comprender el fenómeno de referencia desde cada modelo. Enseguida se elaboraron las tablas comparativas con las DOyE necesarias para cada constructo y se procedió al contraste. Por último, se conformó el MCEA, que recupera la información específica y que queda concentrada en una nueva tabla para este constructo. Así, con el MCEA se tienen las entidades, propiedades, relaciones de causalidad y relaciones de funcionalidad adaptadas a la forma de pensar de los sujetos, armonizadas con la explicación científica y las necesidades planteadas en el currículum escolar. Lo propuesto por Galvis y López retoma las dimensiones DOyE sugeridas por Gutierrez (2007).

El formato de tabla comparativa agrega una representación con profundidad en los detalles de los elementos de los modelos, por lo tanto, sustenta y complementa a los gráficos. En el ANEXO 1 se encuentra —para su consulta— dicho formato titulado ‘Tensión de los constructos MEI, MCu y MCi’ y en el cual se expone el contraste correspondiente. A continuación, se describe el vínculo entre el MCEA y las categorías de análisis para esta investigación.

El MCEA y las categorías analíticas

Las categorías analíticas (CA) son unidades de significado derivadas de los criterios seleccionados para responder a las preguntas de investigación (Sabariego, 2009). Como explica Rivas (2015), su importancia radica en que posibilitan la descripción y estudio de un fenómeno porque son indicadores o dimensiones que guían la investigación. Agrega Rivas que las CA reducen la realidad a conceptos claros a los que se les asigna validez teórica. A partir de ello, permiten organizar y codificar los datos para relacionarlos con los aspectos del fenómeno estudiado, lo que es necesario para interpretar dichos datos (Shiro, 2014). Otro aspecto esencial de las CA, aclara Rivas (2015), es que tienen carácter teórico y operacional porque permiten la aplicación de los constructos teóricos. Es importante mencionar que, de acuerdo con Hernández, Fernández y Baptista (2010), las CA seleccionadas con los rubros de interés en la investigación también orientan la obtención de categorías de respuestas esperadas al reunir los datos empíricos.

De esta forma, las CA provienen de las DOyE del fenómeno de referencia y son parte estructural de todos los constructos inferidos para obtener el MCEA, del propio MCEA y, por comparación con éste, hicieron posible codificar los datos empíricos obtenidos de la muestra de alumnos de 5° de preparatoria. Aunado con ello, las CA también permitieron elaborar las preguntas incluidas en los instrumentos virtuales aplicados a la muestra de estudiantes. Esto dio la concordancia necesaria para analizar los datos, inferir los MEId correspondientes y categorizarlos con respecto del MCEA para poner a prueba la hipótesis.

Ahora bien, para obtener las CA se organizó el fenómeno de referencia como se muestra en la Tabla 6. Esta sistematización dio paso al análisis de la infección por SARS-CoV-2 en células humanas con las dimensiones sugeridas por Gutierrez (2007) y a la identificación de los elementos correspondientes. Este ejercicio permitió la representación del fenómeno de referencia en términos de modelo:

Tabla 6*Organización del fenómeno de referencia en términos de modelos*

Fenómeno	Etapa	Ámbito	Dimensión analizada	Modelo obtenido para tensionar	Dispositivo teórico-metodológico obtenido
Infección por SARS-CoV-2 en células humanas (Ciclo lítico)	A) Reconocimiento SARS-CoV-2 / Célula con receptor de membrana ACE2	1. Fijación	a, b, c y d	MCi / MCu / MEI/	MCEA
		2. Penetración	a, b, c y d		
	B) Replicación viral	3. Transcripción temprana	a, b, c y d		
		4. Replicación	a, b, c y d		
		5. Transcripción tardía	a, b, c y d		
		6. Ensamblaje	a, b, c y d		
	C) Nuevos coronavirus SARS-CoV-2	7. Liberación	a, b, c y d		

Nota. De las dimensiones analizadas se derivaron las categorías analíticas:

a = Ontológica-entidades,

b = Ontológica-propiedades,

c = Epistemológica-relaciones causales,

d = Epistemológica-relaciones funcionales

El sustento de tales CA se retoma de Gutierrez (2014), quien señala: “Un modelo científico es una representación de un sistema real o conjeturado, consistente en un conjunto de entidades con sus principales propiedades explicitadas, y un conjunto de enunciados legales que determinan el comportamiento de esas entidades” (p. 51). Por lo tanto, las CA seleccionadas corresponden a las condiciones en las cuales ocurre la infección viral (ingreso del patógeno al cuerpo humano e interacción molecular virus/célula hospedadora o ciclo lítico); las entidades y propiedades (coronavirus SARS-CoV-2, célula hospedadora con receptor de membrana ACE2, diversas proteínas estructurales, enzimas y material genético viral); las relaciones causales (interacciones moleculares incluidas en los ámbitos) y las relaciones funcionales (el SARS-CoV-2 es un virus que se transmite de persona a persona e infecta diversas células del cuerpo humano con receptor de membrana ACE2, provocando la enfermedad sistémica COVID-19).

Con base en lo anterior, las CA están presentes en la inferencia de los constructos MEI/, MCu y MCi que fueron puestos en tensión para elaborar el MCEA. A continuación, se describe el procedimiento para la obtención de éstos.

Configuración del MEII

El estudio de las características de los modelos estudiantiles espontáneos permite identificar si éstos incluyen solo elementos sencillos, objetos, descripciones y aproximaciones, o bien, algunas entidades, propiedades y relaciones causales, así como la naturaleza de las mismas con base en su ontología y epistemología. El MEII se infiere a partir de los pensamientos espontáneos de los alumnos y éstos pueden incluir, por ejemplo, explicaciones más o menos cercanas al conocimiento científico, falacias y falsas creencias que obstaculizan o alteran la construcción de conocimiento científico. No obstante, también sirven como referente para la construcción de conocimiento científico escolar nuevo, progresivo y comprensible para los educandos al evidenciar los elementos ontológicos y epistemológicos existentes.

Es importante recordar que la inferencia del MEI se desarrolló en dos etapas:

- Primero, el MEII: a partir de lo reportado en la literatura didáctica especializada, hasta el momento, acerca de las nociones sobre virus y su interacción con el cuerpo humano como causantes de enfermedades. Con esta información se elaboró el MCEA.
- Segundo, el MEII*d*: mediante dos cuestionarios aplicados a una muestra de 36 estudiantes, de 5° Año de preparatoria. Este constructo proviene de primera fuente actualizada, sobre la forma de pensar espontánea de los alumnos acerca del fenómeno de infección por SARS-CoV-2 en células humanas y fue comparado con el MCEA para identificar los hallazgos que pueden ser útiles en la enseñanza de la biología.

En este apartado se aborda la inferencia del MEII, que consistió en una búsqueda de fuentes especializadas sobre ideas previas relacionadas con la infección viral. La revisión se hizo en 11 plataformas y repositorios de publicaciones sobre DC e investigación educativa (ver apartado Características de la búsqueda documental en el Capítulo 2. Estado de la cuestión). La indagación arrojó solo cuatro referencias especializadas de 1985 a la fecha y que abordan la investigación educativa sobre las ideas espontáneas de los sujetos de entre 16 y 25 años de edad acerca de los virus y el proceso de infección viral general (ver Tabla 1 del Capítulo 2. Estado de la cuestión). Las referencias corresponden a las investigaciones de Prout (1985), René y Gilbert (1994), Jones et al. (2013) y Simoneaux (2000).

A lo anterior se agrega que, debido al carácter emergente que aún tiene el fenómeno de infección viral de células humanas por SARS-CoV-2, la literatura especializada no hace mención de él en específico. Tal situación resalta la ausencia de evidencia empírica específica y actualizada

que pueda ser útil en la DC, en particular de la biología, para el diseño, desarrollo y validación de SD del fenómeno que interesa, además de fenómenos similares relacionados con otras enfermedades virales. Las DOyE incluidas en la Tabla 2 (Capítulo 2. Estado de la cuestión), aunque muestran un modelo sencillo e incompleto, aportan los componentes suficientes y necesarios para inferir el MEI. La representación gráfica de éste lo muestra la Figura 16 y tiene como punto de partida los datos reportados en la literatura didáctica especializada acerca del tema infección viral (la representación en formato de tabla comparativa se encuentra en el ANEXO 1 con el título ‘Tensión de los constructos MEI, MCu y MCi’):

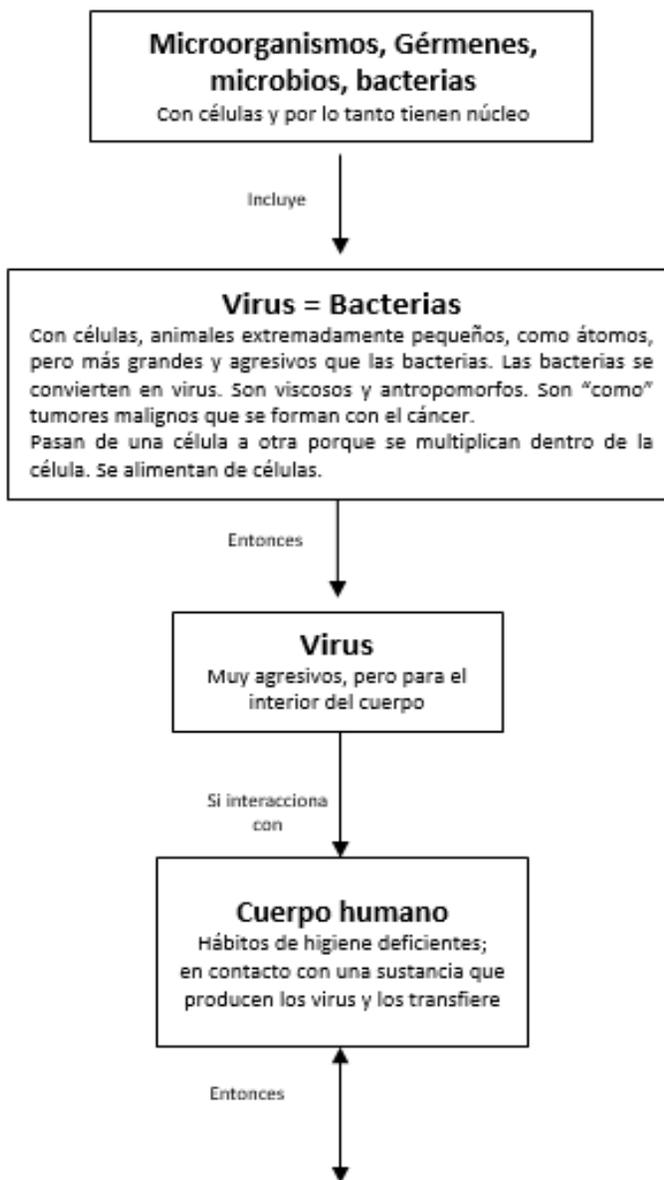
Figura 16

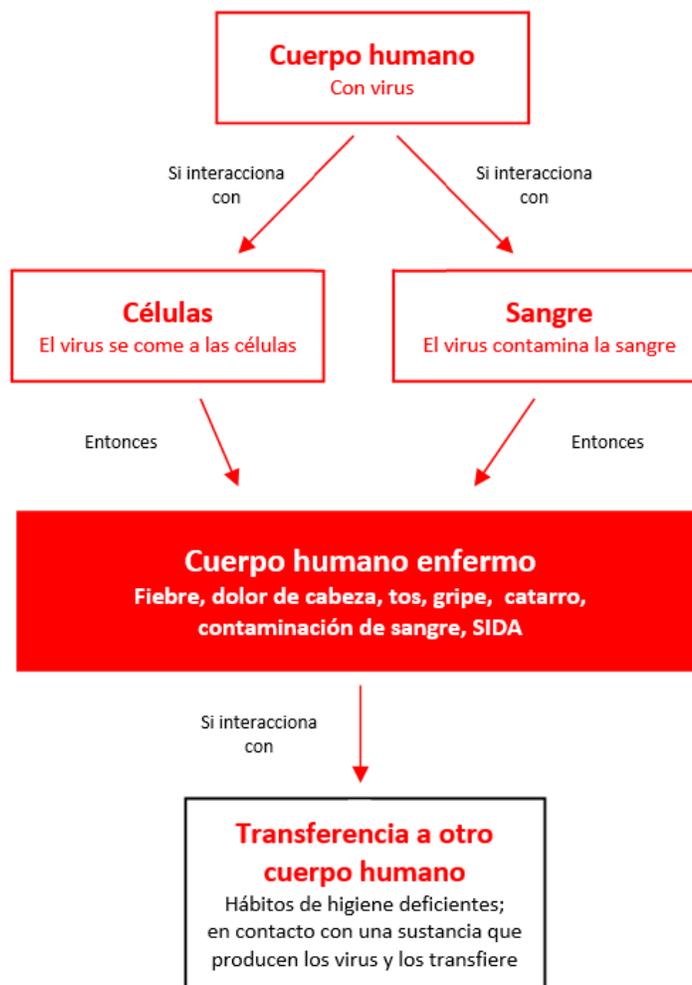
MEII con base en los reportes documentales

MEII: Diagrama Causa-Efecto

¿Cómo es que el coronavirus SARS-CoV-2 daña las células humanas?

Sujetos con edades de los 16 a 25 años





Configuración del MCu

Se debe considerar que para comprender el fenómeno de infección por SARS-CoV-2 en células humanas con la profundidad adecuada que explique lo que ocurre en la interacción virus/célula hospedadora, es necesario que los alumnos cuenten con la construcción de nociones básicas acerca de las características de las biomoléculas participantes (proteínas, enzimas, material genético y tipos de ARN), estructuras celulares y su relación con el metabolismo (ribosomas y síntesis de proteínas, replicación de material genético, endocitosis, membrana celular y receptores de membrana, entre otros) y la estructura general de un virus. Como consecuencia se revisaron algunos programas de estudio de Educación Media Superior (ver Tabla 3, Capítulo 2. Estado de la

Cuestión) y se identificó que la modalidad de la ENP/UNAM proporciona los antecedentes explicativos básicos necesarios para la comprensión del fenómeno de referencia en los niveles celular y molecular debido a que incluye la asignatura Biología IV.

En el documento *Programa Analítico. Biología IV. Quinto Año* (ENP/UNAM, 2017) se indica que uno de los objetivos específicos de la Unidad 3 es que el alumno “Explicará alteraciones en el metabolismo de la célula, mediante el análisis de ejemplos concretos como la diabetes, el cáncer y las miopatías mitocondriales, para responder a interrogantes sobre su origen” (p. 6). Sumado a esto, se reconoció el Contenido Conceptual ‘3.3 Los virus y su relación con el cáncer’ como central para abordar el fenómeno de infección viral debido a que proporciona el vínculo —por medio del estudio el ciclo lítico— que puede llevar al abordaje del fenómeno de referencia. El caso del SARS-CoV-2 aún es emergente y no se encuentra incluido como contenido de enseñanza en los programas de estudios revisados. Otro punto relevante que conviene recordar es que el contenido seleccionado se relaciona de forma directa también con los siguientes Contenidos Conceptuales de la asignatura Biología IV y que —para los efectos de la tesis— forman el cúmulo de conocimientos previos de los alumnos para analizar y comprender el fenómeno de infección viral, tanto general como específico para el SARS-CoV-2:

3.2 Origen de las alteraciones celulares, metabólicas y genéticas precursoras de cáncer, diabetes y miopatías mitocondriales

3.5 Bioelementos y biomoléculas

3.6 Estructura y funciones celulares

Acerca de los Contenidos Procedimentales que se vinculan, éstos son:

3.10 Manejo de material y aparatos de laboratorio para observar y describir algunas estructuras y tipos celulares

3.13 Uso de herramientas para la búsqueda y selección de información confiable en internet, que ayude a la comprensión de temas como alteraciones metabólicas y genéticas.

Y el Contenido Actitudinal más cercano es el siguiente:

3.15 Valoración de la utilidad de los conocimientos biológicos para entender el origen de alteraciones metabólicas y genéticas en las células.

Es importante mencionar que, si bien estos temas no son incluidos de forma explícita en el MCu propuesto, son aspectos que sin duda se verán fortalecidos con los hallazgos que resultarán

de la presente tesis. Esto es posible gracias a que la construcción de conocimiento científico escolar, desde la DC, propicia la comprensión de los educandos acerca del fenómeno natural estudiado y aporta el desarrollo de procesos cognitivos estrechamente vinculados con los intereses y valores estudiantiles. De esta forma, el tratamiento desde los modelos abona en la disposición necesaria, por parte de los alumnos, para el desarrollo del pensamiento crítico y de la toma de posturas informadas que favorezcan tanto la prevención de enfermedades, así como la salud individual y de la comunidad.

Una característica del programa analítico es que no muestra mayor desglose del contenido '3.3 Los virus y su relación con el cáncer' y tampoco proporciona elementos didácticos detallados, ya sea descriptivos o explicativos, en el enfoque, sugerencias de trabajo y sugerencias de evaluación del aprendizaje que orienten al docente de manera explícita sobre la profundidad requerida para el tratamiento didáctico. Además, en la plataforma de la Escuela Nacional Preparatoria (ENP/UNAM, *Lineamientos generales, s/f*) no se encontraron documentos de apoyo didáctico para el docente; esto fue confirmado con el testimonio de un profesor del nivel, quien manifestó que solo tienen los programas analíticos de asignatura para desarrollar sus clases. No obstante, otras fuentes que complementan la inferencia del MCu son algunos de los libros de texto recomendados en el propio programa de asignatura (ENP/UNAM, pp. 9-10):

Básicas: Audesirk, Audesirk y Byers (2008); De Erice y González (2012); Solomon, Berg y Martin (2011).

Complementaria: Curtis y Barnes (2008).

Con base en estas referencias de consulta es posible inferir la profundidad requerida para el tratamiento de los contenidos porque abordan cómo afectan los virus el metabolismo celular por medio de los procesos de infección lítico y lisogénico. Este conocimiento hace posible identificar el tipo de interacciones entre los virus y las células humanas, así como los daños causados por los primeros al utilizar a las células para la replicación viral. La construcción del conocimiento descrito conlleva incluir, además de los procesos virales, las características estructurales fundamentales de un virus y de una célula, las biomoléculas involucradas en dichos procesos (tanto virales como celulares) y las relaciones causa-efecto del fenómeno infección viral general. En los libros de texto se desarrolla una explicación coherente y sustentada del fenómeno de infección viral en general y en la que se pueden reconocer entidades, propiedades y condiciones básicas que los alumnos de 5° Año de preparatoria serían capaces de identificar. Esto con base en los

conocimientos escolares previos que se espera hayan desarrollado sobre biomoléculas, estructura y metabolismo celulares, así como las características generales de las células y de los virus.

Entre las características del discurso contenido en los libros de texto de biología ya mencionados, se destacan las siguientes:

- El conocimiento científico aborda la explicación científica atenuada del fenómeno que interesa, en comparación con las referencias especializadas (libros y artículos científicos consideradas para el MCi y que será desarrollado en las secciones posteriores de este capítulo).
- La exposición del fenómeno infección viral corresponde para los virus de manera general y es apoyada con la mención de algunos ejemplos en la narrativa, las figuras, y cuadros comparativos. Los recurrentes son el virus de la gripe y el VIH como ejemplos algo más detallados en los ciclos de infección de cada caso.
- Dado que el SARS-CoV-2 y la enfermedad COVID-19 son de reciente descubrimiento, aún no son incluidos en los libros de texto sugeridos como bibliografía básica y complementaria en el programa de asignatura.

Se hizo la revisión de las explicaciones contenidas en los cuatro libros de texto ya citados y, para inferir el MCu, se tomó como base el libro de texto de los autores De Erice y González porque la explicación que proporciona sobre el ciclo lítico de infección viral es la más cercana a la del MCi, como se muestra en la Tabla 7:

Tabla 7

Comparación de las etapas del ciclo lítico viral incluidas en los libros de texto para preparatoria

Etapas del ciclo de infección viral				
Libros de texto sugeridos				MODELO CIENTÍFICO
Audesyrk y Audesyryk (2008, pp. 380 y 383)	De Erice y González (2012, pp. 349-350)	Solomon, Berg y Martin (2013)		
1. Penetración	1. Etapa de adsorción o fijación	1. Fijación o adsorción	1. Fijación o adsorción	1. Fijación o adsorción
2. Replicación	2. Etapa de penetración	2. Penetración	2. Penetración	2. Penetración
3. Transcripción	3. Etapa de replicación: Síntesis de proteínas tempranas y proteínas tardías, Síntesis de ácido nucleico	3. Replicación y síntesis	3. Replicación y síntesis	3. Transcripción temprana
4. Síntesis de proteínas	4. Etapa de ensamblaje	4. Ensamblaje	4. Ensamblaje	4. Replicación
5. Ensamblado viral	5. Etapa de liberación	5. Liberación	5. Liberación	5. Transcripción tardía
6. Liberación	En la explicación del texto se hace explícita la formación de "las proteínas tempranas que intervienen en la replicación del ácido nucleico del virus utilizando las enzimas de la célula huésped y después se sintetizan un tipo de proteínas estructurales llamadas proteínas tardías".			6. Ensamblaje
				7. Liberación

Nota. La infección por SARS-CoV-2 se lleva a cabo por medio del ciclo lítico, provoca la replicación del coronavirus y con ello altera el funcionamiento celular. Cabe recordar que la transcripción ocurre de forma anterior a la traducción o síntesis de proteínas.

De Erice y González (2012) explican que los virus están incluidos en el grupo de los microorganismos, éste se encuentra integrado por formas celulares (bacterias y protozoarios) y no celulares (virus, priones y viroides). Los definen como macromoléculas hechas de ácidos nucleicos (ADN o ARN) y proteínas y que pueden incluir en su estructura carbohidratos y lípidos. Los autores abordan los detalles de las características distintivas de los virus y mencionan que no tienen células ni metabolismo, no son capaces de obtener energía ni de realizar funciones como alimentarse, moverse, crecer o reproducirse. Al entrar en una célula los virus activan su ácido nucleico para hacer copias de sí mismos. El tamaño de los virus no es mayor a $2\ 500\ \text{Å}^{22}$ y son clasificados en familias. Sobre la estructura viral, los autores describen tres partes: genoma viral (ADN o ARN), cápside y envoltura membranosa. El ácido nucleico puede ser lineal o circular y si está formado por una sola cadena es llamado monocatenario o bicatenario si tiene dos. De Erice y González mencionan que los virus con ARN monocatenario se caracterizan por lo siguiente:

Son los que tienen información para la síntesis de proteínas, utilizan los ribosomas de la célula huésped y de la enzima replicasa que se asocia al ARN para sintetizar una cadena complementaria que se usará para obtener más copias del ARN. (p. 345)

De Erice y González (2012) agregan que el ARN monocatenario (+) viral no requiere de transcripción, sino que la información puede ser leída directamente como ARN mensajero (ARNm) debido a que tiene polaridad positiva (+), lo que provoca la lectura del mensaje en sentido 5'-3'. Así, el genoma viral hace proteínas directamente una vez que entra a la célula huésped. Los autores mencionan que los virus con esta clase de ácido nucleico corresponden al Tipo IV.

Acerca de la estructura viral, De Erice y González (2012) describen que la cápside está hecha de proteínas globulares o capsómeros y que junto con el genoma viral integran la nucleocápside. En cuanto a la envoltura membranosa de los virus llamados envueltos, consta de una doble capa de lípidos (proveniente de la célula huésped) y de glucoproteínas a manera de espinas que sobresalen y reconocen a la célula huésped. De Erice y González aclaran que los virus pueden presentar dos formas de permanencia en las células y que corresponden a un ciclo lítico o

²² Å o ángstrom, es la unidad de longitud equivalente a 10^{-10} m o una diezmillonésima parte de un metro (Real Academia Nacional de Medicina de España, 2022).

a un ciclo lisogénico. El primero consiste en que el virus realiza numerosas copias de las proteínas y ácido nucleico víricos, se ensamblan y forman virus nuevos que son liberados, destruyen la célula huésped e infectan a nuevas células. El segundo ocurre cuando el ácido nucleico viral se integra al genoma de la célula huésped; así, se replica cada vez que la célula se reproduce. En la descripción general de las etapas para la replicación viral, los autores agregan que el virus hace uso de la energía y la materia prima de la célula para realizar el proceso completo:

1. Etapa de adsorción o fijación

El virus se une a la membrana celular o pared celular de la célula huésped por medio de los receptores (carbohidratos, lípidos o proteínas) que ésta tiene en la membrana o pared celular y se provoca la unión por medio de un proceso llamado *adsorción*. De los receptores depende la resistencia de una célula al ataque de los virus.

2. Etapa de penetración

En esta etapa el ácido nucleico empieza a inyectarse, penetrando en el citoplasma. Los mecanismos que los virus utilizan para poder penetrar a la célula son diferentes dependiendo del virus y de los receptores de la membrana celular.

Para que el virus pueda inyectar su ácido nucleico es necesario que la cápside se elimine, a este proceso se le conoce como *descapsidación*.

Algunos virus envueltos penetran por fusión de la cubierta del virus con la membrana de la célula hospedera. Otros, por endocitosis, cuando la membrana se invagina y rodea al virus en una estructura llamada *endosoma*, la envoltura del virus se funde con el endosoma y expulsa la nucleocápside al citoplasma, que más tarde se le quita el cápside y puede depositar el ácido nucleico.

Los virus desnudos penetran de forma directa, cuando se unen a los receptores de la membrana celular, pudiendo inyectar el ácido nucleico al citoplasma de la célula.

3. Etapa de replicación

Esta etapa es muy importante, ya que ocurren dos procesos consecutivos: la *síntesis de proteínas* y la *síntesis de ácido nucleico*.

Síntesis de proteínas Como en cualquier síntesis de proteínas es necesario un ARNm que lleve a cabo la transcripción mediante la ARN polimerasa, dependiendo del ácido nucleico que tenga el virus sigue distintos pasos, pero de manera general, se forman primero las *proteínas tempranas* que intervienen en la replicación del ácido nucleico del virus

utilizando las enzimas de la célula huésped y después se sintetizan un tipo de proteínas estructurales llamadas *proteínas tardías*.

Síntesis del ácido nucleico Esta replicación común del ácido nucleico se lleva a cabo en el núcleo de la célula hospedera si es eucarionta, o en el citoplasma si es procarionta. (p. 349)

De Erice y González (2013) continúan con la explicación:

4. Etapa de ensamblaje

El ensamblaje consiste en unir todos los componentes del virus, ya que ensamblado es la mejor forma que tiene para infectar a otras células.

5. Etapa de liberación

Una vez unidos los virus en el citoplasma de la célula, éstos pueden salir de dos formas: por *lisis*, mediante las enzimas que tiene, rompen la membrana celular y salen a infectar a otras células; o mediante *exocitosis*, al unirse los virus a la membrana y atravesarla para salir expulsados. (p. 350)

Sobre el proceso de endocitosis mediante el cual un virus puede entrar a la célula hospedadora, De Erice y González (2013) explican los siguiente:

Endocitosis. Es el proceso por el que la célula atrapa las partículas del medio externo que van a ser introducidas a su interior usando una invaginación de su membrana. Esta invaginación se cierra formando una pequeña vesícula, denominada *endosoma*, que se desprende hacia el interior de la célula mediante la fisión de membranas ... De este modo, el endosoma actúa como una extensión intracelular de la membrana plasmática y permite un contacto íntimo entre los componentes del medio extracelular y regiones del interior del citoplasma a las que los componentes externos no podrían llegar mediante una difusión simple.

Según la naturaleza de las partículas englobadas por la invaginación se distinguen tres tipos de endocitosis: *pinocitosis*, *fagocitosis* y *endocitosis mediada por un receptor*.

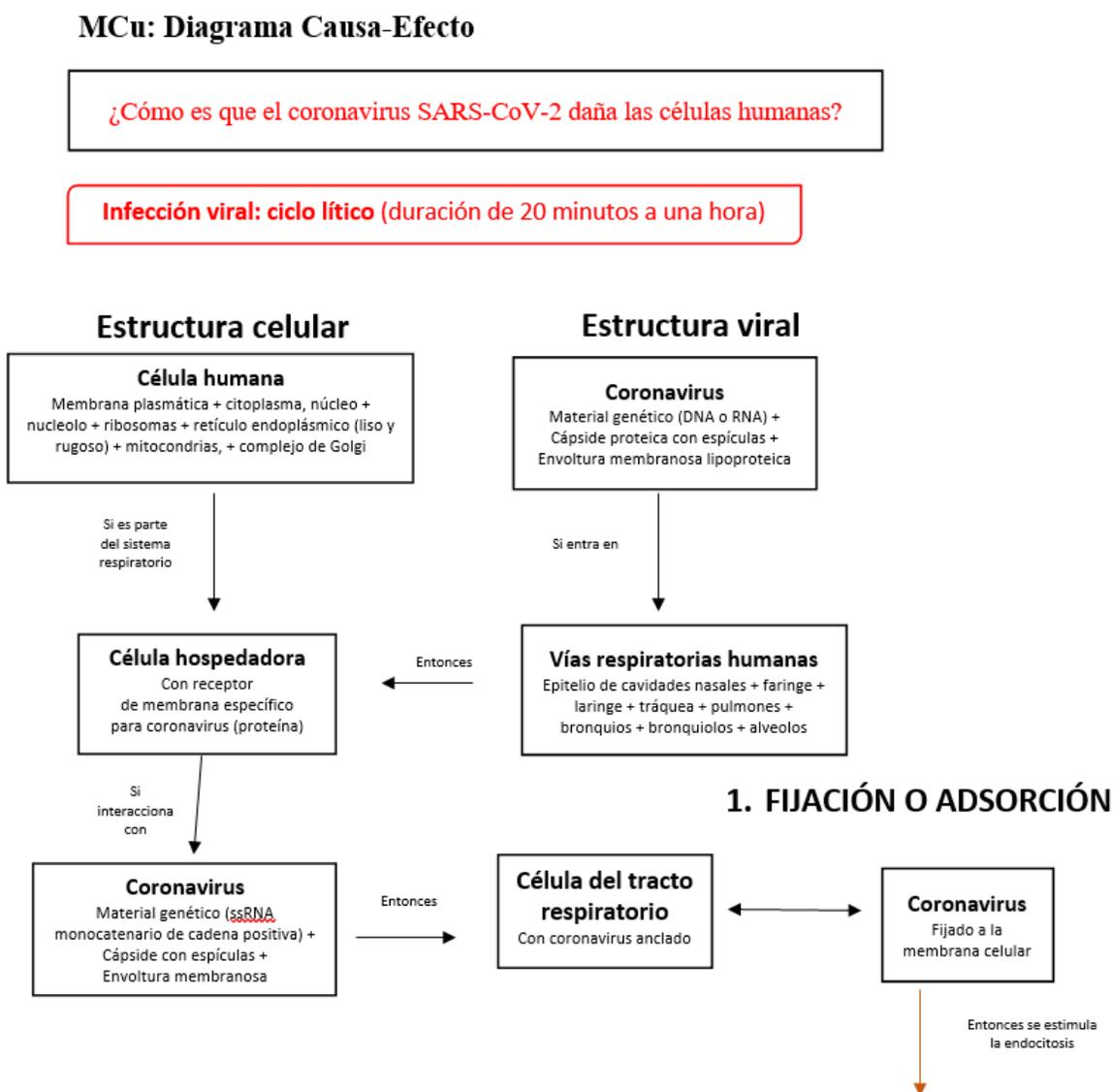
... la *endocitosis mediada por un receptor* es un caso especial donde sólo entra en la célula la sustancia para la que hay el receptor correspondiente en la membrana, el cual reconoce el material específico que será introducido y se une con firmeza a él (*ligando*); la región de la membrana que contiene el complejo receptor-ligando sufre endocitosis y se convierte en una vesícula de transporte para llevar el material hasta donde se necesita (figura 5.9c). Así,

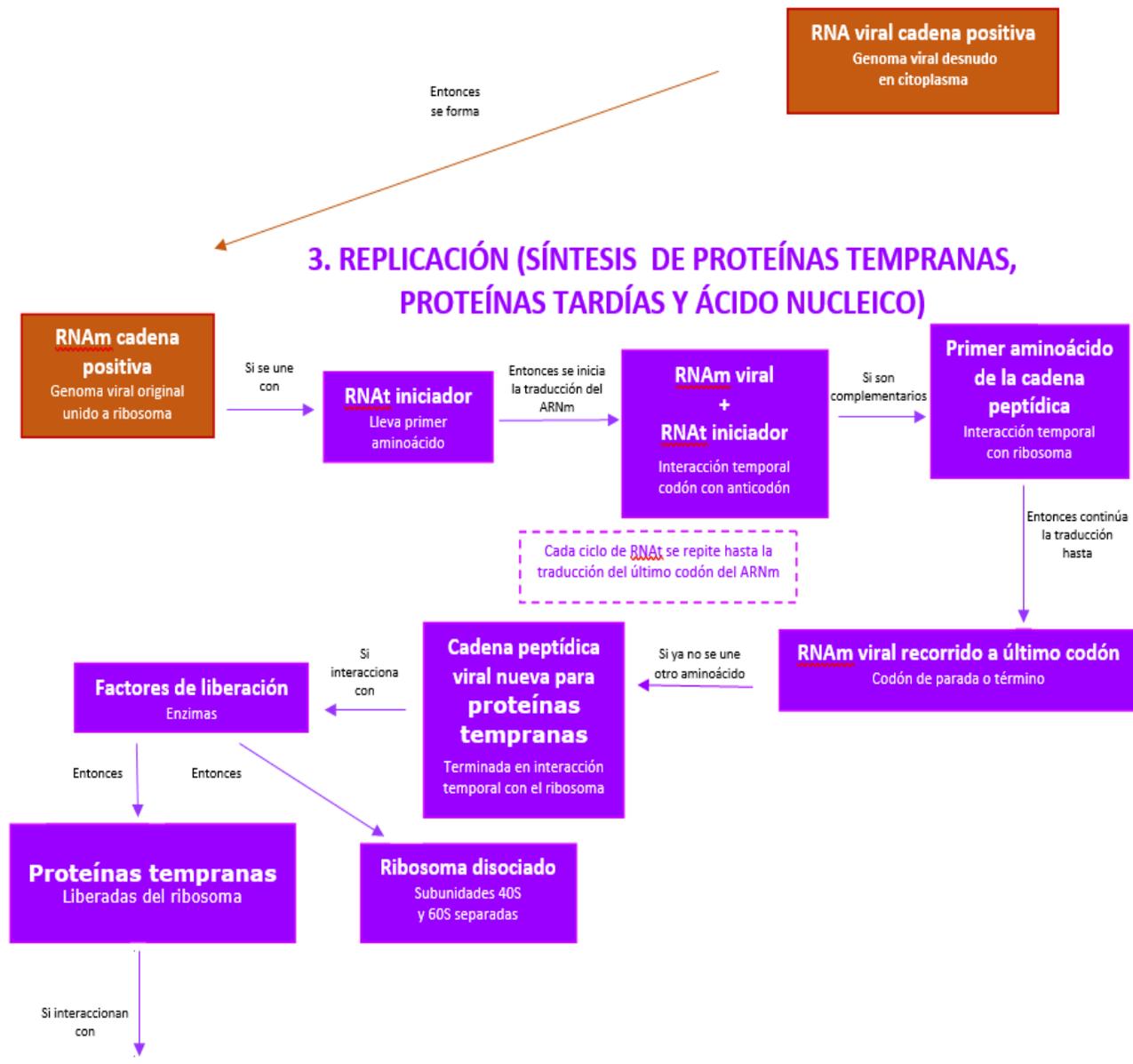
las células toman únicamente las sustancias que precisan, como nutrientes, hormonas, vitaminas, etcétera. (p. 127):

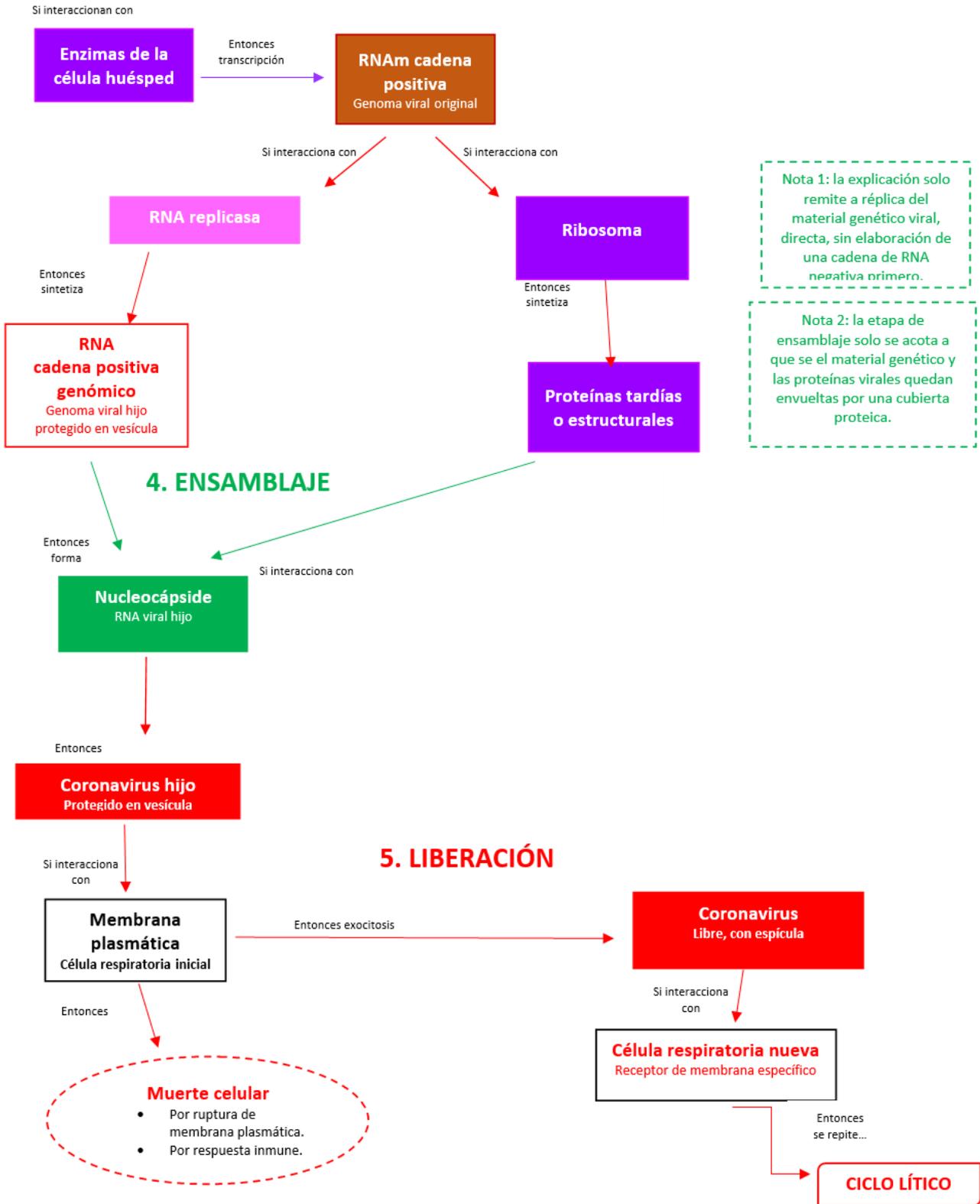
El análisis de la explicación desarrollada hasta el momento permitió inferir el MCu correspondiente y su representación gráfica se incluye en la Figura 17 (la representación en formato de tabla comparativa se puede consultar en el ANEXO 1 con el título ‘Tensión de los constructos MEI, MCu y MCi’).

Figura 17

MCu con base en los requerimientos curriculares







Configuración del MCI

El MCI que representa el fenómeno de infección por SARS-CoV-2 en células humanas se elaboró a partir de la explicación científica universitaria descrita en publicaciones especializadas y actualizadas como *Scientific American*, *Science*, *Cell*, *Revista de la Facultad de Medicina de la UNAM*, *Revista Mexicana de Trasplantes*, *Odontostomat*, *Gaceta Médica Boliviana*, *Ars Pharmaceutica*, *Radiología*, *Arch Méd.* También se consultaron referencias especializadas como Madigan, Martinko y Parker (2004) y Jiménez y Merchant (2003) con la finalidad de complementar conceptos generales sobre biología celular y microbiología.

El MCI refleja la ontología proveniente del mundo científico biológico para hacer comprensible la interacción molecular que ocurre entre el coronavirus y las células hospedadoras. En este contexto, se parte de la siguiente configuración del fenómeno de referencia:

Condiciones:

- Presencia del SARS-CoV-2 dentro del cuerpo humano.
- Interacción molecular virus/célula hospedadora en un ciclo lítico.

Entidades y sus propiedades:

- Coronavirus SARS-CoV-2: partícula en extremo diminuta; parásito intracelular obligado, acelular y carente de metabolismo, con material genético (+ssRNA²³).
- Célula hospedadora: célula humana con receptor de membrana ACE2, sistema vivo, complejo, con organelos, organizado, con funciones metabólicas que le permiten, por ejemplo, nutrirse, crecer, desarrollarse y reproducirse. Posee diversas proteínas (enzimáticas y estructurales), así como material genético (ADN y ARN)

Relaciones causales:

- Ciclo lítico.
- Procesos de transcripción y síntesis de proteínas.
- Replicación de +ssRNA viral original.

Relaciones funcionales:

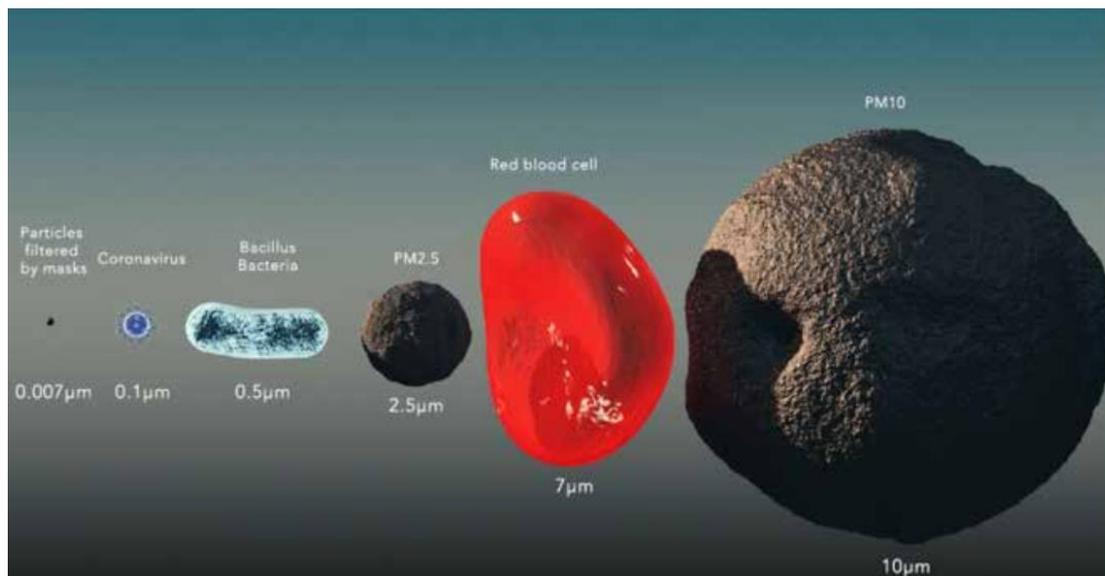
- El SARS-CoV-2 es un virus que se transmite de persona a persona e infecta diversas células del cuerpo humano con receptor de membrana ACE2, provocando la enfermedad sistémica COVID-19.

²³ El +ssRNA es el ácido ribonucleico formado por una sola cadena (*single stranded*) de nucleótido y cuya polaridad es positiva (Pastrian, 2020).

Otro aspecto importante del estudio del SARS-CoV-2 es el de las representaciones que han obtenido y elaborado los científicos. A continuación, las Figuras 18, 19 y 20 ayudan a dimensionar el tamaño y estructura del SARS-CoV-2:

Figura 18

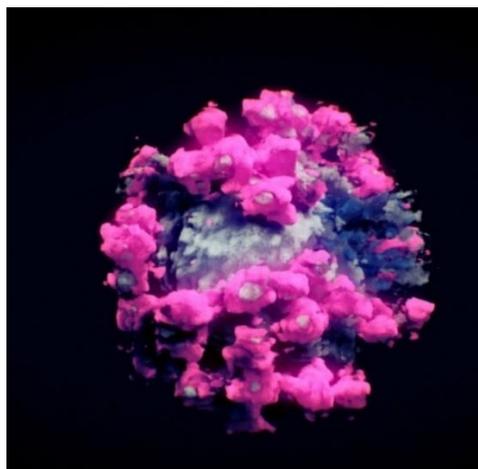
Comparativo de tamaños celulares, partículas suspendidas en el aire y virus SARS-CoV-2



Nota. Reproducido de “Evidencias científicas de la sobrevivencia del SARS-CoV-2 en agua de grifo no contaminada y en aguas residuales no tratadas” (p. 184), por M. Mundo, 2020, *Innovación más desarrollo*, 9(25).

Figura 19

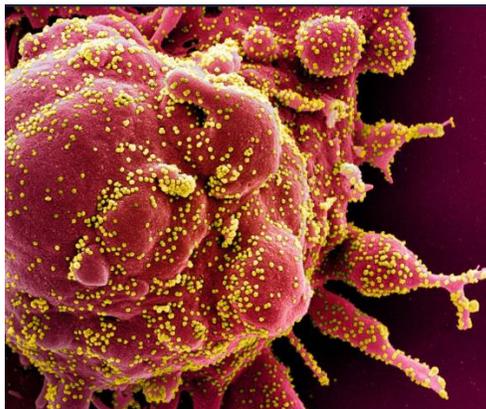
Tomografía criolectrónica del SARS-CoV-2



Nota. Imagen real del SARS-CoV-2. Reproducido de “Real SARS-CoV-2 virion in 3D”, por Nanographics/Tsinghua University, 2021 (<https://nanographics.at/projects/coronavirus-3d/>). CC-BY-NC-ND.

Figura 20

Numerosos virus SARS-CoV-2 en la superficie de una célula infectada



Nota. Los virus SARS-CoV-2 se resaltan en color amarillo y la célula infectada en color magenta. Imagen de microscopio electrónico (NIAID, E.U.). Reproducido de “Fotos reales del coronavirus bajo el microscopio”, por SER, 2020 (https://cadenaser.com/ser/2020/04/14/album/1586840408_978092.html#1586812530_569170_1586813172). Obra de dominio público.

En los siguientes párrafos se incluye la explicación científica a partir de la cual se derivó el MCI:

Madigan, Martinko y Parker (2004), describen una infección como el proceso en el cual un microorganismo se establece y desarrolla en un hospedador, lo que puede provocar o no un daño. De ocurrir esto último, se origina la enfermedad ya que se ha lesionado al hospedador. Los autores indican que las etapas de una enfermedad son las que se listan:

1. *Infección:* el organismo empieza a multiplicarse en el hospedador.

2. *Periodo de incubación:* el tiempo que transcurre desde la infección hasta la aparición de los síntomas de la enfermedad ... El período de incubación de una determinada enfermedad está determinado por el tamaño del inóculo, la virulencia del patógeno, la resistencia del hospedador, y la distancia entre el sitio de entrada y el foco de la infección ... Al final de la incubación aparecen los primeros síntomas, tales como el dolor de cabeza y la sensación de malestar.

3. *Periodo agudo*: la enfermedad está en su punto cumbre, con síntomas evidentes como fiebre y escalofríos.

4. *Periodo de declive*: los síntomas de la enfermedad van descendiendo, generalmente después de un periodo de intensa sudoración y empieza a notarse una sensación de bienestar. La desaparición de los síntomas puede ser rápida (un día), en cuyo caso se dice que ha habido una *crisis*, o puede ser más lenta, a lo largo de varios días, en cuyo caso se dice que ha sido por *lisis*.

5. *Periodo de convalecencia*: el paciente recobra vigor y vuelve a la normalidad.

Durante las últimas etapas del ciclo de la infección, los mecanismos inmunitarios del hospedador se van haciendo cada vez más importantes y, en la mayoría de los casos, la recuperación total requiere y da como resultado una inmunidad activa. (pp. 841-842)

Para el desarrollo del MCI, la atención de esta investigación se enfoca en la etapa de infección que lleva a cabo el SARS-CoV-2 en el cuerpo humano. Debido a que este coronavirus causa, además de alteraciones metabólicas, destrucción celular, el ciclo de infección que lleva a cabo corresponde al denominado lítico —lisis o ruptura de la célula—, como lo explican Madigan, Martinko y Parker (2004).

Fischetti, Falconieri, Glaunsinger et al. (2020) informan las siguientes características generales del coronavirus: la incubación promedio del SARS-CoV-2 es de tres a siete días; accede al cuerpo por nariz o boca mediante aerosoles contaminados; flota en el tracto respiratorio hasta que roza una célula nasal; entra en la sangre vía vasos capilares o llega hasta los neumocitos, el coronavirus tiene aproximadamente 24 genes en su ARN. Los autores describen que el ciclo infeccioso tiene las etapas que se resumen a continuación:

- **Fijación**: Unión virus-célula; la proteína S de una de las espículas o espigas virales se adhiere a un receptor ACE2 celular, la enzima proteasa corta la cabeza de la espícula e inicia la fusión con la membrana celular y estimulan la endocitosis.
- **Penetración** (10 minutos después del ingreso del virus al cuerpo): entrada del virus al citoplasma celular; el tallo de la espiga se comprime; la cubierta del virus se fusiona con la membrana celular y se forma el canal por el que pasa el ARN viral con sus proteínas N; desplazamiento por el citoplasma hasta los ribosomas celulares.

- Replicación: Transcripción y luego traducción del ARN viral en los ribosomas celulares y síntesis de los nuevos virus; unión de las subunidades ribosomales; unión del ARN viral a la subunidad menor; inicio de la traducción con los aminoácidos transportados por los ARNt; formación de las proteínas virales;
- Ensamblaje: Algunas de éstas propician que el retículo endoplásmico forme vesículas, otras forman espículas y la polimerasa viral así producida también es la que hace las réplicas del virus dentro de las vesículas; las proteínas N se unen a los ARN nuevos liberados de algunas de esas vesículas y les dan estabilidad molecular; los ARN de otras vesículas se acercan a vesículas provenientes del aparato de Golgi y forman las proteínas M y E; el aparato de Golgi también forma membrana para la cubierta a los nuevo virus.
- Liberación (a las 10 horas de iniciada la infección): los nuevos coronavirus salen de la célula mediante exocitosis y cientos de ellos infectan a otras células del cuerpo o son liberados al ambiente; la célula muere, por lo general, debido al consumo de recursos o es destruida por el sistema inmunológico.

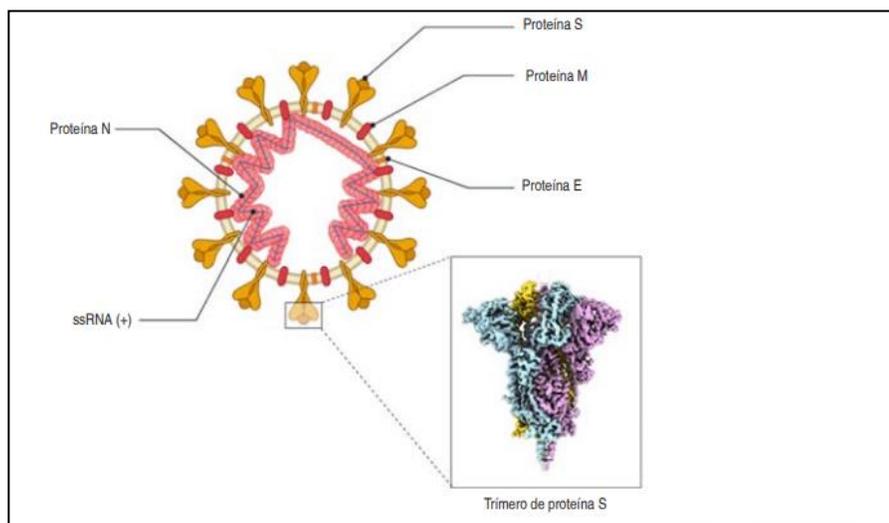
Al inicio de la interacción virus/célula hospedadora, el receptor de membrana plasmática funcional para el SARS-CoV-2 es la ACE2, glucoproteína con función de enzima convertidora de angiotensina-2, que se encuentra en las células alveolares tipo I y II, células epiteliales, fibroblastos, células endoteliales, macrófagos y otras células. Montaña y Flores (2020) describen que su función —en condiciones normales— es transformar la angiotensina II (Ang II) en I (Ang 1 a 7); la Ang II es péptido vasoconstrictora, aumenta la presión arterial y la inflamación, por lo tanto su modificación es esencial para regular la presión arterial en el cuerpo. Como es evidente con estas explicaciones, el receptor de membrana ACE2 se encuentra de forma natural en la estructura de la membrana de numerosos tipos de células humanas, pero su estructura molecular —como se describe en las siguientes líneas— puede formar enlaces químicos con la proteína S de las espículas del SARS-CoV-2.

Los investigadores Guzmán y Antezana (2020), Walls et al. (2020) y Yan et al. (2020) explican que la glucoproteína transmembranal S tiene dos dominios o subunidades funcionales: S1 (N-terminal) y S2 (C-terminal). S1 tiene el dominio de unión al receptor (RBD) que se une al dominio peptidasa (PD) de la ACE2. Cuando S1 se une al receptor ACE2 (angiotensina 2) de la célula blanco, la enzima proteasa corta o escinde la espícula. La escisión necesita serinas proteasas celulares (TMPRSS2 o serina-proteasas transmembrana de tipo II), lo que descubre al dominio S2

que favorece la fusión del virus SARS-CoV-2 con la célula hospedadora. El receptor ACE2 tiene un segmento PD N-terminal y un dominio tipo colectrina C-terminal (CLD). ACE2 se tiene que dimerizar y eso ocurre cuando PD se une con el RBD, debido a interacciones polares. En la Figura 21 se observa una representación de la estructura molecular del SARS-CoV-2 y en la Figura 22 se identifican los dominios viral y celular que intervienen en el reconocimiento molecular entre ambas entidades:

Figura 21

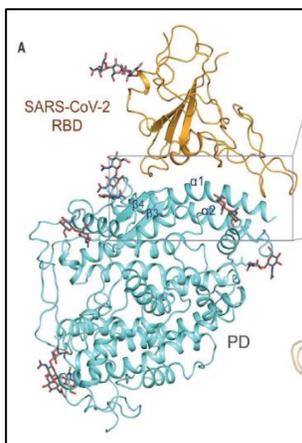
Estructura del SARS-CoV-2



Nota. Reproducido de “Biología del SARS-CoV-2” (p. 140), por D Fernández y L. Morales, 2020, *Revista Mexicana de Trasplantes*, 9(2).

Figura 22

Estructura de la unión del SARS-CoV-2 con el ACE2 celular



Nota. Representación de la estructura molecular del dominio de unión del SARS-CoV-2 (en amarillo) y del dominio de unión del ACE2 correspondiente a una célula hospedadora (en azul). Reproducido de “Structural basis for the recognition of SARS-CoV-2 by full-length human ACE2” (p. 1447), por R. Yan et al., 2020, *Science*, 367.

Walls et al. (2020) puntualiza que la proteína S forma homotrímeros, la subunidad S1 tiene el dominio de la unión al receptor y estabiliza la prefusión de la membrana; S2 contiene la maquinaria de fusión o proteínas para la fusión de membrana que realizan proteólisis y propician la fusión de la envoltura viral con la membrana celular

Acerca de cómo se introduce el SARS-CoV-2 a la célula, Yan et al. (2020) describe con detalle lo siguiente:

La escisión de la proteína S del SARS-CoV es facilitada por la catepsina L en los endosomas, lo que indica un mecanismo de endocitosis mediada por receptores (10). Se requiere una caracterización adicional para examinar las interacciones entre ACE2 y la partícula viral, así como el efecto de los cofactores sobre este proceso (25, 33). Queda por investigar si hay agrupamiento entre las proteínas dimericas ACE2 y triméricas S, que puede ser importante para la invaginación de membrana y endocitosis de la partícula viral, un proceso similar a otros tipos de receptores mediadores de endocitosis. (p. 1447)

A lo anterior se agrega lo que explica Pastrian (2020):

Para que el virus complete la entrada en la célula hospedera, la proteína (S) debe ser cortada o escindida por una enzima proteasa (TMPRSS2). La escisión de la proteína (S) ocurre en 2 diferentes posiciones de la subunidad S2, esto contribuye a la separación de la unión RBD de la subunidad S1 con el receptor ACE2 y a la posterior fusión de las membranas, facilitándose así, la entrada del virus mediante endocitosis (Ali *et al.*; Mousavizadeh & Ghasemi). (p. 334)

Sobre la entrada de la nucleocápside en el citoplasma, Ruiz y Jiménez (2020) explican lo que se incluye a continuación:

La interacción de la subunidad S1 con el receptor promueve la endocitosis del virión. El pH ácido y las proteasas endosomiales catalizan la escisión de las dos subunidades de S, y modifican S2 para que actúe como proteína de fusión, que facilita la fusión de las dos bicapas lipídicas, la envoltura del virión y la membrana de vesícula endocítica, liberando la nucleocápside en el citoplasma de la célula infectada (11). (p 87)

Una vez que la nucleocápside del virus ya está en el citoplasma, Oliva (2020) indica que se lleva a cabo la formación de las réplicas virales:

Al finalizar la fusión virus/membrana celular, el ARN genómico viral se libera en el citoplasma y se denuda para permitir la formación de las poliproteínas (pp) 1a y 1ab, la transcripción de los ARNs subgenómicos y replicación del genoma viral. Posteriormente, las glicoproteínas de envoltura recién formadas se insertan en el retículo endoplásmico rugoso o en las membranas de Golgi. Seguidamente, el ARN mensajero y las proteínas de nucleocápside se combinan para formar los viriones. Las partículas virales recién formadas entonces brotan dentro del compartimento intermedio Retículo Endoplásmico-Golgi (ERGIC, por sus siglas en inglés). De este compartimento, las vesículas que contienen los viriones emergen y migran hacia la membrana plasmática celular. Las partículas virales son liberadas por la célula y proceden a infectar nuevas células, en un ciclo repetitivo que culmina con la recuperación o con la muerte del paciente¹⁸. (p. 82)

Con base en lo que reporta la Sociedad Argentina de Virología (2020), después continúa el siguiente proceso: luego del reconocimiento del receptor, los coronavirus ingresan al citoplasma por endocitosis y fusión con vesículas ácidas que permiten la liberación de la nucleocápside. Alternativamente estos virus pueden fusionarse directamente con la membrana plasmática por un mecanismo dependiente de una proteasa celular que corta a la proteína S del virus y permite exponer su péptido fusión. Una vez liberada la nucleocápside al citoplasma comienza la traducción y expresión del gen de replicasa viral.

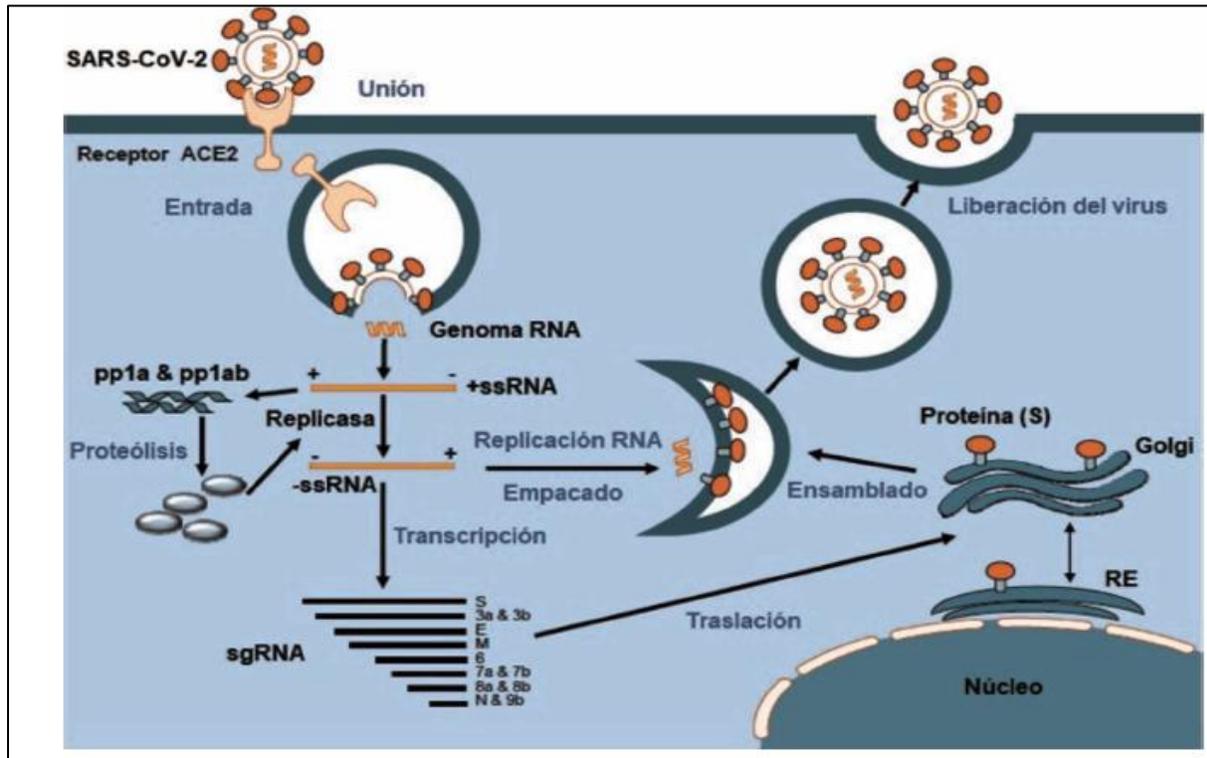
Los detalles más sobresalientes de la traducción y transcripción virales son los siguientes, con base en Pastrian, (2020):

Traducción del Genoma Viral y Transcripción de las proteínas de SARS-CoV-2. Una vez completado el ingreso al citoplasma, la nucleocápside del virus se libera y permite la salida del RNA genómico viral. Esta secuencia de RNA actúa como un RNAm donde se transcribe directamente el gen de la replicasa viral (hacia el extremo 5') por medio de ORF 1a y ORF 1ab traducándose en las poliproteínas pp1a y pp1ab (Mousavizadeh & Ghasemi). Posteriormente, pp1a y pp1ab son procesadas proteolíticamente por enzimas proteasas como quimiotripsina codificada viralmente (3CLpro), proteasa principal (Mpro) y una o dos proteasas similares a la papaína (Chen *et al.*), lo que da lugar a la producción de las 16 proteínas no estructurales (nsps) designadas nsp1 a nsp16 (Sin-Yee *et al.*). Estas

proteínas son necesarias para formar el llamado complejo replicasa transcriptasa (RTC), el cual, es ensamblado en vesículas de doble membrana originadas a partir del retículo endoplasmático (RE) (Yan-Rong *et al.*; Mousavizadeh & Ghasemi). La mayoría de las nsps están implicadas en la replicación y transcripción genómica del virus ejerciendo actividades enzimáticas de tipo proteasa, RNA polimerasa dependiente de RNA (RdRp), helicasa, exorribonucleasa, endorribonucleasa y metiltransferasa (Rokni *et al.*; Dae-Gyun *et al.*; Chen *et al.*; Qingmei *et al.*). Sin embargo, las funciones de algunas de ellas como nsp6, nsp7 y nsp8 son desconocidas. Se cree que podrían tener una función de desregulación de la respuesta inmune (Chen *et al.*). Finalmente, el complejo (RTC) replica y sintetiza un conjunto de RNAm subgenómicos (sgRNA) (Rokni *et al.*; Dae-Gyun *et al.*; Chen *et al.*; Qingmei *et al.*), que codifican para la elaboración de las proteínas estructurales principales (S), (M), (E), (N) y para las proteínas accesorias (hacia el extremo 3') (Yan-Rong *et al.*; Mousavizadeh & Ghasemi).

Replicación del RNA, Ensamblaje de las Proteínas y Salida de SARS-CoV-2 de la Célula Huésped. En la replicación de los CoV como SARS-CoV-2, el RNA monocatenario de polaridad positiva (+ssRNA) sirve de molde para sintetizar, inicialmente, una copia de RNA monocatenario de polaridad negativa (-ssRNA) (Li et al., 2020a,b). A partir de esta copia de -ssRNA, se producirán las poliproteínas pp1a y pp1ab, las cuales, se procesarán y conformarán el complejo RTC (Rokni et al.; Yan-Rong *et al.*; Mousavizadeh & Ghasemi). El complejo RTC, gracias a su actividad enzimática replicativa, crea nuevamente una copia del genoma +ssRNA original del virus a partir del molde. (p. 334)

La explicación que expone Pastrian se representa en la Figura 23:

Figura 23*Ciclo infeccioso del SARS-CoV-2*

Nota. Reproducido de “S Bases genéticas y moleculares del COVID-19 (SARS-CoV-2). Mecanismos de patogénesis y de respuesta inmune” (p. 335), por G. Pastian, 2020, *Odontostomat*, 14(3).

Como describe Oliva (2020), sobre las células blanco —hospedadoras o diana— afectadas, en primer lugar, se trata de células del epitelio del sistema respiratorio y neumocitos tipo II en los alveolos pulmonares, pero también hay otras células y órganos afectados al presentar el receptor de membrana ACE2:

El virus puede acceder al tracto respiratorio a través de las membranas mucosas, especialmente la nasal, orofaríngea y laríngea, y luego ingresar a los pulmones por continuidad. Posteriormente, ingresa a la sangre desde los pulmones causando viremia, y así, adquiere acceso y ataca a todos los órganos que expresan ECA220. ECA2, el receptor identificado como puerta de entrada para SARS-CoV-2, es una enzima adherida a la membrana celular de células ubicadas en el cerebro, corazón, arterias, endotelio

respiratorio, pulmones, específicamente en sus células alveolares tipo II (AT2, por sus siglas en inglés), hígado, intestinos, riñones y testículos²¹. (p. 83)

Es importante agregar algunos aspectos acerca de la patología provocada por el SARS-CoV-2, como los registrados por Fernández et al. (2021) para dimensionar el efecto de este patógeno en el cuerpo humano:

Una vez el virus se une a la membrana celular por un mecanismo de endocitosis, el genoma viral de ARN se libera en el citoplasma para su replicación. El ARN genómico, actuando sobre el sistema endoplásmico y de Golgi, elabora nucleocápsides para formar viriones intracelulares y nuevas partículas virales que se salen de la célula por exocitosis. La célula se altera funcional y estructuralmente, y llega a una muerte celular programada o apoptosis celular^{11,12}(fig. 1C). Muy probablemente como consecuencia de la interacción de la proteína M del virus en el interior de la célula y el citosol nuclear se produce la liberación de citoquinas, que a su vez activan células como los monocitos, linfocitos T, macrófagos, células endoteliales, epiteliales y dendríticas. Este mecanismo de inmunidad innata del huésped forma la primera defensa contra el virus. Posteriormente y a través de la activación de linfocitos B se generan anticuerpos para conseguir la destrucción y aclaramiento viral del organismo.

El virus se une a los receptores ECA II de la célula huésped (en este caso del neumocito tipo II), para entrar en la célula por endocitosis a través de la membrana celular. La envoltura del virus se destruye por proteólisis quedando libre el ARN que se replica para posteriormente, a través de membranas, formadas por el aparato de Golgi y endoplásmico de la célula, formar viriones completos (inclusiones virales en los tejidos de autopsias). Estos viriones se eliminan por exocitosis a través de la membrana celular. Otras proteínas del virus permiten la entrada en el núcleo alterándolo estructural y funcionalmente y llevando a la célula a una muerte programada o apoptosis celular. C) La afectación celular del virus provoca la activación de macrófagos, células endoteliales, células dendríticas, etc. que producen citoquinas (IL-1, IL-6, IL-8) y la activación de linfocitos T como respuesta rápida de la inmunidad. Pero si esta respuesta no es rápida (respuesta tardía) o simplemente no está bien regulada, se produce una sobreproducción a través de ITF y TNF que provoca una mayor activación de macrófagos y otras células

(tormenta de citoquinas). COX-2: ciclooxigenasa-2; TNF: factor de necrosis tumoral; IL: interleuquina; ITF: interferón. (pp. 116 y 117)

Una característica distintiva del SARS-CoV-2 es la diversidad de células que agrede, como indican Aguilar, Vega y Suclupe, D. (2021, p. 301), este coronavirus causa alteraciones tardías que se pueden desarrollar en el páncreas, riñón, estructuras neurológicas, tiroides e incluso en gónadas. Esto lleva a categorizar a la COVID-19 como una enfermedad sistémica.

Por último, el proceso de endocitosis mediada por receptores es un tipo de transporte activo celular y en el caso del SARS-CoV-2 permite la introducción de la nucleocápside al citoplasma al desplazarse dentro de una vesícula (saco o bolsa) que se forma con parte de la membrana celular y a consecuencia de la interacción de la proteína S viral con el receptor ACE2 celular. El proceso de endocitosis mediada por receptores se explica —de forma general— con base en Jiménez y Merchat (2003) como el proceso por el cual una partícula entra a la célula. Para que esto ocurra debe ser reconocida por los receptores de membrana específicos, lo que origina una invaginación en la membrana plasmática y que rodea a la partícula. Agregan los autores que una vez que esto ocurre se forma una vesícula fagocítica que introduce la partícula al citoplasma. Acerca de la exocitosis, Jiménez y Merchat puntualizan que se produce por una evaginación a partir de una vesícula extracelular que permite la salida del virus hacia el exterior celular.

Esta explicación proporcionada por la ciencia es el fundamento para construir el MCi, su representación gráfica corresponde a la Figura 24 (el formato en tabla comparativa se localiza en el ANEXO 1 con el título ‘Tensión de los constructos MEIi, MCu y MCi’):

Figura 24

MCI con base en la explicación científica desde el dominio de la biología

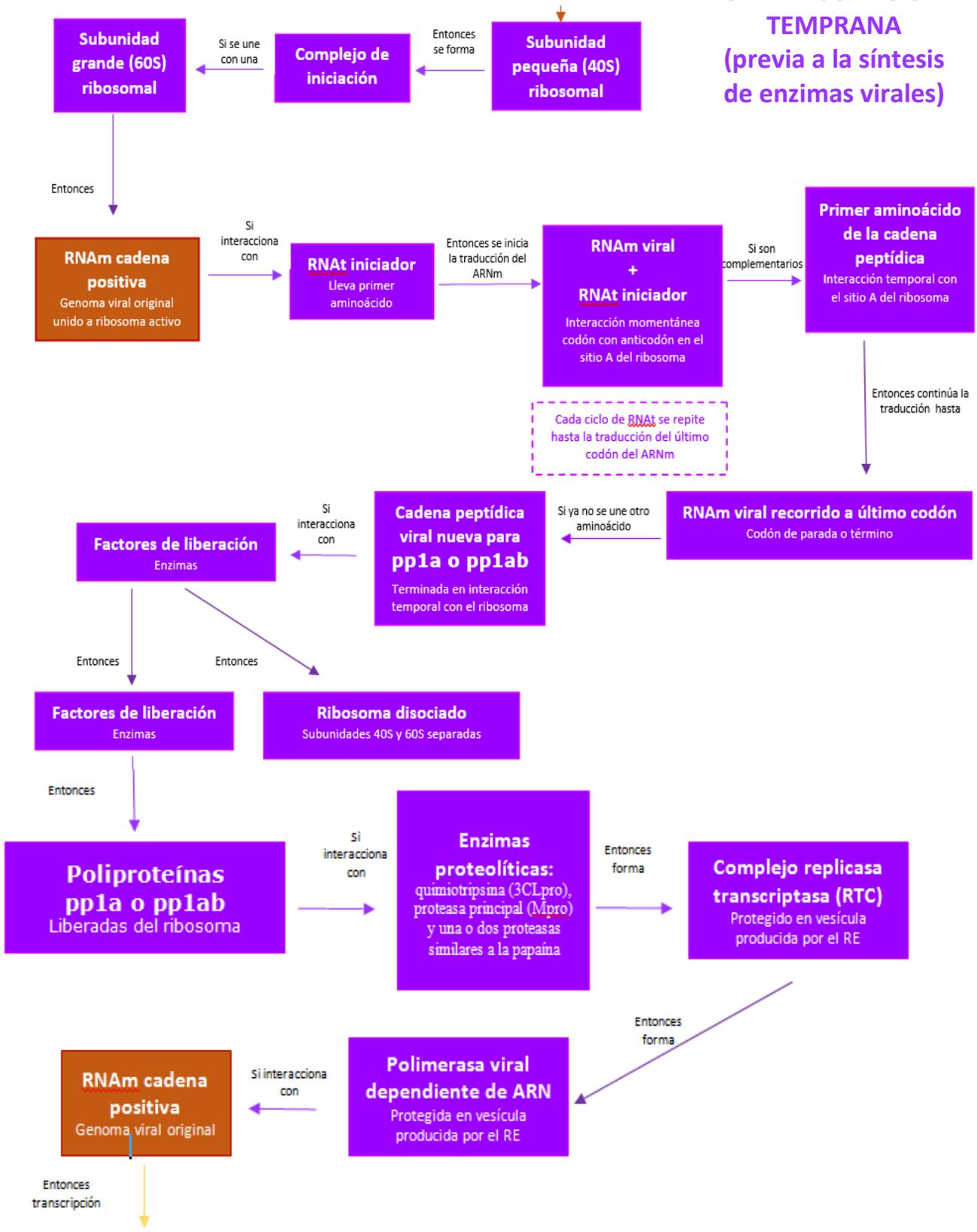
MCI: Diagrama Causa-Efecto

¿Cómo es que el coronavirus SARS-CoV-2 daña las células humanas?

INFECCIÓN VIRAL: CICLO LÍTICO



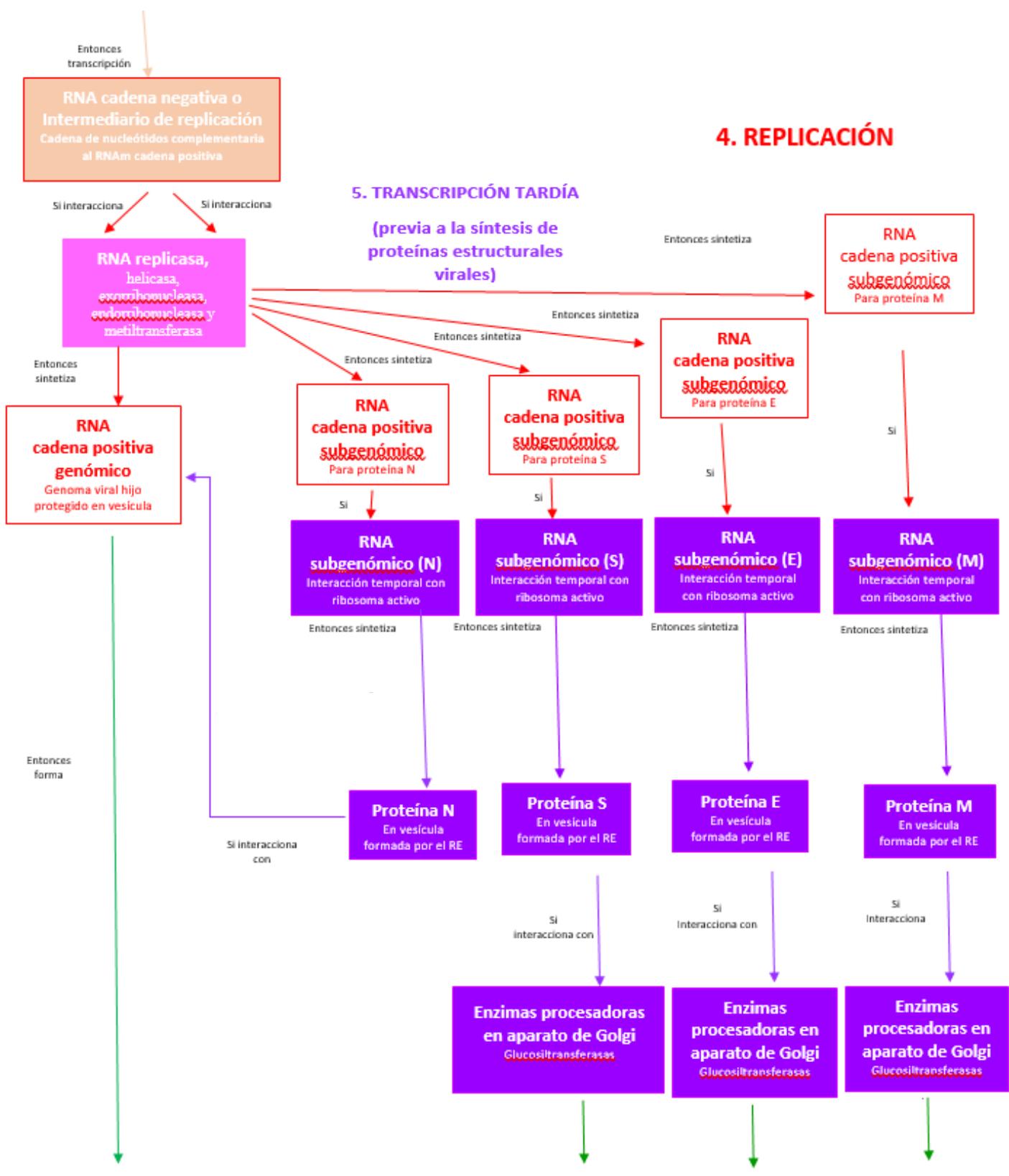
3. TRANSCRIPCIÓN TEMPRANA (previa a la síntesis de enzimas virales)

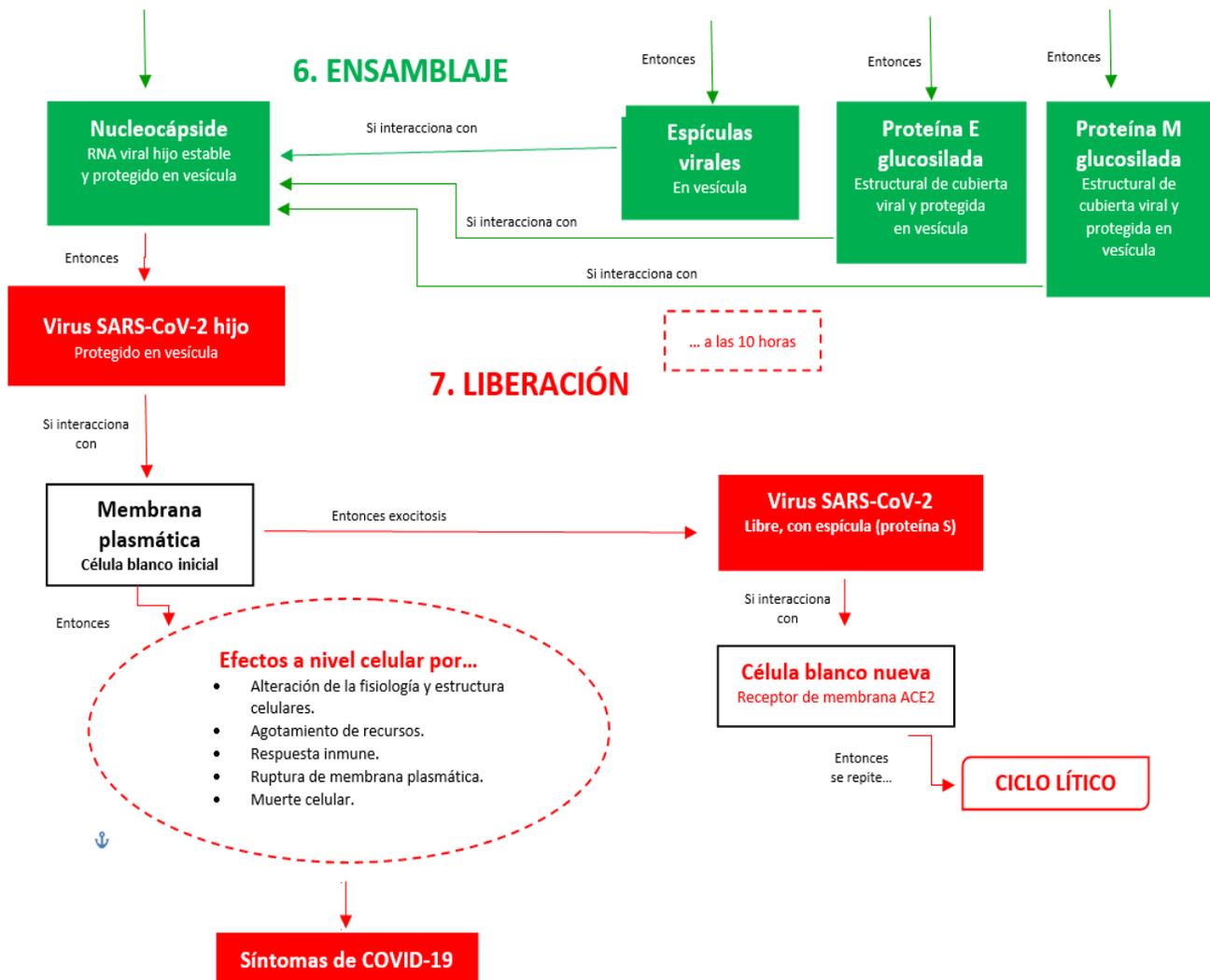


4. REPLICACIÓN

5. TRANSCRIPCIÓN TARDÍA

(previa a la síntesis de proteínas estructurales virales)



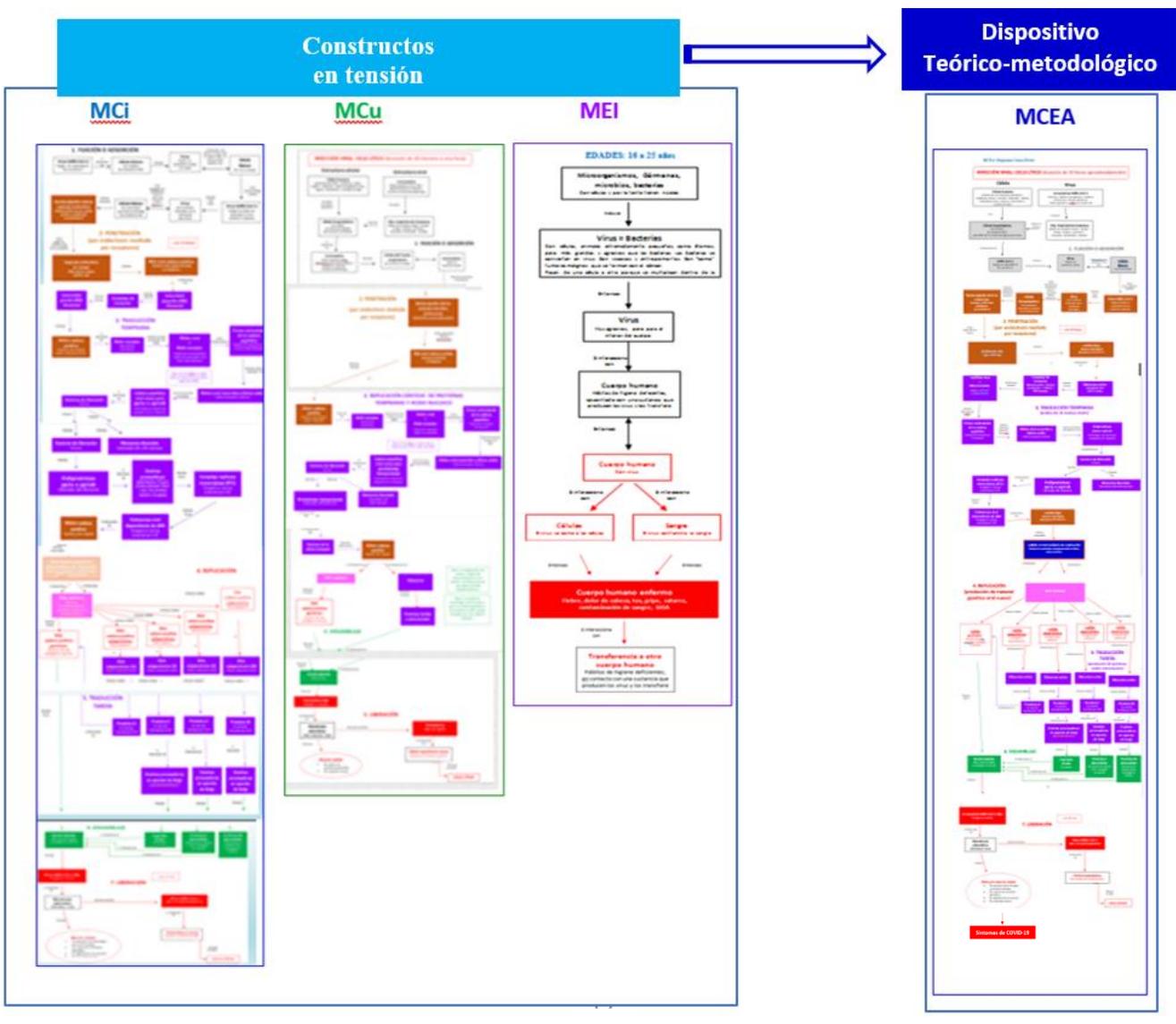


Tensión de los constructos MEII-MCu-MCi

A continuación, en la Figura 25 se muestra —de forma simbólica— los diagramas de causa-efecto MEII, MCu y MCi en tensión o comparación para obtener el MCEA. Este contraste de los constructos fue posible debido a la configuración ya descrita y que llevó a homogeneizarlos, es decir, las explicaciones espontánea estudiantil, curricular y científica fueron transformadas en términos de modelos:

Figura 25

Proceso de comparación de los constructos obtenidos



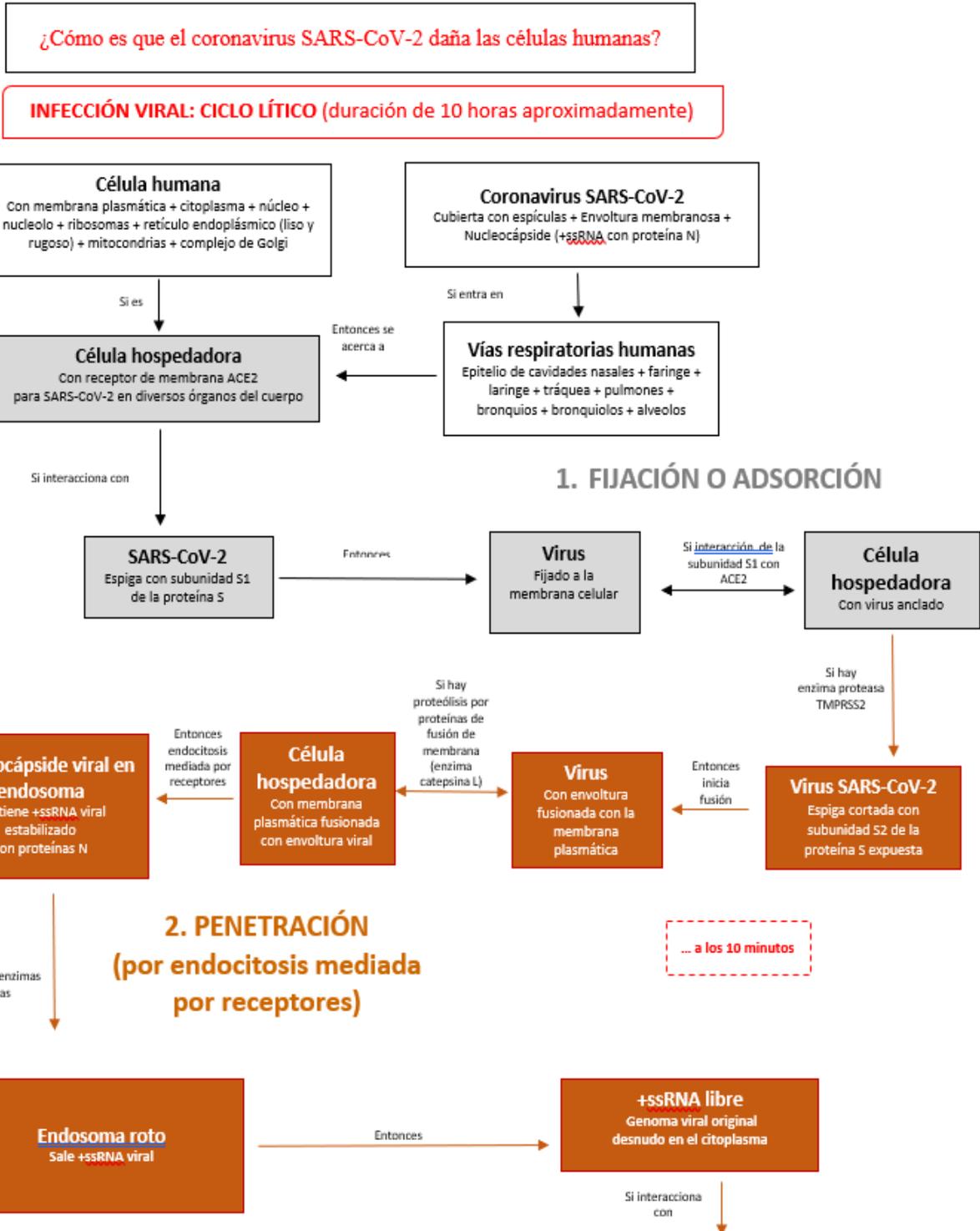
Postulación del MCEA

Como producto del ejercicio de tensión anterior se tiene el MCEA con todos los componentes de la representación abstracta del fenómeno de infección por SARS-CoV-2 en células humanas y que muestra el ideal de construcción de CCE. El formato del MCEA en tabla comparativa se puede consultar en el ANEXO 2 con el título 'Modelo Científico Escolar de Arribo ideal'. En la Figura 26 se muestra la representación gráfica que corresponde:

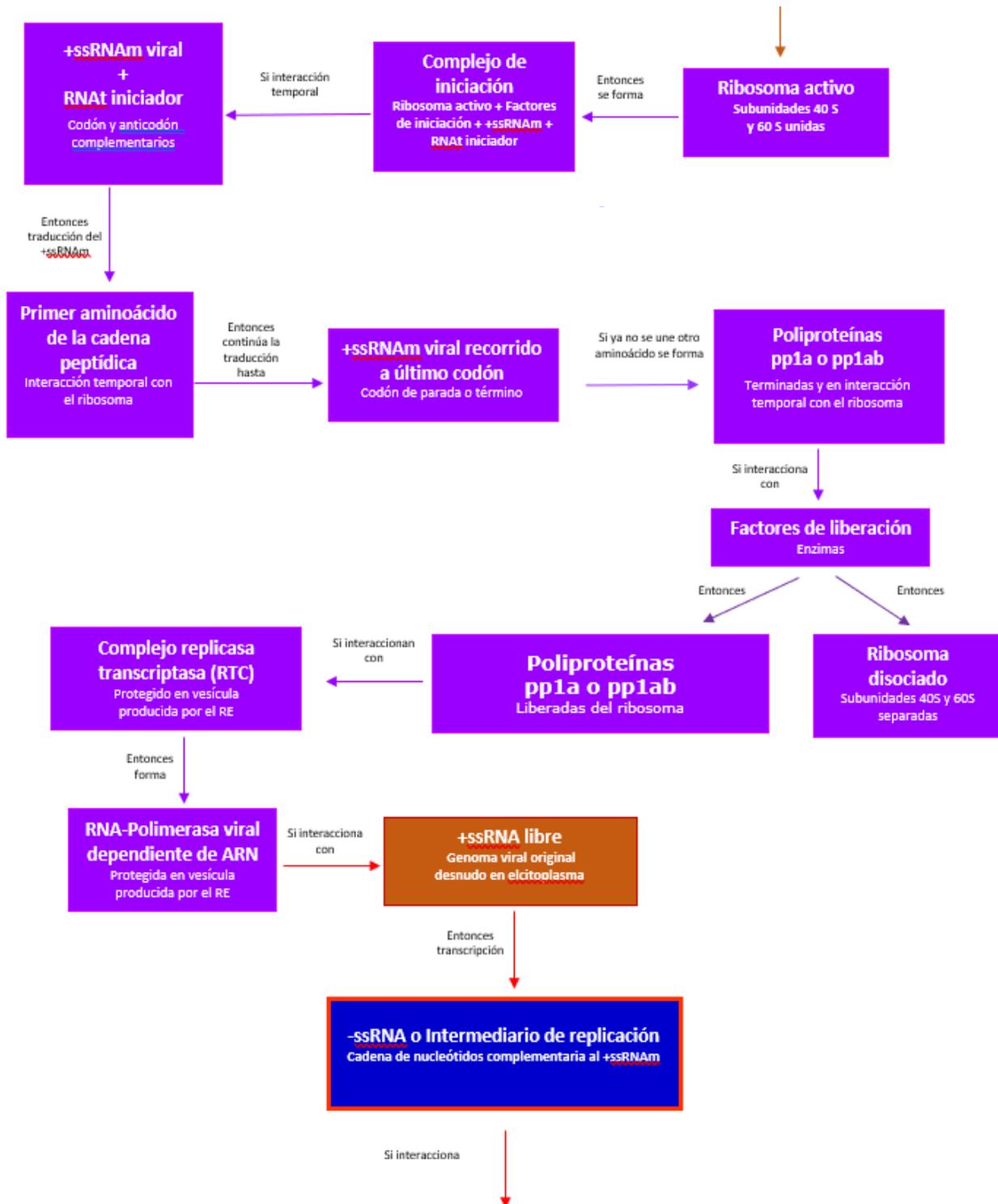
Figura 26

MCEA ideal para explicar el fenómeno de infección por SARS-CoV-2 en células humanas

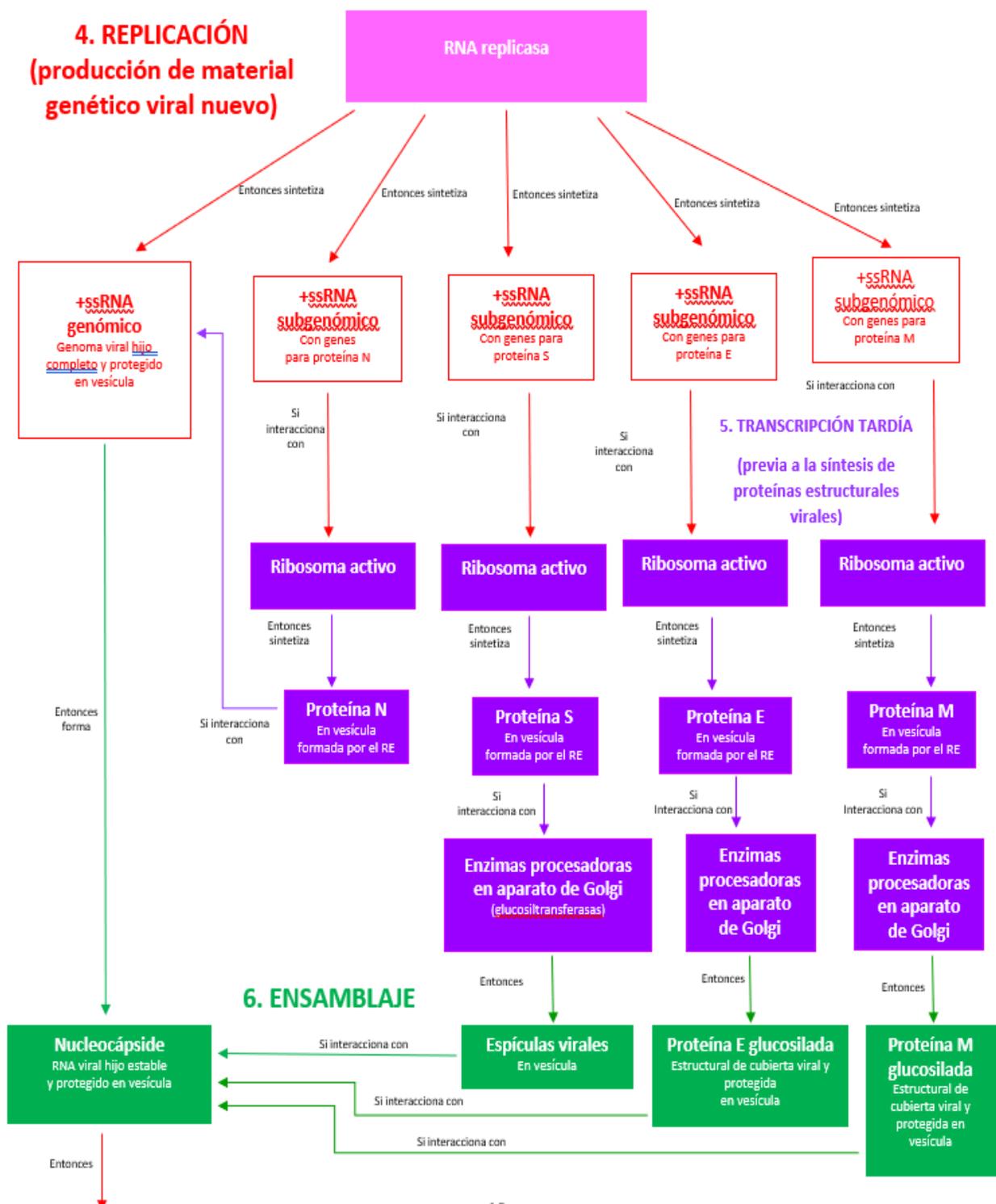
MCEA: Diagrama Causa-Efecto

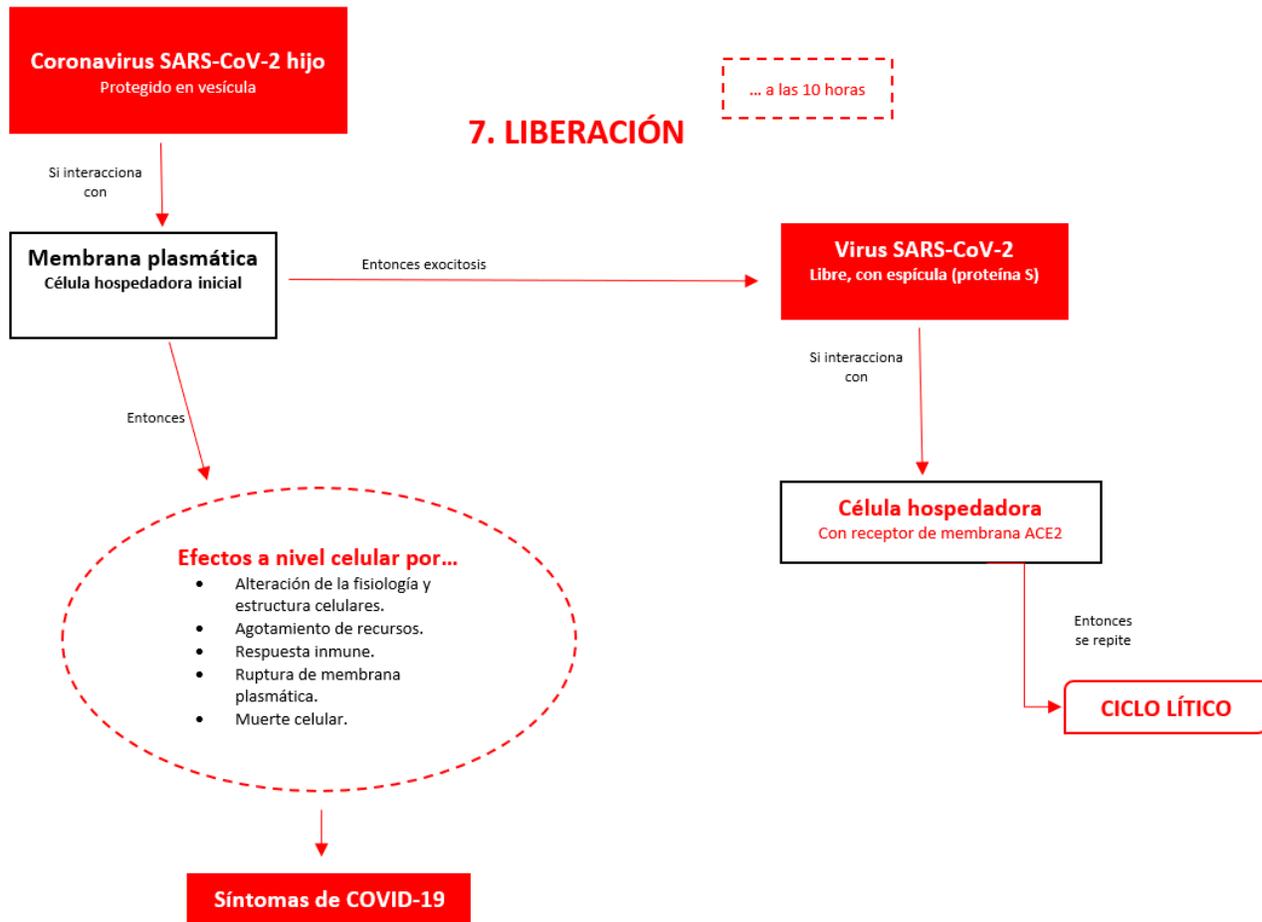


3. TRANSCRIPCIÓN TEMPRANA (previa a la producción de enzimas virales)



4. REPLICACIÓN (producción de material genético viral nuevo)





Como se comprueba con los gráficos, el MCEA tiene las siguientes características:

- Se aleja del MEI/ debido a que éste muestra mínimas entidades válidas, así como confusión en las propiedades y relaciones de causalidad derivadas de ellas, con respecto de las explicaciones de la ciencia estándar.
- Se acerca al MCu, pero es más complejo que éste ya que retoma de él entidades, propiedades y relaciones causales válidas con respecto de las explicaciones científicas. Sin embargo, el MCu conlleva explicaciones generales sobre el proceso de infección viral que son básicas para comprender las alteraciones que causa el patógeno en la célula invadida.

- Se asemeja al MCI en complejidad, pero con un matiz que permitiría la transposición didáctica, esto al atender la gradualidad y profundidad ideal para el nivel educativo.

La complejidad explicativa del MCEA es alta aún y se debe a la especificidad del fenómeno de referencia. Hasta este momento se ha mostrado la obtención del MCEA como dispositivo teórico-metodológico que podría orientar, de forma ideal, el diseño y validación de alguna propuesta didáctica para la mejora de la enseñanza en biología. Pero, aún resta mostrar la forma en como el MCEA además tiene utilidad para estudiar y categorizar los *MEId*. Con este segundo papel del dispositivo se facilita el análisis detallado de las construcciones abstractas de los estudiantes de nivel preparatoria.

Para esta segunda función se requiere ajustar el MCEA ideal con la finalidad de que la comparación de los *MEId* tenga mayor apego a la realidad de las características de las explicaciones espontáneas de los alumnos.

MCEA ajustado

Para matizar el MCEA y tener la posibilidad de utilizarlo como dispositivo de contraste en la descripción los *MEId*, se retomó el formato de tabla comparativa del MCEA ideal (ANEXO 2. 'Modelo Científico Escolar de Arribo ideal'). Con base en dicha tabla fueron seleccionados los elementos del modelo esenciales para la comprensión del fenómeno de infección viral por SARS-CoV-2 cuidando de mantener las DOyE. De tal forma que se obtuvo el MCEA ajustado y que se muestra en la Tabla 8. Para este efecto también se consideran las siguientes condiciones del fenómeno:

- Presencia del SARS-CoV-2 al interior del cuerpo humano.
- Interacción bioquímica del SARS-CoV-2 con las células humanas que tengan el receptor de membrana ACE2.

Tabla 8

MCEA ajustado

ETAPA A) Reconocimiento virus SARS-CoV-2 / Célula hospedadora				
Ámbito	DIMENSIÓN ONTOLÓGICA		DIMENSIÓN EPISTEMOLÓGICA	
	Entidad (partícula no viva, sistema vivo, moléculas y conjuntos de moléculas)	Propiedad (atributos y características)	Relación causa-efecto (interacción entre entidades)	Regla de inferencia (premisas que llevan a una conclusión)
1. Fijación	a) Coronavirus SARS-CoV-2	El SARS-CoV-2 tiene espículas (proteína S con subunidades S1 y S2), envoltura y material genético.	<ul style="list-style-type: none"> Si la proteína S de las espículas del SARS-CoV-2 interacciona con el receptor de membrana ACE2 en la célula hospedadora, la primera se fija o ancla en el segundo y se activa la enzima serina-proteasa transmembrana tipo II (TMPRSS2) que corta o escinde la espícula viral y expone la subunidad S2. 	Cuando numerosos coronavirus SARS-CoV-2 se fijan a células respiratorias con receptor de membrana ACE2, se desarrolla la infección viral en diversos órganos y sistemas del cuerpo humano.
	b) Célula humana hospedadora	La célula hospedadora tiene una membrana plasmática que incluye el receptor de membrana ACE2 (enzima convertidora de angiotensina 2).		
2. Penetración	Nucleocápside viral en endosoma Enzimas proteolíticas	La nucleocápside viral (+ssRNA con proteína N) está protegida dentro de una vesícula o endosoma . Las enzimas proteolíticas rompen enlaces químicos.	<ul style="list-style-type: none"> Si el endosoma interacciona con las enzimas proteolíticas, se rompe y libera el +ssRNA viral original. 	Cuando la penetración del material genético viral ocurre en diversas células, entonces éste puede ser replicado y traducido.

Continúa...

ETAPA B) Replicación viral

Ámbito	DIMENSIÓN ONTOLÓGICA		DIMENSIÓN EPISTEMOLÓGICA	
	Entidad (partícula no viva, sistema vivo, moléculas y conjuntos de moléculas)	Propiedad (atributos y características)	Relación causa-efecto (interacción entre entidades)	Regla de inferencia (premisas que llevan a una conclusión)
3. Transcripción temprana (previa a síntesis)	a) Ribosoma activo +ssRNA viral original libre	El ribosoma activo traduce el material genético viral original. El +ssRNA viral original sin endosoma , tiene una orientación química 5'-3' y es el mensajero (+ssRNAm).	<ul style="list-style-type: none"> Si el Complejo de iniciación traduce los genes del +ssRNAm, se sintetizan las enzimas poliproteínas pp1a y pp1ab (proteínas virales tempranas). Éstas, con intervención del Complejo replicasa transcriptasa (RTC), elaboran la RNA-polimerasa dependiente de RNA. Si la RNA-polimerasa dependiente de RNA transcribe el +ssRNAm original y se elabora el -ssRNA intermediario de replicación. 	Cuando la información genética viral original es traducida por las células, se forman las enzimas y el RNA intermediario que hacen posible la replicación de nuevos SARS-CoV-2.
	b) Poliproteínas pp1a o pp1ab	Las poliproteínas pp1a o pp1ab son enzimas para sintetizar RNA-polimerasa dependiente de RNA.		
	c) RNA-polimerasa viral dependiente de RNA	La RNA-polimerasa dependiente de RNA es una enzima que elabora -ssRNA intermediario de replicación.		

Continúa...

<p>4. Replicación</p>	<p>a) -ssRNA intermediario de replicación b) RNA replicasa</p>	<p>El -ssRNA intermediario de replicación es la transcripción del +ssRNA original y funciona como molde para la síntesis de +ssRNA genómico viral hijo y los +ssRNA subgenómicos.</p> <p>La RNA replicasa es una enzima que sintetiza RNA.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Si el -ssRNA viral intermediario de replicación interacciona con el complejo transcriptasa replicasa (RTC), entonces se sintetizan el +ssRNA genómico viral hijo para la nucleocápside y los +ssRNA subgenómicos para las proteínas tardías estructurales N, S, E y M. 	<p>Si el material genético viral es replicado dentro de las células, entonces se forman el material genético de los virus hijos y el material genético para la síntesis de las proteínas estructurales.</p>
	<p>5. Transcripción tardía (previa a síntesis)</p>	<p>a) Ribosoma activo b) +ssRNA subgenómico para proteína N</p>	<p>El ribosoma activo libera factores de iniciación para la síntesis de proteínas virales N, S, E y M.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Si los +ssRNA subgenómicos son traducidos por los ribosomas, entonces se forman las proteínas tardías estructurales N (de nucleocápside), S (de espícula), E (de envoltura) y M (de membrana) que forman a los virus hijos. • Si las proteínas estructurales S, E y M pasan del RE al complejo de Golgi, entonces son transformadas en glucoproteínas.
<p>+ssRNA subgenómico para proteína S</p>		<p>El +ssRNA subgenómico para proteína N tiene los genes para la síntesis de dicha proteína.</p>		
<p>+ssRNA subgenómico para proteína E</p>		<p>El +ssRNA subgenómico para proteína S tiene los genes para la síntesis de dicha proteína.</p>		
<p>+ssRNA subgenómico para proteína M</p>		<p>El +ssRNA subgenómico para proteína E tiene los genes para la síntesis de dicha proteína.</p> <p>El +ssRNA subgenómico para proteína M tiene los genes para la síntesis de dicha proteína.</p>		

Continúa...

6. Ensamblaje

<p>Nucleocápside del virus hijo</p> <p>Cubierta viral</p> <p>Espículas</p>	<p>La nucleocápside del virus hijo contiene el +ssRNA genómico viral hijo estabilizado con la proteína N. Éste es la réplica del material genético viral original.</p> <p>La cubierta viral está hecha con proteínas estructurales E y M y protege a la nucleocápside.</p> <p>Las espículas, con forma de espina, tienen proteína S (con subunidades 1 y 2) y sobresalen de la cubierta viral.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Si la nucleocápside, las espículas y la cubierta virales interaccionan, entonces se ensambla el SARS-CoV-2 hijo. • Si el SARS-CoV-2 hijo está protegido por una vesícula, entonces es transportado hasta la membrana plasmática. <p>Una vez formados los virus hijos, son transportados a través del citoplasma hasta las membranas de las células infectadas para ser expulsados.</p>
---	---	---

Continúa...

ETAPA C) Virus SARS-CoV-2 hijo

Ámbito	DIMENSIÓN ONTOLÓGICA		DIMENSIÓN EPISTEMOLÓGICA	
	Entidad (partícula no viva, sistema vivo, moléculas y conjuntos de moléculas)	Propiedad (atributos y características)	Relación causa-efecto (interacción entre entidades)	Regla de inferencia (premisas que llevan a una conclusión)
7. Liberación	<p>a) Membrana plasmática</p> <p>b) Coronavirus SARS-CoV-2 hijo ensamblado y en vesícula</p>	<p>La membrana plasmática se fusiona con la membrana de la vesícula que protege al SARS-CoV-2 hijo.</p> <p>El coronavirus SARS-CoV-2 hijo tiene espículas con las que reconoce al receptor de membrana ACE2 en una nueva célula hospedadora.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Si el SARS-CoV-2 es expulsado de la célula por exocitosis, entonces sale al ambiente en las gotículas de saliva y de mucosidad de las vías respiratorias de una persona enferma. • Si el SARS-CoV-2 ingresa al sistema respiratorio de otra persona (nariz, faringe, laringe, bronquios, bronquiolos y alveolos), entonces se puede fijar con sus espículas a una célula hospedadora con el receptor de membrana ACE2 e inicia un nuevo ciclo de infección. 	<p>Los virus utilizan a las células hospedadoras para elaborar nuevos virus, lo que altera el funcionamiento de las células, órganos y sistemas afectados.</p> <p>Si el SARS-CoV-2 replicado es transferido a otra persona mediante gotículas de saliva o de mucosidad, inicia un nuevo ciclo de infección.</p> <p>Las afectaciones provocadas en la célula hospedadora por el ciclo de infección viral por SARS-CoV-2 pueden ser diversos síntomas resultado de la destrucción celular y de la respuesta inmune que desencadena el cuerpo humano para eliminar al virus.</p>

El MCEA ajustado y los niveles de complejidad de los MEId

El MCEA ajustado fue el dispositivo teórico-metodológico necesario para analizar, mediante comparación, los MEId de las explicaciones espontáneas estudiantiles obtenidas con el trabajo de campo. Así, se establecieron, *a priori*, tres niveles de complejidad explicativa fundamentados en los criterios mostrados en la Tabla 9:

Tabla 9

Complejidad posible en los MEId con respecto del MCEA ajustado

Complejidad/Nivel	Indica	Incluye
Básico	Descripción del fenómeno.	Dimensión ontológica (entidades-propiedades).
Intermedio	Descripción y explicación causal del fenómeno.	Dimensión ontológica (entidades-propiedades) y Dimensión epistemológica (relaciones causales).
Avanzado	Descripción, explicación y reconocimiento de un patrón de comportamiento del fenómeno.	Dimensión ontológica (entidades y propiedades) y Dimensión epistemológica (relaciones causales-relaciones funcionales).

Cada nivel de complejidad explicativa involucra un determinado número y clase de componentes o elementos constitutivos de las DOyE que confieren solidez a las explicaciones espontáneas. Con base en lo expuesto, el uso del MCEA permitió describir y categorizar los MEId al identificar los elementos de las DOyE que los integran. En este sentido, la descripción y categorización de los MEId hacen énfasis en cómo está ocurriendo la construcción de conocimiento científico escolar, no en la evaluación cuantitativa o valorativa de éste. El propósito es conocer la manera espontánea de pensar de los estudiantes para imaginar vías de tránsito a formas de pensar más robustas y que puedan construir ellos mismos. De esta forma, se realizó el análisis correspondiente que se incluye en el Capítulo 5. Resultados.

Decodificación/Codificación de datos empíricos y comparación con el MCEA ajustado

Una vez obtenidos los datos empíricos se sistematizaron para su estudio, lo cual se realizó por medio de tablas comparativas sobre las DOyE para interpretar las explicaciones espontáneas estudiantiles y obtener el mayor grado de detalle posible sobre su estructura ontológica y epistemológica. Así, la decodificación de los *datos crudos* consistió en identificar y seleccionar,

caso por caso, las ideas reconocibles como componentes de un *MEId*. Después, para la codificación se concentraron los correspondientes a entidades, propiedades, relaciones de causalidad y relaciones funcionales, para inferir los *MEId* correspondientes. Los datos crudos, en este caso, son los datos originales que requieren de una transformación para obtener la información que será analizada (Sampieri, 2010). Las tablas de la decodificación/codificación se pueden consultar en los apartados ANEXO 3 y ANEXO 4.

Ya hecha la transformación de los datos, se colocaron los elementos del *MEId* en la tabla del MCEA ajustado, se hizo el comparativo, se identificaron los elementos incluidos y los faltantes para asignar el nivel de complejidad explicativa como lo indica la Tabla 9. El tratamiento de contraste resaltó aspectos de las dimensiones presentes en los *MEId* y permitió explorar los posibles niveles que tienen. La categorización permite conocer si los alumnos son capaces de describir, explicar y predecir el comportamiento del fenómeno de infección viral por SARS-CoV-2 y en qué medida lo hacen en función de los elementos ontológicos y epistemológicos que incluyen en su representación mental. Otro aspecto evidenciado con la categorización es si existe o no una comprensión de los referentes conceptuales que utilizan los alumnos, es decir, si son o no capaces de utilizarlos para explicar de forma sustentada el fenómeno de referencia.

Obtención de datos empíricos

Características de los instrumentos

Se elaboraron dos instrumentos para la obtención de los datos empíricos provenientes de las explicaciones espontáneas estudiantiles acerca del fenómeno de infección por SARS-CoV-2 en células humanas. Debido a que el acceso a la muestra de alumnos estuvo restringido por las medidas de distanciamiento social impuestas por la pandemia, los instrumentos se aplicaron en un formato de cuestionarios virtuales. El diseño de la configuración, las preguntas e imágenes fue original y específico para esta investigación. Se incluyeron instrucciones escritas para responder los cuestionarios y durante la aplicación se tuvo el apoyo de la profesora titular de asignatura a quien se le proporcionaron las direcciones electrónicas de alojamiento con la finalidad de que dar el acceso correspondiente a los alumnos.

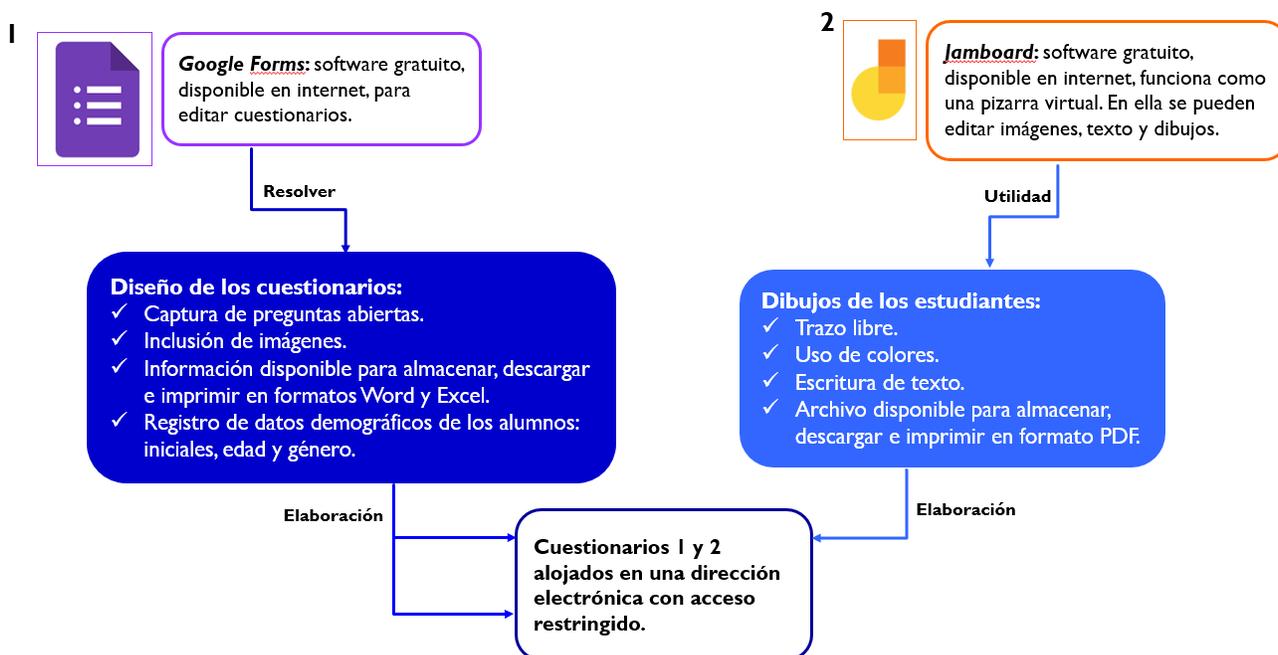
Las herramientas virtuales utilizadas en el diseño, la presentación y aplicación de los instrumentos fueron *Google Forms* y *Jamboard*, éstas resolvieron las necesidades de formato y operatividad requeridas. La aplicación virtual permitió generar la base de datos empíricos en dos

formatos: hoja de cálculo (Excel) para las respuestas capturadas por los estudiantes y archivo de lectura (PDF) en el caso de los dibujos estudiantiles. Es importante mencionar que, dicha aplicación virtual, no permitió contar con los instrumentos impresos en hojas de papel con las respuestas escritas a mano por parte de los alumnos en cada espacio destinado a las respuestas. Derivado de esto, la presentación de los datos empíricos seleccionados en el 'Capítulo 5. Resultados y Análisis' se hizo con las citas textuales de las respuestas estudiantiles acompañadas de imágenes en miniatura de los instrumentos para facilitar el seguimiento del lector. Por otra parte, en los apartados ANEXO 3 y ANEXO 4 se encuentran ejemplos de las tablas comparativas que contienen dichos datos y que sustentan el tratamiento de éstos.

Las características de las herramientas virtuales se muestran en la Figura 27:

Figura 27

Herramientas virtuales usadas en el diseño de los instrumentos



Se decidió elaborar una serie de preguntas abiertas para cada instrumento debido a que, como indican Hernández, Fernández y Baptista (2010), hacen posible reunir información más profunda a partir de las respuestas. Las preguntas en este caso permitieron a los alumnos la libertad necesaria para desarrollar sus explicaciones espontáneas en un contexto apoyado por las imágenes que se les proporcionaron. La redacción de las preguntas se hizo atendiendo a las categorías analíticas derivadas del MCEA y por este motivo los objetivos de los cuestionarios se

complementan: el primero (Figura 28) abordó las condiciones necesarias para que ocurra el fenómeno de referencia; el segundo (Figura 29), los componentes de las DOyE involucradas. En las figuras mencionadas, con fines ilustrativos solo para esta tesis, se remarcó con líneas punteadas de color rojo el carácter abierto de las preguntas.

Las imágenes incluidas en los cuestionarios apoyan el contexto al que remiten las preguntas y fueron elaboradas bajo los requerimientos solicitados —por quien escribe la presente tesis— para esta investigación²⁴: representación de un grupo de adolescentes escolares mixto en un ambiente de alto riesgo de contagio por COVID-19, transmisión del SARS-CoV-2 por dispersión de gotículas (aerosoles) en un espacio cerrado, representación de síntomas frecuentes, así como de una imagen real del coronavirus (Nanographics/Tsinghua University, 2021).

²⁴ Las imágenes que ejemplifican el contexto señalado fueron elaboradas por los ilustradores Roberto Sadí Centeno e Imelda Quintana Martínez, con base en los requerimientos solicitados para la presente investigación.

Figura 28

Cuestionario virtual 1

Objetivo: explorar **cómo reconocen los alumnos el fenómeno** de infección viral por SARS-CoV-2 y las condiciones para que ocurra.

Tipo de preguntas: abiertas, excepto las de los datos demográficos (opción múltiple).

The image shows a virtual questionnaire interface with several sections and annotations:

- Header:** A banner image of students with the text "¿Qué pasa si...?". A callout box labeled "Pregunta generadora e imagen de apoyo" points to this banner.
- Title:** "Encuesta 1/Tiempos de pandemia".
- Metadata:** "Elaboró: Biól. Ana Mendoza" and "Marzo, 2022".
- Target Audience:** "Para alumnos de:" followed by a list: "- Nivel educativo.- Medio Superior", "- Modalidad.- Preparatoria", "- Grado.- Quinto".
- Instructions:** A section titled "Instrucciones generales" containing the text: "Antes de comenzar es necesario que tomes en cuenta lo siguiente: resuelve este cuestionario de forma individual, una vez que inicies debes terminarlo y enviar tus respuestas. Lee con atención cada instrucción y de preferencia usa una computadora y no un celular." A callout box labeled "Instrucciones generales" points to this section.
- Demographic Questions:** Below the instructions, it says "Selecciona las opciones que correspondan con tus datos:". There are two dropdown menus: "Edad *" and "Género *".
 - The "Edad *" dropdown is annotated with a callout box showing its options: "Elige", "15 años", "16 años", "17 años", and "18 años o más".
 - The "Género *" dropdown is annotated with a callout box showing its options: "Elige", "Masculino", "Femenino", "No binario", and "Prefiero no decirlo".

Continúa...

Analiza con atención la siguiente secuencia de escenas y elabora tus respuestas de la forma más detallada posible:

Escena A



Escena B

Unos días después...



1. Describe qué sucedió en la secuencia anterior: *

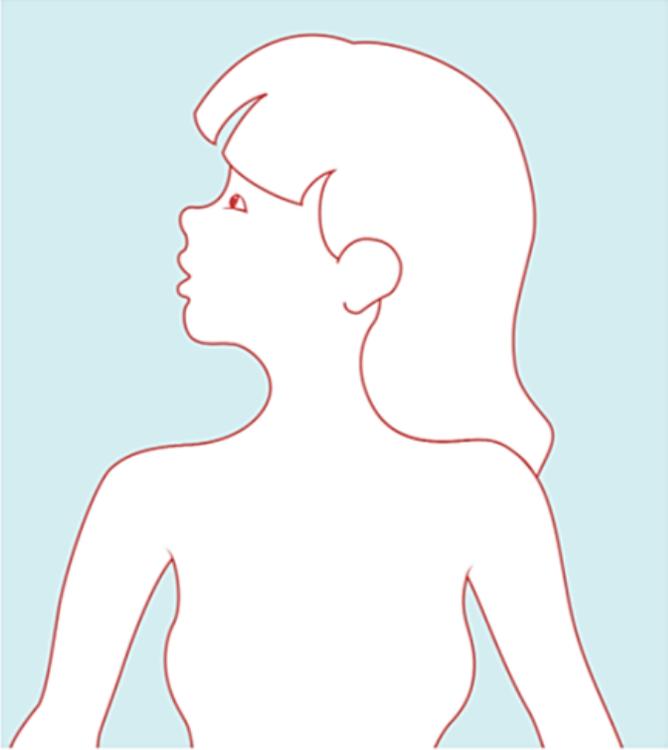
Tu respuesta _____

2. En la silueta humana que se muestra a continuación dibuja lo que necesites para explicar en detalle cómo es que la joven llegó a la condición de la Escena B. Es muy importante que no consultes otras fuentes de información y no utilices imágenes prediseñadas, solo dibuja tu propia explicación. Sigue las instrucciones para hacer tu dibujo:

Continúa...

Silueta de perfil con suficiente espacio para dibujar; corresponde a la alumna que enfermó.

a) Sobre la silueta, con el botón derecho del mouse selecciona 'Guardar como' o 'Descargar' para guardar el archivo; b) abre la pizarra de Jamboard (Google), selecciona 'Añadir imagen' en la barra de herramientas de la pizarra y arrastra el archivo de la silueta para pegarlo en ella; c) al elaborar tu dibujo puedes incluir palabras para complementar; d) también puedes agregar colores.



3. Una vez terminado tu dibujo, con botón derecho del mouse selecciona 'Guardar como PDF'. Nombra el archivo PDF con tus iniciales e insértalo en este espacio:

[⬇ Añadir archivo](#)

Continúa...

Pregunta abierta, sobre el fenómeno de referencia.

4. Por último, describe DETALLADAMENTE lo que muestra el dibujo que realizaste: *

Tu respuesta _____

Pregunta para relacionar con el tiempo promedio.

5. ¿Cuántos minutos estimas que empleaste en resolver este cuestionario? *

Tu respuesta _____

6. ¿Enfrentaste algún problema técnico computacional en la resolución del cuestionario? *

Elige ▼

¡Gracias por responder este cuestionario!

Enviar Borrar formulario

Nunca envíes contraseñas a través de Formularios de Google.

Este formulario se creó en Universidad Pedagógica Nacional. [Notificar uso inadecuado](#)

Google Formularios

Figura 29

Cuestionario virtual 2

Objetivo: explorar **qué entidades, propiedades, relaciones entre entidades y relaciones causales-funcionales incluyen** los alumnos en sus explicaciones sobre el fenómeno de referencia.

Tipo de preguntas: abiertas, excepto las de los datos demográficos (opción múltiple).

The image shows a virtual questionnaire interface. At the top, the title is "Encuesta 2/La pandemia y la salud", followed by "Elaboró: Biól. Ana Mendoza" and "Marzo, 2022". Below this, it specifies the target audience: "Para alumnos de:" followed by a list: "- Nivel educativo.- Medio Superior", "- Modalidad.- Preparatoria", and "- Grado.- Quinto".

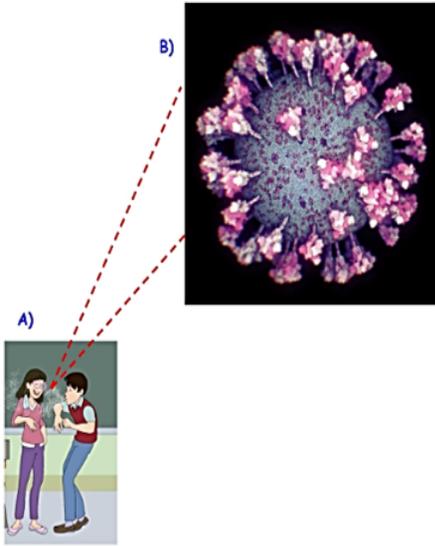
A callout box labeled "Instrucciones generales" points to a section containing the text: "Antes de comenzar es necesario que tomes en cuenta lo siguiente: resuelve este cuestionario de forma individual, una vez que inicies debes terminarlo y enviar tus respuestas. Lee con atención cada instrucción y de preferencia usa una computadora y no un celular." Below this is the instruction: "Selecciona las opciones que correspondan con tus datos:".

Two callout boxes show dropdown menus. The first, labeled "Edad *", shows options: "Elige", "15 años", "16 años", "17 años", and "18 años o más". The second, labeled "Género *", shows options: "Elige", "Masculino", "Femenino", "No binario", and "Prefiero no decirlo".

At the bottom, there is a question: "Escribe TODAS las iniciales de tu nombre completo (ejemplo: si el nombre es Carmen Gisela Zárate Barranco, todas las iniciales son CGZB):" with an asterisk indicating it is required. Below the question is a text input field labeled "Tu respuesta".

Continúa...

Analiza con atención la imagen B, la cual es una ampliación de A. Desarrolla tus respuestas con el mayor DETALLE posible.



1. a) ¿Qué muestra la imagen B?; b) ¿qué efecto puede producir esta entidad en el cuerpo humano? *

Texto de respuesta larga

2. a) ¿Qué elementos reconoces en la imagen B?; b) ¿qué características piensas que tiene cada uno de ellos? *

Texto de respuesta larga

Ilustraciones que muestran en primer plano al coronavirus SARS-CoV-2. Sin distractores.

Preguntas 1, 2, 3 y 4, abiertas, sobre el fenómeno de referencia.

Información de confiabilidad.

3. ¿Con qué interacciona directamente, en el interior del cuerpo humano, la entidad que identificaste en la pregunta 1? *

Tu respuesta

4. ¿Qué pasa en aquello que mencionaste del interior del cuerpo humano, ante la presencia de la entidad identificada en la pregunta 1? *

Tu respuesta

5. ¿Cuántos minutos estimas que empleaste en resolver este cuestionario? *

Tu respuesta

¡Gracias por responder este cuestionario!

Enviar

Borrar formulario

Nunca envíes contraseñas a través de Formularios de Google.

Este formulario se creó en Universidad Pedagógica Nacional. [Notificar uso inadecuado](#)

Google Formularios

Capítulo 5

Resultados y Análisis

En una primera etapa de revisión de los datos empíricos crudos obtenidos a partir de la muestra de alumnos, y una vez realizada la correspondiente decodificación/codificación, quedó expuesto el panorama general sobre los MEId. Éste muestra que, en el procesamiento inicial de los datos, el 61% de los casos (22/36) puede describir el fenómeno de infección por SARS-CoV-2 en células humanas, el 31% (11/36), lo describe y explica y, el 8% (3/36), lo describe, explica y predice. Como parte de esta primera revisión general, se incluyen tres casos llamados *estimados*. Una vez terminada dicha revisión, en una segunda etapa, fueron seleccionados tres casos más —denominados *casos-tipo*²⁵—, estos últimos cumplen con el mayor acercamiento a la categorización detallada de cada uno de los niveles de MEId —Básico, Intermedio y Avanzado— que corresponden a la complejidad de las abstracciones elaboradas por los alumnos.

El examen de los ejemplos de MEId llevó a la descripción y categorización de las explicaciones espontáneas de educandos que, en la actualidad, igual que el resto de las personas, viven la experiencia de la pandemia por COVID-19. Esto permitió hacer un ordenamiento de las evidencias que ayudan a dar cuenta de la configuración y comportamiento de dichos modelos. Los tres casos-tipo que se abordan dan pautas sobre el conocimiento espontáneo que presentan algunos adolescentes escolares de preparatoria —y que han cursado la asignatura Biología IV— para comprender la presencia y efectos del SARS-CoV-2 en el cuerpo humano. En el proceso analítico ha sido esencial el dispositivo teórico-metodológico MCEA ajustado por las funciones que tiene —si bien no todas expuestas aquí— como constructo para validar la hipótesis directriz sujeta a comprobación, proporcionar una vía para derivar las CA, contar con el referente de contraste para describir y clasificar los MEId, así como aportar información con posible utilidad en la DC.

En cada uno de los tres casos-tipo incluidos en este capítulo se presenta el MEId correspondiente, organizado con base en las CA derivadas del MCEA ajustado, la categorización llevada a cabo al aplicar los niveles de conocimiento indicados en la Tabla 9 (ver Capítulo 4. Diseño Metodológico), así como la discusión de la descripción obtenida y que aporta pruebas para

²⁵ En investigaciones cualitativas, la selección de casos-tipo permite analizar con profundidad la riqueza y calidad de la información obtenida ya que el énfasis no está en la cantidad o estandarización (Sampieri, 2010).

dilucidar el nivel de confirmación de la hipótesis aquí planteada. Debido a que el estudio es descriptivo la atención está en dichos casos-tipo de MEId con posibilidad de aportar elementos de prueba que amplíen el conocimiento sobre las formas espontáneas del pensamiento de los educandos acerca del fenómeno de referencia.

Descripción del ejercicio analítico

La explicación científica universitaria, desde el dominio de la biología, aporta el modelo teórico para comprender el fenómeno de infección por SARS-CoV-2 en células humanas. El MCi obtenido a partir de ella representa la estructura abstracta de conocimiento que es transpuesto al ámbito didáctico con ayuda del MCu y el MEI. Como resultado se infiere un MCEA ideal y, a partir de éste, el MCEA ajustado como propuesta para la enseñanza de este fenómeno en el aula. Por lo tanto, quedan en evidencia los elementos del modelo teórico biológico que permiten orientar la construcción de CCE y cuyas funciones son la descripción, explicación y predicción del fenómeno de referencia.

La interpretación de los datos, como sugiere Bunge (2003) debe hacerse desde el sustento teórico asumido. Por esta razón, los componentes del MCEA ajustado proporcionan las CA indispensables, tanto para la sistematización de los datos empíricos reunidos como para su análisis e interpretación en términos de modelos (ver Tabla 8 del Capítulo 4. Diseño Metodológico). Esto, de acuerdo con el concepto de modelo retomado de Gutierrez (2014). Las entidades, propiedades y relaciones de causa-efecto, así como las relaciones funcionales que se resaltan en el MCEA ajustado son la estructura cognitiva utilizada para analizar los MEId. Por tal razón, es posible identificar los aspectos ausentes, no consolidados, presentes o en proceso de construcción de las DOyE de los alumnos y establecer niveles de comprensión útiles (ver Tabla 9 del Capítulo 4. Diseño metodológico), para identificar posibilidades de mejora didáctica.

En cuanto al conocimiento científico básico requerido para comprender el fenómeno de referencia, se encuentra sintetizado a continuación:

- *Entidades* con una conformación y estructura molecular distintivas: coronavirus SARS-CoV-2 con espículas de proteína *spike* (S); células humanas internas con receptor de membrana ACE2 y una maquinaria que puede ser utilizada por el coronavirus para replicarse.

- *Interacción entre entidades:* el reconocimiento virus/célula hospedadora, la traducción del material genético viral, la replicación viral y la formación de los nuevos virus ocurre solo con la participación de macromoléculas, como son el material genético viral, enzimas, diversas proteínas y organelos celulares.
- *Comportamiento general:*
 - a) El coronavirus SARS-CoV-2 lleva a cabo un proceso de infección llamado ciclo lítico. Éste es repetitivo y producto de una interacción molecular virus/célula hospedadora.
 - b) El ciclo lítico se desarrolla con la sucesión de varias etapas en las cuales la interacción molecular desencadena eventos bioquímicos especiales que involucran desde el reconocimiento virus/célula hospedadora, hasta el ensamblaje de los nuevos virus.
 - c) El SARS-CoV-2 altera el metabolismo celular lo cual causa daño y destrucción en la célula hospedadora. Esto produce un conjunto de síntomas distintivos de la COVID-19.
 - d) El SARS-CoV-2 en los aerosoles expulsados por una persona enferma puede contagiar a otra persona.

Con base en lo mencionado se resalta que, para que el alumno comprenda la producción de los SARS-CoV-2 hijos, es preciso, primero, que haga un proceso de abstracción sobre las entidades participantes en el fenómeno de referencia y sus características. Es decir, que construya el significado de SARS-CoV-2 y de célula con receptor de membrana ACE2 para que puedan ser definidas, o sea, descritas. Una vez que el estudiante reconoce las entidades participantes en el fenómeno de referencia, estará en condiciones de interpretar por qué y cómo interaccionan entre sí y qué efectos se pueden producir. El proceso de abstracción conlleva también que los alumnos reconozcan y comprendan al menos las características generales de las entidades moleculares fundamentales que participan en dicha interacción. Una vez logrado lo anterior, se incrementaría la posibilidad de que los educandos relacionen por qué el coronavirus agrede a un determinado tipo de células humanas, cuáles son las alteraciones consecuentes y cuál es el origen de la alta diversidad de síntomas de la enfermedad COVID-19. De igual forma, si los alumnos han encontrado significado al CCE construido, puede esperarse que las explicaciones espontáneas sean

más coherentes con base en el razonamiento y les permitan tener mejores referentes para la toma de decisiones preventivas de la enfermedad.

Es evidente que la explicación científica, y por ende la explicación científica escolar, tienen componentes ontológicos y epistemológicos para describir, explicar y predecir el comportamiento general del fenómeno seleccionado. En comparación con ellas, las explicaciones espontáneas estudiantiles solo muestran el desarrollo de algunos aspectos de las DOyE requeridas e incluso este desarrollo es parcial y débil. De acuerdo con lo descrito y para hacer la inferencia de estas dimensiones a partir de las explicaciones espontáneas de los estudiantes, se procedió conforme a la metodología explicada en el Capítulo 4. A continuación, se desglosa con detalle el trabajo correspondiente.

Para el registro y organización de los datos se generaron los archivos correspondientes en hojas de cálculo, esto debido a que se optó por utilizar un formato de tablas comparativas que permitiera recuperar los datos empíricos crudos a partir de las respuestas reunidas con las encuestas virtuales 'Cuestionario 1. Tiempos de pandemia' y 'Cuestionario 2. La pandemia y la salud'. De esta forma, se facilitó la identificación de las características de las explicaciones espontáneas, en términos de modelos, y se propició el contraste necesario con el MCEA ajustado que diera lugar al análisis de la información. Los pasos llevados a cabo con esta finalidad son los que se describen a continuación:

Paso 1. Decodificación/Codificación. Las explicaciones espontáneas estudiantiles fueron extraídas de los instrumentos virtuales que contestaron los alumnos y se encuentran citadas de forma textual, resaltadas con tipografía cursiva en las tablas comparativas diseñadas previamente. Una vez hecho esto —para la decodificación— se realizó una lectura cuidadosa de las respuestas textuales y **se remarcó con tipografía cursiva *bold* (negrilla) cada idea y expresión equiparables a los elementos ontológicos y epistemológicos que integrarían un MEId.** Asimismo, se identificó si los estudiantes reconocían las condiciones en las que ocurre el fenómeno de referencia. Este ejercicio se continuó con la codificación de los datos al permitir resaltar las posibles entidades, propiedades, relaciones entre entidades y relaciones funcionales presentes en las abstracciones de los educandos. Esto es, el Paso 1 fue esencial para armonizar la naturaleza ontológica de las explicaciones espontáneas estudiantiles, con la naturaleza ontológica del modelo mental, y obtener los elementos del constructo MEId. En este paso, además, se eliminaron ideas que no correspondían con las CA consideradas en las preguntas de los instrumentos.

Paso 2. Depuración de datos codificados. Fueron seleccionados —del paso anterior— los elementos de las DOyE del posible MEId y las condiciones en las que sucede el fenómeno de referencia. Esta selección se hizo tomando en cuenta los elementos esperados de acuerdo con las CA y los elementos extraídos de las explicaciones espontáneas estudiantiles. El ejercicio quedó registrado, al igual que en el paso 1, en un conjunto de tablas comparativas elaboradas para este fin. **La tipografía utilizada en este paso fue sin cursivas, pero conservando el remarcado en *bold* para resaltar.**

Paso 3. Inferencia de los MEId. Se colocaron los elementos del MEId en la tabla del MCEA ajustado (ver Tabla 8 en el Capítulo 4. Diseño Metodológico) para hacer el comparativo entre ambos, tomando en cuenta la estructura cognitiva que presentan. Con ello se identificaron los elementos incluidos y los faltantes en el MEId para, en el paso siguiente, asignar el nivel de complejidad explicativa²⁶ con base en las DOyE presentes en las abstracciones de los educandos.

Paso 4. Caracterización y descripción del MEId inferido. Comparación del MEId con las características indicadas en la Tabla 9 (ver Capítulo 4. Diseño Metodológico). Este paso hizo posible la categorización de los constructos estudiantiles obtenidos para continuar con el análisis correspondiente.

Acerca de las tablas comparativas obtenidas con los pasos 1 y 2, los ejemplos se encuentran en el apartado ANEXOS del presente documento. De igual forma, durante el desarrollo de las explicaciones que siguen a esta sección se hace referencia a ellas como parte fundamental del sustento empírico requerido.

Primera etapa de revisión de los datos empíricos

Una vez obtenidas las explicaciones espontáneas de los educandos por medio de los instrumentos virtuales ‘Cuestionario 1. Tiempos de pandemia’ y ‘Cuestionario 2. La pandemia y la salud’ se procedió con la primera etapa de revisión de los datos empíricos crudos. Esta consistió en la decodificación/codificación de dichos datos (Paso 1), así como en la depuración de los mismos ya codificados (Paso 2). Dicha primera etapa se aplicó a las explicaciones espontáneas de los 36 estudiantes que conformaron la totalidad de la muestra y permitió incrementar la posibilidad

²⁶ La presente tesis tiene sustento teórico en la construcción de conocimiento en términos de modelos. Así, los modelos son expresiones del conocimiento de los sujetos y en este contexto se hace referencia a niveles de complejidad explicativa como resultado de la comprensión estudiantil, en este caso, de un fenómeno natural.

de explorar las formas espontáneas del pensamiento estudiantil presentes sobre el fenómeno de referencia. El aporte obtenido fue una perspectiva general sobre las características ontológicas y epistemológicas en las abstracciones de los alumnos y que, al mismo tiempo, hizo posible el conteo de los casos existentes en la muestra no estadística.

La atención en la revisión estuvo centrada en identificar las semejanzas y diferencias que mostraba la complejidad de las explicaciones espontáneas de los educandos. Es decir, en evidenciar los elementos de las DOyE mínimos reconocibles. De esta forma, se resaltaron suficientes casos para comprobar la posible existencia de cada uno de los tres niveles de complejidad explicativa propuestos. Pues como ya se mencionó al iniciar este capítulo: 61% de los casos (22/36) refleja una descripción general del fenómeno de infección por SARS-CoV-2 en células humanas y, por lo tanto, están en el nivel Básico; el 31% (11/36), además de describir, logra explicar de manera incipiente el fenómeno de referencia; por último, el 8% (3/36), lo describe, explica y da indicios de predecir un comportamiento del fenómeno en términos notoriamente elementales.

Con la primera aproximación a los datos crudos se evidenciaron los componentes mínimos existentes en los MEId de la muestra de alumnos participantes, y se consideró a los 36 casos como estimados. Con tal evidencia fue factible seleccionar tres de ellos que reflejan la complejidad de los MEId con mayor detalle. A continuación, se presentan los casos estimados números 12, 21 y 26 como ejemplo de tal aproximación a cada nivel de complejidad explicativa propuesto —Básico, Intermedio y Avanzado— con base en la aplicación de los pasos 1 y 2.

Para continuar, es conveniente aclarar que, en cada paso del análisis de las explicaciones espontáneas estudiantiles, se incluyen los siguientes elementos para facilitar el seguimiento de las explicaciones correspondientes para el lector:

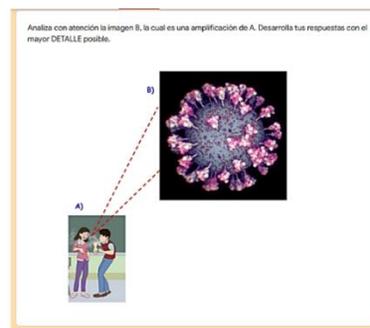
- Las preguntas más integradoras y relevantes de los instrumentos aplicados, acompañadas con miniaturas²⁷ de las imágenes retomadas de las páginas de esta tesis:

²⁷ Las imágenes en miniatura, insertadas en este capítulo, tienen fines ilustrativos y no requieren de una numeración, a diferencia de las figuras de apoyo para las explicaciones que sí cuentan con una referencia numérica.

Miniatura Cuestionario 1 (p. 166)



Miniatura Cuestionario 2 (p. 170)



- Extractos textuales, entrecuillados y en cursivas, de las respuestas de los educandos a dichas preguntas y el dibujo que se solicitó elaborar a cada alumno. Dichos extractos están señalados con las iniciales RT (respuesta textual).
- Enseñada de cada RT, se encuentra la interpretación de quien escribe la presente tesis. Tal interpretación está señalada como I (interpretación).

Estimación de un ejemplo de MEId Básico – Alumno Caso 12 (17 años)

Los datos empíricos decodificados y codificados del Caso 12 están detallados en el ANEXO 3, en la tabla 'Inferencia del MEId Básico: Alumno Caso 12', pp. 310-313. Éstos sustentan que el alumno del Caso 12 da una explicación natural con dificultades notorias por la inclusión mínima de elementos de las DOyE para exponer el fenómeno de infección por SARS-CoV-2 en células humanas. Incluso la explicación elaborada por el estudiante es breve en su extensión, situación que se examina en las líneas siguientes.

Paso 1. Decodificación/Codificación. Identificación de ideas y expresiones que pueden ser equiparables a elementos de las DOyE y condiciones en que ocurre el fenómeno de referencia.

Cuestionario 1. Percepción estudiantil sobre cómo ocurre la infección por SARS-CoV-2. Se le mostraron al estudiante las escenas y se le pidió responder a las preguntas:



Pregunta 1. Describe qué sucedió en la secuencia anterior:

RT.- “Al no estar usando las medidas de seguridad, en este caso el cubrebocas, **se contagió.**”

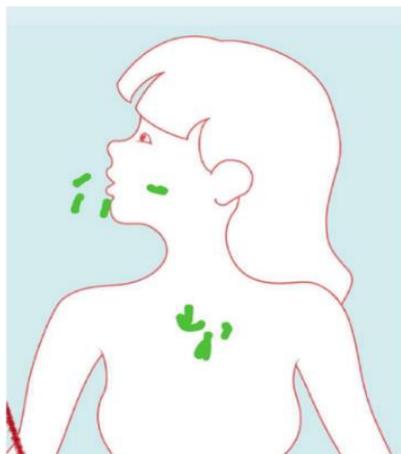
I.- El educando intuye una transmisión, pero no involucra a las gotículas de saliva.

Pregunta 4. Por último, describe DETALLADAMENTE lo que muestra el dibujo que realizaste:

RT.- “**Entra el organismo al sistema y empieza a atacar el cuerpo haciéndonos enfermar**”, acompañada por la Figura 30.

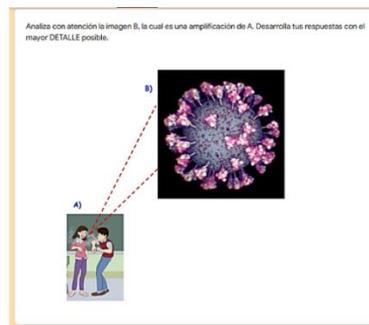
Figura 30

Dibujo elaborado por el Alumno del Caso12



I.- El dibujo del alumno solo muestra líneas que indican la entrada de algún elemento desde el ambiente hacia el cuerpo humano, a través de la boca, sin indicar de manera explícita si se trata de un virus y sin incluir entidades internas, por ejemplo, órganos y células. Las líneas en color verde parecen representar el patógeno, pero sin corresponder a la forma esférica del virus SARS-CoV-2. Incluso se puede pensar que representan flemas.

Cuestionario 2. Identificación de entidades, propiedades, relaciones causa-efecto y reglas de inferencia. Se le mostró al estudiante la imagen real del SARS-CoV-2 y se le solicitó responder a las preguntas:



Pregunta 1. ¿Qué muestra la imagen B?; b) ¿Qué efecto puede producir esta entidad en el cuerpo humano?

RT.- “*Un virus y puede llegar a ser muy peligroso por las afecciones que pueda provocar al cuerpo.*”

I.- En este cuestionario, el alumno ya relaciona la imagen con un virus, pero no reconoce el tipo de patógeno en específico.

Pregunta 2. a) ¿Qué elementos reconoces en la imagen B?; b) ¿qué características piensas que tiene cada uno de ellos?

RT.- “*Es un virus*”

I.- El educando no reconoce las partes de la estructura viral.

Pregunta 3. ¿Con qué interacciona directamente, en el interior del cuerpo humano, la entidad que identificaste en la pregunta 1?

RT.- “*Con los pulmones y vías respiratorias.*”

I.- No hay mención, por parte del alumno, de las células vulnerables al virus, solo parece que tiene una concepción macroscópica del proceso de infección.

Pregunta 4. ¿Qué pasa en aquello que mencionaste del interior del cuerpo humano, ante la presencia de la entidad identificada en la pregunta 1?

RT.- “*El sistema de defensa del cuerpo empieza a tratar de identificarlo y si no lo hace lo elimina.*”

I.- El alumno no explica qué ocurre en los pulmones y vías respiratorias, pero hace un cambio en la respuesta y la relaciona con la respuesta inmunológica ante la presencia del virus. Esto indica un intento por completar la explicación.

Paso 2. Depuración de datos codificados. Selección de elementos de las DOyE y condiciones en las que ocurre el fenómeno de referencia, con base en los términos remarcados en el paso anterior y los elementos incluidos en el dibujo del alumno. La autora de esta tesis, con base en dicha selección, elabora la interpretación siguiente:

- *Condiciones en las que ocurre el fenómeno de referencia:* el **virus** pasa de una persona a otra, entra al cuerpo por la **boca** y llega a las **vías respiratorias y pulmones**. El alumno identifica ambas condiciones para que ocurra el fenómeno de infección viral, pero no puede avanzar en la explicación del proceso.
- *Entidades:* **virus, boca, vías respiratorias, pulmones**. El estudiante no incluye la entidad célula.

- *Propiedades*: el **virus** es **contagioso** y **muy peligroso**. Estas características asignadas al virus por el alumno denotan referentes a nivel de experiencia cotidiana (evidente y macroscópica), pero no hay elementos a nivel microscópico para elaborar una descripción general, al menos del virus y los pulmones. El educando no explica las características distintivas del virus, por ejemplo, las de la estructura. Esto es significativo porque al desconocer la composición básica de un virus el estudiante no está en posibilidades de reconocer cómo es que afecta a las células y por ende a los órganos del cuerpo humano.
- *Interacción entre entidades*: el **virus ataca** el interior del **cuerpo** humano. El estudiante no identifica una interacción como tal, solo expone que el virus está dentro del organismo y eso lo afecta.
- *Relaciones causales y funcionales*: están ausentes porque no hay elementos que expliquen los procesos que ocurren durante la interacción del virus, en primer momento, al menos con los pulmones. Existe un salto en la explicación natural del estudiante ya que concluye que hay un **virus** peligroso y **que causa una enfermedad**. Incluso menciona que el sistema de defensa del organismo comienza identificarlo, pero si no lo logra, elimina al virus. En esta última parte de la explicación hay una confusión ya que el sistema inmunitario (de defensa como lo llama el alumno) sí identifica bioquímicamente a los agentes ajenos al cuerpo como un antígeno, con ello se desencadena una respuesta inmunitaria.

El análisis expuesto indica que el estudiante vincula la existencia de un virus con el origen de una enfermedad, pero no desarrolla una explicación con elementos de las DOyE suficientes que den sustento y coherencia para comprender el vínculo entre el patógeno y el padecimiento, ni la serie de eventos que ocurren a niveles celular y molecular como consecuencia. Tampoco identifica al SARS-CoV-2 ni nombra la enfermedad COVID-19. Dado que el estudiante identifica de manera simple las dos condiciones en las que ocurre el fenómeno de infección viral en general y relaciona la existencia de un virus con una posible enfermedad, se considera que el MEI_d del caso 12, aunque de manera elemental, solo describe el fenómeno de infección y le correspondería —de manera estimada— el nivel Básico.

Estimación de un ejemplo de MEId Intermedio – Alumno Caso 21 (16 años)

Los datos empíricos decodificados y codificados del Caso 21 completos están disponibles en el ANEXO 3, en la tabla ‘Inferencia del MEId Intermedio: Alumno Caso 21’, pp. 314-317. Con base en ellos, se interpreta que el alumno del Caso 21 elabora una explicación espontánea más completa en comparación con el caso 12 porque incluye, además de otros elementos ontológicos, un esbozo de las propiedades que corresponden a las entidades que identifica. No obstante, también están presentes algunas dificultades para explicar el fenómeno de infección por SARS-CoV-2 en células humanas con la profundidad requerida idealmente para el nivel de preparatoria. Las evidencias se incluyen a continuación.

Paso 1. Decodificación/Codificación. Identificación de ideas y expresiones armonizables con los elementos ontológicos y epistemológicos, así como las condiciones necesarias para que ocurra el fenómeno de referencia.

Cuestionario 1. Percepción estudiantil sobre cómo ocurre la infección por SARS-CoV-2. Se le mostraron al estudiante las escenas y luego respondió las preguntas:



Pregunta 1. Describe qué sucedió en la secuencia anterior:

RT.- “Primero se les dijo que estábamos en pandemia y **que teníamos que guardar sana distancia y hacer caso a las medidas que se dieron como el uso correcto de cubrebocas y no se respetó ninguna de las dos cosas, ni el uso del cubrebocas ni la sana distancia y días después por lo que se da a entender a una de las chavas le dio covid, por no seguir indicaciones”**

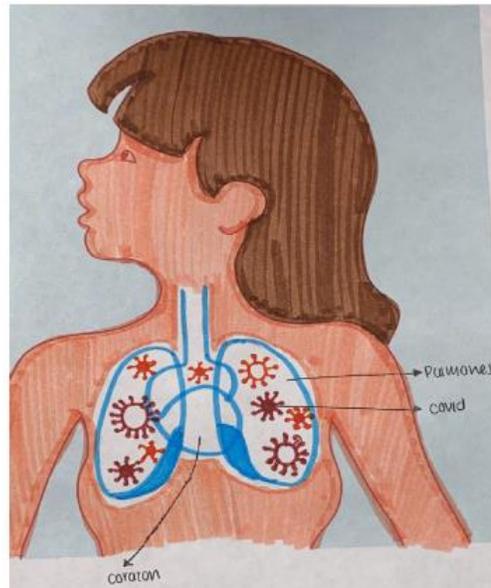
I.- Existe en el alumno la noción de contagio de **covid**, pero no hay mención de las gotículas o aerosoles.

Pregunta 4. Por último, describe DETALLADAMENTE lo que muestra el dibujo que realizaste:

RT.- “Lo que quiero dar a entender con mi dibujo es que la niña **después de no seguir las medidas que había para no contagiarse pues adquirió una cantidad de virus que ahora están en su cuerpo y más específicamente en los pulmones ya que ahí es donde principalmente se queda este virus**”, acompañada por la Figura 31.

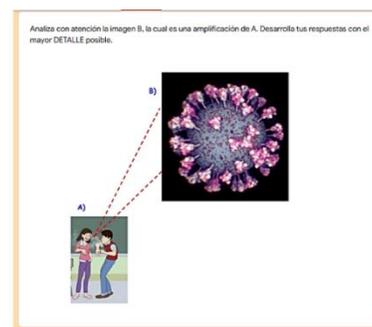
Figura 31

Dibujo elaborado por el Alumno del Caso 21



I.- Para el alumno, la presencia del virus al interior de los pulmones es lo que provoca la enfermedad, no hay inclusión de células en la representación, a pesar de que sí las menciona en el discurso. La entrada del virus al cuerpo se relaciona con su paso por las vías respiratorias, apenas esbozadas por lo que puede ser la tráquea y los pulmones. Se resalta que el dibujo del estudiante muestra una claridad aceptable sobre la forma del virus en tanto que incluye una forma más o menos esférica con proyecciones alargadas en la superficie y que representarían a las espículas.

Cuestionario 2. Identificación de entidades, propiedades, relaciones causa-efecto y reglas de inferencia. Se le pidió al estudiante observar la imagen real del SARS-CoV-2 y que respondiera las preguntas:



Pregunta 1. ¿Qué muestra la imagen B?; b) ¿Qué efecto puede producir esta entidad en el cuerpo humano?

RT.- *“Por lo que hemos visto comunmente ahora creo que representa un **virus**, y los efectos más graves que puede producir esto en el cuerpo humano **podría ser hasta la muerte, efectos comunes**”*

y no tan graves podría ser que si te contagias podrías tener síntomas como de gripa como, fiebre, dolor de cabeza, de garganta, tos, etc. Todo dependería de que tipo de virus obtuviste y en que cantidad.”

I.- El alumno sí identifica una relación entre la presencia del virus y la alteración en la salud de la persona infectada, incluso el riesgo de muerte.

Pregunta 2. a) ¿Qué elementos reconoces en la imagen B?; b) ¿qué características piensas que tiene cada uno de ellos?

RT.- *“Glicoproteína, cápside, genoma”*

I.- La imagen muestra las espículas y la envoltura viral. El alumno menciona la glicoproteína de las espículas, aunque no a estas últimas. No obstante, parece reconocer la estructura básica general de un virus.

Pregunta 3. ¿Con qué interacciona directamente, en el interior del cuerpo humano, la entidad que identificaste en la pregunta 1?

RT.- *“El virus podría atacar directamente a tu sistema inmunológico dentro de tu cuerpo”*

I.- Si bien el alumno, reconoce que hay una respuesta inmunitaria por parte de la persona infectada, pero confunde la explicación ya que el SARS-CoV-2 no agrede al sistema inmunológico, sino que su presencia provoca que lo identifique como partícula extraña y desencadena la respuesta de defensa. El alumno parece reconocer una relación evidente del virus con la respuesta inmunológica, pero no con los efectos y daños que provoca el virus en las células a las que infecta.

Pregunta 4. ¿Qué pasa en aquello que mencionaste del interior del cuerpo humano, ante la presencia de la entidad identificada en la pregunta 1?

RT.- *“Estos organismos entran al cuerpo y se adhieren a la superficie celular. Dependiendo del tipo de virus, buscan células en diferentes partes del cuerpo, por ejemplo, el hígado, el sistema respiratorio o la sangre. Una vez se haya adherido a la célula sana, entra a ella.”*

I.- El estudiante sabe que diversas células son afectadas por el virus directamente, pero no puede explicar cómo ocurre el reconocimiento entre ellos, cómo logra el material genético del virus entrar a la célula y qué alteraciones metabólicas celulares provoca esto. Otra característica es que el educando designa al virus como organismo y no como microorganismo.

Paso 2. Depuración de datos codificados. Recuperación de elementos de las DOyE y condiciones en las que ocurre el fenómeno de referencia, con base en los elementos incluidos por

el alumno. La siguiente interpretación ha sido generada por la autora de esta tesis, con base en dicha selección:

- *Condiciones en las que ocurre el fenómeno de referencia:* **el virus se contagia** de una persona a otra, de esa forma entra o **está en el cuerpo** y llega a las **vías respiratorias y pulmones**. El alumno identifica ambas condiciones para que se lleve a cabo el fenómeno de infección viral.
- *Entidades:* **virus (covid)**, sistema respiratorio, **pulmones, células** diversas.
- *Propiedades:* el **virus** es **contagioso**, tiene forma esférica con proyecciones alargadas en la superficie, posee **cápside, glucoproteínas y genoma**. Origina **síntomas** de enfermedad, pero el alumno no desarrolla una explicación de cómo las propiedades virales se relacionan con la invasión a las células y su relación con los síntomas reconocibles como efectos a nivel macroscópico: **gripa como, fiebre, dolor de cabeza, de garganta, tos, etc.**
- *Interacción entre entidades:* el **virus** interacciona con sistema respiratorio, pulmones, sangre y células diversas ya que **se aloja en los pulmones**, además **se adhiere a la célula y entra en ella** para infectarla.
- *Relaciones causales y funcionales:* se incluyen de manera incipiente ya que solo se mencionan eventos como la unión o **adhesión del virus con la célula y la entrada del virus a ésta**, lo que origina las alteraciones en la salud o **síntomas** de enfermedad. Sin embargo, al igual que en el caso 12, hay un vacío en la explicación espontánea del estudiante porque no se desarrolla una argumentación, aún general, de lo que ocurre en los niveles celular y bioquímico durante la infección.

De lo arriba expuesto, se infiere que el estudiante vincula la existencia de un **virus covid**, transmisible, con el origen de síntomas generales de enfermedad, reconoce que el virus se **adhiere** a las células que infecta y que pueden ser de distinto tipo (**hígado, sistema respiratorio, sangre**). Agrega que el virus entra a las células, pero no agrega más a la explicación. Al parecer la sola entrada del virus a la célula provoca los síntomas como fiebre, dolor de garganta y dolor de cabeza, por ejemplo. El educando no dispone de los elementos requeridos para desarrollar una explicación con la profundidad necesaria para comprender los procesos celulares y moleculares básicos que se desarrollan durante la infección. Las entidades que identifica el alumno son escasas, aunque muestra con ayuda de un dibujo algunos detalles de la estructura del virus y que son equiparables

a las propiedades estructurales de éste. Avanza un poco en la interacción de entidades al identificar que el virus identifica y se une a diversas células humanas, pero no menciona la existencia de un receptor celular específico para que ocurran estos eventos. A esto se suma que el educando no explica la función que tienen las glicoproteínas, la cápside y el genoma del virus, a pesar de que las menciona como estructuras virales. En este sentido, el alumno aún no ha construido los elementos ontológicos y epistemológicos que se reflejarían en una comprensión a nivel estructural y molecular de la infección viral. Por otra parte, confunde el nombre del virus con el de la enfermedad COVID-19.

Con base en lo anterior, el estudiante identifica las dos condiciones en las que ocurre el fenómeno de infección viral, relaciona la existencia de un “virus COVID” con el desarrollo de una enfermedad e involucra un esbozo de interacción al mencionar que el virus se adhiere y entra a la célula. Por lo tanto, el alumno del caso 21 puede describir el fenómeno de infección por SARS-CoV-2 y manifiesta el reconocimiento de una interacción virus/célula hospedadora. De esta forma se estima que el MEId empata con el nivel Intermedio.

Estimación de un ejemplo de MEId Avanzado – Alumno Caso 26 (16 años)

El último ejemplo del ejercicio de estimación es el caso 26. Las tablas que contienen los datos empíricos decodificados y codificados de este caso se pueden ver en el ANEXO 3, en la tabla ‘Inferencia del MEId Avanzado: Alumno Caso 26’, pp. 318-321. La explicación espontánea del Caso 26 indica que reconoce al SARS-CoV-2, sabe que ocasiona la enfermedad COVID-19 y que el patógeno invade principalmente las vías respiratorias. A pesar de que elabora una explicación con mayor información que los casos ya vistos con anterioridad, no argumenta con elementos celulares y bioquímicos básicos y necesarios para comprender cómo el virus provoca las alteraciones en la célula hospedadora y que llevan a la producción de síntomas. Tales elementos científicos escolares, conforme a los antecedentes curriculares que se espera tengan los estudiantes del nivel educativo de preparatoria. Los fragmentos de los datos empíricos que dan pie a lo descrito se muestran en los párrafos subsecuentes.

Paso 1. Decodificación/Codificación. Selección de ideas y expresiones equiparables con los elementos ontológicos y epistemológicos, así como de las condiciones en que ocurre el fenómeno de referencia.

Cuestionario 1. Percepción estudiantil sobre cómo ocurre la infección por SARS-CoV-2. Se le pidió al educando contestar las preguntas, una vez que observó las escenas:



Pregunta 1. Describe qué sucedió en la secuencia anterior:

RT.- *“En la escena A no estaban tomando las medidas preventivas sanitarias para no **enfermarse de COVID**, no leyeron el cartel de arriba, que dice: guarda sana distancia, la mujer no estaba usando cubrebocas en un espacio cerrado y aparte no tenía ventilado el cuarto. También podemos deducir por lo que sucede después, es que el hombre de el suéter naranja también **se enfermó porque no se tapo la nariz con el cubrebocas**. El hombre de chaleco rojo se tuvo que haber cuidado previamente para que no sucediera lo de la escena B. En la escena B ya podemos presenciar los resultados por no seguir las medidas preventivas sanitarias, se puede ver que tiene la **temperatura alta, le duele la garganta y esta usando un oxímetro**, aparte se puede visualizar en el mueble un té y pañuelos. Ella esta tomando reposo para que su estado de salud mejore.*

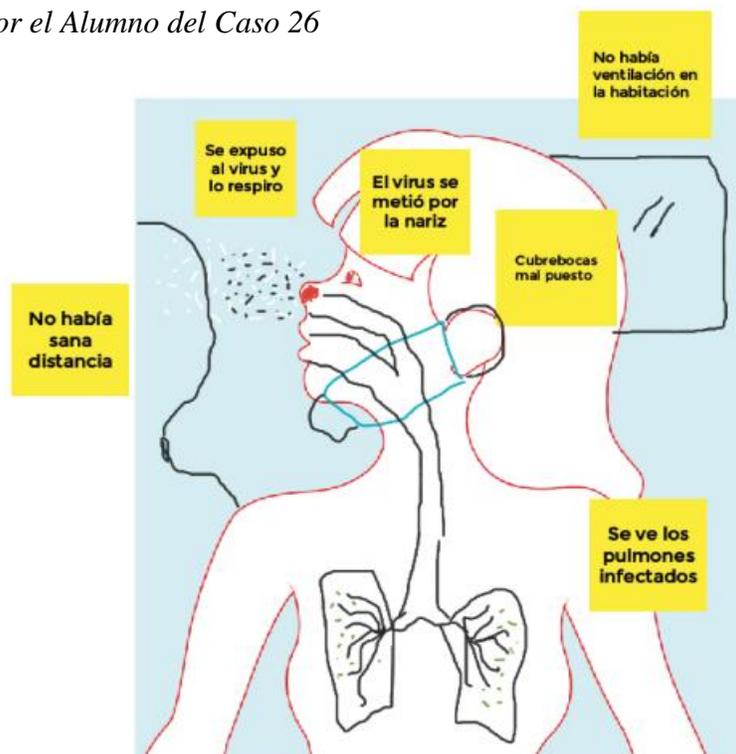
I.- El estudiante reconoce una situación de contagio de COVID y la entrada del virus al cuerpo humano por vía nasal.

Pregunta 4. Por último, describe DETALLADAMENTE lo que muestra el dibujo que realizaste:

RT.- *“Se ve que **los pulmones están infectados por el aire con COVID que respiro y entro por su nariz hasta llegar a los pulmones**. No había distancia por eso se infecto con más facilidad como se ve en la escena B. No tenía bien puesto el cubrebocas y lo llevaba en la oreja.”*, acompañada por la Figura 32.

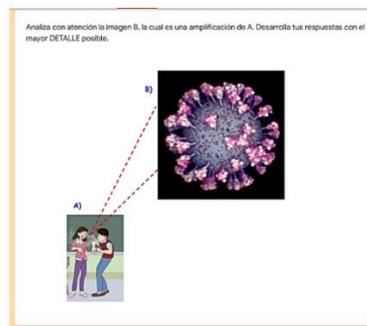
Figura 32

Dibujo elaborado por el Alumno del Caso 26



I.- El alumno identifica que la infección ocurre una vez que el virus está en el interior del cuerpo. Representa al virus con pequeñas líneas y puntos en color verde dentro de los pulmones, pero no detalla características del virus.

Cuestionario 2. Identificación de entidades, propiedades, relaciones causa-efecto y reglas de inferencia. Con base en la imagen real del SARS-CoV-2 se le solicitó responder a las preguntas:



Pregunta 1. ¿Qué muestra la imagen B?; b) ¿Qué efecto puede producir esta entidad en el cuerpo humano?

RT.- "A) **SARS-CoV-2 o COVID-19** que es un **virus** que ha llegado afectar mucho a la población mundial en los últimos años. B) Es depende del individuo que lo porte puede ser hasta un **resfriado común** o puede llegar a ser muy grave como enfermedades respiratorias que pueden provocar

la muerte, si la persona tiene anticuerpos en el organismo contra el virus es menos probable que el COVID-19 afecte de forma grave a la persona.”

I.- El alumno sí reconoce al virus en específico y la enfermedad que causa con una mención general que remite al daño en vías respiratorias, mismo que puede ser tal que incluso cause la muerte de la persona infectada.

Pregunta 2. a) ¿Qué elementos reconoces en la imagen B?; b) ¿qué características piensas que tiene cada uno de ellos?

RT.- *“A) Se puede observar el virus SARS-CoV-2, la envoltura que guarda el virus, las proteínas que lleva consigo el mismo virus y los picos que sobresalen del virus por eso fue nombrado corona se parece a una corona. B) Son muy contagiosos, muy pequeños que el ojo humano no puede ver y contienen ácido nucleico.”*

I.- El estudiante reconoce la estructura básica del virus al mencionar la envoltura, las espigas y el material genético. Llama la atención que hace explícito el tamaño diminuto del patógeno.

Pregunta 3. ¿Con qué interacciona directamente, en el interior del cuerpo humano, la entidad que identificaste en la pregunta 1?

RT.- *“Con sistema respiratorio y se dirige a los pulmones, ocasionando diferentes enfermedades pero depende del individuo como ya comente previamente. Puede entrar por medio de la nariz y boca.”*

I.- El alumno resalta a los pulmones como órganos vulnerables al virus, sin incluir otros órganos ni el nivel celular.

Pregunta 4. ¿Qué pasa en aquello que mencionaste del interior del cuerpo humano, ante la presencia de la entidad identificada en la pregunta 1?

RT.- *“Puede obstruir la respiración porque el virus se dirige a los pulmones, pero eso sucede en casos graves. El virus invade las células provocando que el sistema inmunológico se debilite.”*

I.- El alumno repite que el daño principal es a nivel de pulmones, pero al incluir el sistema inmunológico recuerda a las células y afirma que la infección causa debilidad en dicho sistema. Esta parte de la explicación deja ver que no se reconoce la interacción que debe ocurrir entre el SARS-CoV-2 y las células hospedadoras con un receptor de membrana específico (ACE2). Es notorio también que la respuesta del alumno no incluye los elementos del modelo que intervienen en la interacción a nivel celular ni a nivel de moléculas, a pesar de que el estudiante ha mencionado

la estructura viral con cercanía notoria a la estructura real. No obstante, además menciona que el virus invade a las células.

Paso 2. Depuración de datos codificados. Selección de elementos de las DOyE y condiciones en las que ocurre el fenómeno de referencia incluidas en la explicación natural del alumno. La autora ha elaborado, con base en la selección mostrada, la interpretación que se expone:

- *Condiciones en las que ocurre el fenómeno de referencia:* el **virus** pasa de una persona a otra, **entra al cuerpo por las vías respiratorias y se aloja en los pulmones**. El alumno identifica ambas condiciones para que ocurra el fenómeno de infección viral.
- *Entidades:* **virus SARS-CoV-2, boca, nariz, vías respiratorias, pulmones y células**.
- *Propiedades:* **el virus es contagioso, pequeño y peligroso**, además tiene una **envoltura que lo protege, proteínas, picos y ácido nucleico**. El estudiante reconoce la estructura completa del virus, pero sin la complejidad explicativa necesaria para rebasar la descripción general.
- *Interacción entre entidades:* el **virus** interacciona con **vías respiratorias, los pulmones e invade a las células**. A pesar de que el educando no puede desarrollar una explicación a nivel fino en términos celulares y moleculares, tiene la noción de que en la interacción el virus “invade” a la célula.
- *Relaciones causales y funcionales:* El alumno hace una relación entre la presencia del **virus dentro del cuerpo humano** y menciona una **invasión hacia las células**, es decir, de manera muy general identifica entidades y las relaciona con un comportamiento del virus que además es el **origen de los síntomas como temperatura alta y dolor de garganta**. Sin embargo, no hay una argumentación que explique cómo se llevan a cabo las alteraciones en la célula, provocadas por el virus, y que detonan dichos síntomas. En este caso también incorpora en la explicación la mención de que ocurre una respuesta inmunológica, pero sin dar cuenta de los detalles a nivel celular y molecular.

Como es de notar, el estudiante es capaz de describir la estructura viral, mas no explica cómo se relaciona con la membrana celular, mediante un receptor de membrana particular. Pero llama la atención que el educando refiere que el virus *invade* a la célula.

Dado que el estudiante identifica las dos condiciones en las que ocurre el fenómeno de infección viral, relaciona la existencia del virus SARS-CoV-2 con la enfermedad COVID-19 y reconoce una invasión del patógeno en las células, se concluye que se aproxima a un nivel de

complejidad explicativa Avanzado. La explicación espontánea es escueta, pero alcanza a mostrar elementos de las DOyE.

Como se ejemplificó con los tres casos descritos, el primer acercamiento a los datos crudos permitió una estimación que comprueba los niveles de complejidad en las formas espontáneas del pensamiento de los educandos ya que ocurren en ellas desde confusiones, escasez o presencia mínima de componentes ontológicos, hasta expresiones sencillas y débiles en coherencia sobre el fenómeno de infección por SARS-CoV-2 en células humanas. Sumado a ello, también se encontraron combinaciones en la construcción del conocimiento derivadas de cada proceso personal, lo cual confirma lo que sugiere Gutierrez (2001) acerca de que los estudiantes elaboran sus propias ideas acerca de los conceptos científicos. Esto influye en las explicaciones que logran estructurar que, a pesar de que son incompletas o confusas, tienen sentido para ellos porque utilizan los elementos de las DOyE que pueden reconocer. Esto no implica, como muestran los ejemplos, que exista una comprensión detallada del fenómeno, pero sí un esfuerzo por dar sentido que se nota incluso cuando incorporan elementos de la respuesta inmunológica. Los alumnos no pueden profundizar en sus abstracciones al no contar con la conceptualización de las entidades participantes en el fenómeno de referencia, pero hacen uso de lo que recuerdan.

En los tres casos, los estudiantes saben que existe un virus que causa alteraciones en la salud de la persona infectada. Que la COVID-19 es contagiosa y que existe una incursión del virus en el cuerpo humano. Esta entrada del virus es la que reconocen los alumnos como la condición para que el patógeno entre en interacción ya sea con algunos órganos o células. También pueden relacionar la presencia del virus con síntomas generales de resfrío o malestar como fiebre o dolor de garganta. A pesar de que el contenido '3.3 Los virus y el cáncer' fue abordado en clase de biología previo a la aplicación de los instrumentos, los alumnos parece que aún no han construido el conocimiento científico escolar con mayor profundidad, de acuerdo con el ideal curricular. Esto hace que los MEId que reflejan sus explicaciones espontáneas se encuentran todavía en un nivel de comprensión macroscópico y de conjunto, es decir, pueden establecer una relación general entre virus, cuerpo humano y enfermedad e incluso medidas de prevención. Tienen también acercamientos sencillos a la explicación científica, es decir, que incluyen algunos elementos ontológicos y epistemológicos básicos y que pueden ser útiles para desarrollar una explicación cada vez más coherente y con un razonamiento con mayor detalle científico.

De lo anterior también se resalta que los *MEId* estimados tienen una construcción mínima que es útil para continuar el desarrollo de las *DOyE* estudiantiles y que pueden ser tomadas en cuenta para el diseño de estrategias de aprendizaje que propicien el desarrollo de las representaciones mentales esenciales en la comprensión del fenómeno de infección por SARS-CoV-2 en células humanas.

Segunda etapa de revisión de los datos empíricos: ejemplos de *MEId* Casos-tipo para los niveles Básico, Intermedio y Avanzado

Una vez obtenido el panorama general ya descrito, se procedió con la segunda etapa de revisión que consistió en elegir tres casos-tipo, uno por nivel de complejidad explicativa, que tuvieran los requerimientos y consistencia para la inferencia de los *MEId*, ahora con la aplicación de los pasos 1, 2, 3 y 4 explicados al inicio del presente capítulo, en el apartado Descripción del ejercicio analítico. La decisión se tomó al considerar que estos casos presentan explicaciones espontáneas estudiantiles con el mayor número de elementos de las *DOyE* posible del nivel correspondiente. Cada uno de los tres casos-tipo de *MEId* seleccionados, en consecuencia, corresponden a las explicaciones espontáneas estudiantiles con mayor coherencia con base en el MCEA ajustado y fueron identificados como Básico, Intermedio y Avanzado. Estos constructos se abordan en el siguiente apartado y son los casos 19, 3 y 31. El análisis de cada uno de ellos se acompaña con la descripción, la categorización y los hallazgos derivados.

MEId Básico – Alumno Caso-tipo 19 (16 años)

Como primer ejemplo se abordan las respuestas del alumno del Caso-tipo 19, las cuales reflejan una explicación natural con varias dificultades relacionadas con una escasez o presencia mínima de entidades sobre el fenómeno de infección por SARS-CoV-2 en células humanas y una mención parcial de propiedades. Los datos empíricos decodificados y codificados del Caso 19 se encuentran desglosados con detalle en el ANEXO 4, en la tabla titulada ‘Inferencia del *MEId* Básico: Alumno Caso-tipo 19’, pp. 322-325. De acuerdo con el procedimiento analítico que se ha seguido hasta el momento, los fragmentos más sobresalientes para el estudio de la forma espontánea de pensar de este educando se citan en los párrafos que siguen y corresponden a las preguntas incluidas en los instrumentos y que tienen mayor grado de integración.

Paso 1. Decodificación/Codificación. Ideas y expresiones útiles como elementos ontológicos y epistemológicos, así como las condiciones para inferir el MEId.

Cuestionario 1. Percepción estudiantil sobre cómo ocurre la infección por SARS-CoV-2. Una vez que el estudiante observó las escenas, respondió las preguntas:



Pregunta 1. Describe qué sucedió en la secuencia anterior:

RT.- “En las imagines veo a niños que traen su **cubre bocas mal puesto** por su irresponsabilidad el cual no solo les afecta a ellos sino también a su alrededor, **la niña de la imagen no traía el cubrebocas** y eso le afecto y pues **se enfermo** por ser irresponsable y no seguir las indicaciones correspondientes.”

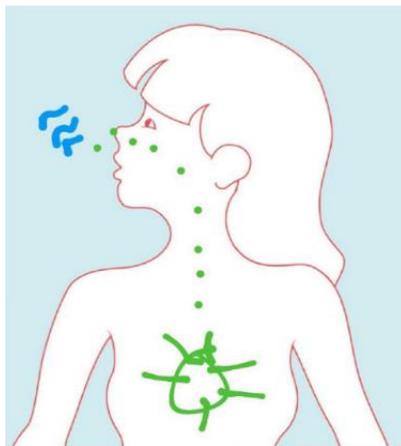
I.- De forma implícita el alumno supone un contagio del patógeno.

Pregunta 4. Por último, describe DETALLADAMENTE lo que muestra el dibujo que realizaste:

RT.- “Una persona que **estornuda** y esta enferma y esta niña sin cubrebocas y teniendo a la persona en contacto **le paso el virus** y **entro en su cuerpo** y empieza a hacer efecto”, acompañada por la Figura 33.

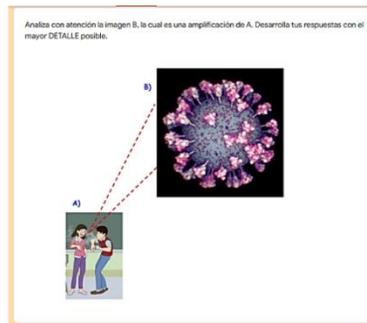
Figura 33

Dibujo elaborado por el Alumno del Caso-tipo 19



I.- El alumno identifica la vía de transmisión principal (estornudo) y la presencia del virus dentro del cuerpo humano. En el dibujo traza la ruta del virus, pero sin incorporar alguna referencia a órganos o a células. El virus es representado con una forma más o menos esférica y con proyecciones alargadas en la superficie que, de manera rudimentaria, remiten a un coronavirus.

Cuestionario 2. Identificación de entidades, propiedades, relaciones causa-efecto y reglas de inferencia. Con base en la imagen real del SARS-CoV-2 se le solicitó responder a las preguntas:



Pregunta 1. ¿Qué muestra la imagen B?; b) ¿Qué efecto puede producir esta entidad en el cuerpo humano?

RT.- *“Muestra el nuevo virus llamado **coronavirus**, puede producir **enfermedad** y la **muerte también**”*

I.- El educando relaciona al virus con alteraciones en la salud de la persona infectada, sin precisar síntomas.

Pregunta 2. a) ¿Qué elementos reconoces en la imagen B?; b) ¿qué características piensas que tiene cada uno de ellos?

RT.- *“Las infecciones que va causando ese virus en las personas”*

I.- El estudiante no reconoce en sí las partes de la estructura del virus, solo identifica la entidad como un todo.

Pregunta 3. ¿Con qué interacciona directamente, en el interior del cuerpo humano, la entidad que identificaste en la pregunta 1?

RT.- *“Las manos, el aire, hablar cerca de una persona, tener contacto físico, compartir comida y materiales.”*

I.- El estudiante no identifica a las células ni a los órganos internos vulnerables al SARS-CioV-2.

Pregunta 4. ¿Qué pasa en aquello que mencionaste del interior del cuerpo humano, ante la presencia de la entidad identificada en la pregunta 1?

RT.- *“Pues **infecciones como calentura dolor de cabeza, de garganta, tener cuerpo cortado**”*

I.- El alumno refiere síntomas corporales, pero no elabora una respuesta coherente con elementos que sustenten el origen relacionado con alteraciones metabólicas que provoca el virus en los órganos y células afectados.

Paso 2. Depuración de datos codificados. Reunión de elementos de las DOyE y condiciones en las que ocurre el fenómeno de referencia para inferir el MEId y provenientes del paso anterior. La interpretación de éstos, hecha por la autora, es la siguiente:

- *Condiciones en las que ocurre el fenómeno de referencia:* el **coronavirus** pasa de una **persona enferma** a otra por **estornudo**, **entra** al cuerpo humano por la **nariz**.
- *Entidades:* **coronavirus**, **nariz**. El educando tiene una representación simple que refleja la ausencia de elementos ontológicos correspondientes a entidades como célula hospedadora y moléculas participantes en el proceso de infección.
- *Propiedades:* el coronavirus es esférico con proyecciones en la superficie, es **contagioso** de una persona a otra por **estornudo**. Estas propiedades mínimas se deducen del dibujo del estudiante, pero no las incluye en el discurso, probablemente por no reconocer los nombres, pero sí reconoce y reproduce la imagen del patógeno.
- *Interacción entre entidades:* el **coronavirus** interacciona con el interior del cuerpo humano porque **entra** en él. El alumno no desarrolla en realidad una explicación sobre lo que ocurre en la interacción.
- *Relaciones causales y funcionales:* el **coronavirus** causa **enfermedad** con síntomas como **dolor de cabeza**, **dolor de garganta**, **cuerpo cortado** y también **muerte**. El estudiante pasa directamente de mencionar que el virus ha entrado al organismo y causa síntomas de enfermedad, pero no existe una explicación con elementos epistemológicos que desarrollen cómo se lleva a cabo el deterioro, en este caso, en los órganos y células que lleva a la sintomatología. Por esta razón, las relaciones causales y funcionales no están presentes.

Con los datos evidenciados se muestra que el educando vincula al coronavirus con el origen de síntomas de enfermedad, sin desarrollar una explicación de cómo ocurre. En este salto cognitivo hay ausencia de relaciones causales y funcionales coherentes ya que al parecer el educando aún no ha construido la conceptualización de las entidades participantes en el fenómeno de referencia. Así, la explicación espontánea que desarrolla es imprecisa e incompleta y en consecuencia el MEId aborda una incipiente descripción.

Ya obtenida esta descripción general, se aplicaron los pasos 3 y 4 antes mencionados en este análisis y cuya finalidad fue profundizar en el examen de los datos y precisar la categorización del MEId.

Paso 3. Inferencia de los MEId. Inclusión de los elementos del *MEId* en la tabla del MCEA ajustado para, posteriormente, contrastar el contenido con éste e identificar los elementos de las DOyE presentes en las abstracciones de los alumnos. En este paso fue necesario diseñar dos tablas: una que reúne el comparativo de las condiciones en las que ocurre el fenómeno y otra para mostrar el contraste con el MCEA ajustado.

En la Tabla 10 se expone el comparativo de las condiciones para la presentación del fenómeno de referencia entre el MCEA ajustado y el MEId inferido. Como se comprueba, los pasos 1 y 2 del análisis permitieron resaltar que el estudiante identifica solo una de las condiciones para el fenómeno de infección por SARS-CoV-2: contagio y entrada del virus al cuerpo humano, pero no la interacción a nivel celular. Reconoce la existencia de un coronavirus contagioso, pero no la especificidad de éste ni la existencia de órganos o células que pueden ser dañados por el patógeno.

Tabla 10

Alumno Caso-tipo 19: condiciones reconocidas

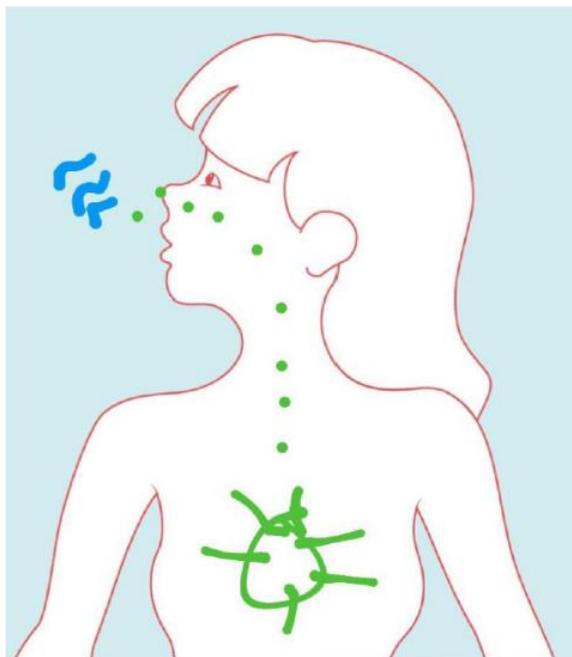
	MCEA Ajustado	MEId
	Presencia del SARS-CoV-2 al interior del cuerpo humano.	Sí, el coronavirus se contagia de una persona a otra por estornudo y entra al cuerpo por la nariz.
Condiciones del fenómeno	Interacción bioquímica del SARS-CoV-2 con las células humanas que tengan el receptor de membrana ACE2.	NI

Nota. NI: el alumno no incluye en la explicación el componente indicado.

En el dibujo hecho por el educando (Figura 34), éste reafirma lo ya mencionado, pero en la representación del virus, el alumno sí incluye proyecciones que parecen espículas, lo cual denota algunas propiedades. Sin embargo, no hay representación de órganos o células afectadas

Figura 34

Dibujo del Alumno Caso-tipo 19: representación gráfica de las condiciones reconocidas



En la Tabla 11 de las páginas siguientes se continúa el contraste, éste ya incluye los elementos de las DOyE. Debido a la presencia mínima de dichos componentes en el MEId, solo fue posible colocar como entidades reconocidas por el educando, los términos **coronavirus** y **nariz**. En cuanto a las propiedades, y considerando lo que muestra la Figura 30 sobre la estructura viral, el estudiante sabe que el patógeno tiene una forma esférica con proyecciones alargadas en la superficie. Dichas entidades y propiedades se encuentran en el rubro 'Ámbito 1. Fijación', en la Tabla 11. En el resto del comparativo se anotó la nomenclatura NI como indicador de que el alumno no incluye más elementos del modelo en su explicación espontánea y que pudieran corresponder con el resto de los componentes del MCEA ajustado. En el rubro 'Ámbito 7. Liberación', al final de la Tabla 11, se colocó la consecuencia que puede notar el alumno, es decir, que el **coronavirus** es contagioso y origina **enfermedad** con síntomas como **dolor de cabeza**, **dolor de garganta**, **cuerpo cortado** y también **muerte**. Con base en esto, se pone en evidencia que el alumno elaboró un MEId notoriamente incompleto, pero se puede considerar como Básico al hacer el comparativo con el MCEA ajustado porque el estudiante reconoce la existencia de un patógeno, del tipo de coronavirus, contagioso y que provoca alteraciones en el cuerpo humano que se manifiestan como síntomas de enfermedad e incluso muerte.

Tabla 11

Tensión MEId Básico del Caso-tipo 19 con el MCEA ajustado

ETAPA A) Reconocimiento virus SARS-CoV-2 / Célula hospedadora									
DIMENSIÓN ONTOLÓGICA					DIMENSIÓN EPISTEMOLÓGICA				
MCEA	MEId Básico	Entidad (partícula no viva, sistema vivo, moléculas y conjuntos de moléculas)		Propiedad (atributos y características)		Relación causa-efecto (interacción entre entidades)		Regla de inferencia (relación causal y funcional)	
ÁMBITO	ÁMBITO	MCEA	MEId Básico	MCEA	MEId Básico	MCEA	MEId Básico	MCEA	MEId Básico
1. Fijación	NI	a)Coronavirus SARS-CoV-2 b)Célula humana hospedadora	a) Coronavirus, nariz b) NI.	El SARS-CoV-2 tiene espículas (proteína S con subunidades S1 y S2), envoltura y material genético. La célula hospedadora tiene una membrana plasmática que incluye el receptor de membrana ACE2 (enzima convertidora de angiotensina 2).	a) El coronavirus tiene forma esférica con proyecciones alargadas en la superficie; b) NI.	Si la proteína S de las espículas del SARS-CoV-2 interacciona con el receptor de membrana ACE2 en la célula hospedadora, la primera se fija o ancla en el segundo y se activa la enzima serina-proteasa transmembrana tipo II (TMPRSS2) que corta o escinde la espícula viral y exponer la subunidad S2.	NI	Cuando numerosos coronavirus SARS-CoV-2 se fijan a células respiratorias con receptor de membrana ACE2, se desarrolla la infección viral en diversos órganos y sistemas del cuerpo humano.	NI
2. Penetración	NI	Nucleocápside viral en endosoma Enzimas proteolíticas	NI	La nucleocápside viral (+ssRNA con proteína N) está protegida dentro de una vesícula o endosoma. Las enzimas proteolíticas rompen enlaces químicos.	NI	*Si el endosoma interacciona con las enzimas proteolíticas, se rompe y libera el +ssRNA viral original.	NI	Cuando la penetración del material genético viral ocurre en diversas células, entonces éste puede ser replicado y traducido.	NI

Nota. NI: el alumno no incluye en la explicación el componente indicado

Continúa...

ETAPA B) Replicación viral

		DIMENSIÓN ONTOLÓGICA				DIMENSIÓN EPISTEMOLÓGICA			
MCEA	MEId Básico	Entidad (partícula no viva, sistema vivo, moléculas y conjuntos de moléculas)		Propiedad (atributos y características)		Relación causa-efecto (interacción entre entidades)		Regla de inferencia (relación causal y funcional)	
ÁMBITO	ÁMBITO	MCEA	MEId Básico	MCEA	MEId Básico	MCEA	MEId Básico	MCEA	MEId Básico
3. Transcripción temprana	NI	a) Ribosoma activo +ssRNA viral original libre b) Poliproteínas pp1a o pp1ab c) RNA-polimerasa viral dependiente de RNA	NI	El ribosoma activo traduce el material genético viral original. El +ssRNA viral original sin endosoma, tiene una orientación química 5'-3' y es el mensajero (+ssRNAm). Las poliproteínas pp1a o pp1ab son enzimas para sintetizar RNA-polimerasa dependiente de RNA. La RNA-polimerasa dependiente de RNA es una enzima que elabora -ssRNA intermediario de replicación	NI	-Si el Complejo de iniciación traduce los genes del +ssRNAm, se sintetizan las enzimas poliproteínas pp1a y pp1ab (proteínas virales tempranas). Estas, con intervención del Complejo replicasa transcriptasa (RTC), elaboran la RNA-polimerasa dependiente de RNA. -Si la RNA-polimerasa dependiente de RNA transcribe el +ssRNAm original y se elabora el -ssRNA intermediario de replicación.	NI	Cuando la información genética viral original es traducida por las células, se forman las enzimas y el RNA intermediario que hacen posible la replicación de nuevos SARS-CoV-2.	NI
4. Replicación	NI	a) -ssRNA intermediario de replicación b) RNA replicasa	NI	El -ssRNA intermediario de replicación es la transcripción del +ssRNAm original y funciona como molde para la síntesis de +ssRNA genómico viral hijo y los +ssRNA subgenómicos. La RNA replicasa es una enzima que sintetiza RNA.	NI	-Si el -ssRNA viral intermediario de replicación interactúa con el complejo transcriptasa replicasa (RTC), entonces se sintetizan el +ssRNA genómico viral hijo para la nucleocápside y los +ssRNA subgenómicos para las proteínas tardías estructurales N, S, E y M.	NI	Si el material genético viral es replicado dentro de las células, entonces se forman el material genético de los virus hijos y el material genético para la síntesis de las proteínas estructurales.	NI
5. Transcripción tardía	NI	a) Ribosoma activo b) +ssRNA subgenómico para proteína N +ssRNA subgenómico para proteína S +ssRNA subgenómico para proteína E +ssRNA subgenómico para proteína M	NI	El ribosoma activo libera factores de iniciación para la síntesis de proteínas virales N, S, E y M. El +ssRNA subgenómico para proteína N tiene los genes para la síntesis de dicha proteína. El +ssRNA subgenómico para proteína S tiene los genes para la síntesis de dicha proteína. El +ssRNA subgenómico para proteína E tiene los genes para la síntesis de dicha proteína. El +ssRNA subgenómico para proteína M tiene los genes para la síntesis de dicha proteína.	NI	-Si los +ssRNA subgenómicos son traducidos por los ribosomas, entonces se forman las proteínas tardías estructurales N (de nucleocápside), S (de espícula), E (de envoltura) y M (de membrana) que forman a los virus hijos. -Si las proteínas estructurales S, E y M pasan del RE al complejo de Golgi, entonces son transformadas en glucoproteínas.	NI	Si el material genético viral para las proteínas estructurales es traducido por los numerosos ribosomas dentro de las células, entonces se formarán las partes de la estructura de una gran cantidad de virus hijos.	NI
6. Ensamblaje	NI	Nucleocápside del virus hijo Cubierta viral Espículas	NI	La nucleocápside del virus hijo contiene el +ssRNA genómico viral hijo estabilizado con la proteína N. Este es la réplica del material genético viral original. La cubierta viral está hecha con proteínas estructurales E y M y protege a la nucleocápside. Las espículas, con forma de espina, tienen proteína S (con subunidades 1 y 2) y sobresalen de la cubierta viral.	NI	-Si la nucleocápside, las espículas y la cubierta virales interactúan, entonces se ensambla el SARS-CoV-2 hijo. -Si el SARS-CoV-2 hijo está protegido por una vesícula, entonces es transportado hasta la membrana plasmática.	NI	Una vez formados los virus hijos, son transportados a través del citoplasma hasta las membranas de las células infectadas para ser expulsados.	NI

Continúa...

ETAPA C) Virus SARS-CoV-2 hijo

DIMENSIÓN ONTOLÓGICA					DIMENSIÓN EPISTEMOLÓGICA				
MCEA	MEId Básico	Entidad (partícula no viva, sistema vivo, moléculas y conjuntos de moléculas)		Propiedad (atributos y características)		Relación causa-efecto (interacción entre entidades)		Regla de inferencia (relación causal y funcional)	
ÁMBITO	ÁMBITO	MCEA	MEId Básico	MCEA	MEId Básico	MCEA	MEId Básico	MCEA	MEId Básico
7. Liberación	NI	a)Membrana plasmática b)Coronavirus SARS-CoV-2 hijo ensamblado y en vesícula	NI	La membrana plasmática se fusiona con la membrana de la vesícula que protege al SARS-CoV-2 hijo. El coronavirus SARS-CoV-2 hijo tiene espículas con las que reconoce al receptor de membrana ACE2 en una nueva célula hospedadora.	NI	*Si el SARS-CoV-2 es expulsado de la célula por exocitosis, entonces sale al ambiente en las gotículas de saliva y de mucosidad de las vías respiratorias de una persona enferma. *Si el SARS-CoV-2 ingresa al sistema respiratorio de otra persona (nariz, faringe, laringe, bronquios, bronquiolos y alveolos), entonces se puede fijar con sus espículas a una célula hospedadora con el receptor de membrana ACE2 e inicia un nuevo ciclo de infección.	NI	Los virus utilizan a las células hospedadoras para elaborar nuevos virus, lo que altera el funcionamiento de las células, órganos y sistemas afectados. Si el SARS-CoV-2 replicado es transferido a otra persona mediante gotículas de saliva o de mucosidad, inicia un nuevo ciclo de infección. Las afectaciones provocadas en la célula hospedadora por el ciclo de infección viral ppor SARS-CoV-2 pueden ser diversos síntomas resultado de la destrucción celular y de la respuesta inmune que desencadena el cuerpo humano para eliminar al virus.	El coronavirus es contagioso y causa enfermedad (dolor de cabeza, de garganta, tener cuerpo cortado) y muerte.

Paso 4. Caracterización y descripción del MEId inferido. Comparación del MEId con las características indicadas para los niveles de complejidad explicativa correspondientes a Básico, Intermedio y Avanzado.

La elaboración de la Tabla 11 resalta que el MEId obtenido incluye algunos componentes de la Dimensión Ontológica, pero no de la Epistemológica, al permanecer ciertos espacios vacíos de información y denotados como NI. El estudiante es capaz de establecer la relación de un coronavirus con la noción de enfermedad y manifestación de varios síntomas generales —dolor de cabeza y de garganta y cuerpo cortado— que pueden ser asociados con un padecimiento respiratorio. En la explicación estudiantil se reconoce la entidad coronavirus y un poco de la estructura, pero sin describir más propiedades derivadas de ello; pero tampoco hay elementos que refieran una explicación de lo que ocurre con el patógeno en el interior del cuerpo. Esto se comprueba con la ausencia de elementos del modelo que corresponderían a los ámbitos 2, 3, 4, 5, 6 y 7 señalados en la Tabla 11 y que se refieren a los distintos momentos de interacción molecular entre el patógeno y la célula hospedadora que propician la entrada del material genético viral, su transcripción, traducción, replicación, ensamblaje y liberación. Las DOyE están notoriamente incompletas y con algunas confusiones en su construcción de tal forma que la relación que hace el alumno entre coronavirus y enfermedad se reduce drásticamente a mencionar algunos síntomas, sin elaboración de un argumento que explique el origen de éstos con base en los mecanismos de interacción virus/célula hospedadora.

De acuerdo con la categorización de la Tabla 9 (incluida en el Capítulo 4. Diseño Metodológico) y los resultados de la Tabla 11, el nivel de complejidad explicativa que corresponde al MEId del Caso 19 es el Básico porque muestra, aunque de forma elemental, **algunas entidades y escasa descripción de propiedades**. A ello se suma la **ausencia de interacciones entre el patógeno y las posibles células hospedadoras e incluso órganos afectados**, esto último se confirma ya que el estudiante no menciona en sus respuestas estructuras u órganos internos específicos (células, pulmones, por ejemplo). Es decir, el alumno describe porque menciona algunas entidades y características que dan indicios de la dimensión ontológica, pero no de la epistemológica en su representación mental. Sin embargo, no explica ni predice el comportamiento del fenómeno, a pesar de que reconoce un daño en la salud del cuerpo humano por la presencia de síntomas generales que puede percibir, pero sin exponer cuáles son las alteraciones a nivel celular y molecular que originan dichas alteraciones.

MEId Intermedio – Alumno Caso-tipo 3 (16 años)

El segundo ejemplo es el del estudiante del Caso-tipo 3 y presenta una explicación espontánea un poco más completa que el Caso-tipo 19 debido a que incluye más elementos de las DOyE en sus respuestas. Además de la mención, por parte del estudiante, de entidades más precisas, ya incluye una descripción de sus propiedades con más elementos que refieren interacción del coronavirus al interior del cuerpo humano. Esto último muestra un acercamiento hacia las relaciones entre entidades. Enseguida se incluyen los fragmentos más relevantes de las respuestas del estudiante que dan cuenta de lo anterior, la decodificación y codificación completas de los datos empíricos de este caso se pueden consultar en el ANEXO 4, se localizan en la tabla ‘Inferencia del MEId Intermedio: Alumno Caso-tipo 3’, pp. 326-329.

Paso 1. Decodificación e interpretación. Ideas y expresiones útiles como elementos ontológicos y epistemológicos, así como las condiciones para inferir el MEId.

Cuestionario 1. Percepción estudiantil sobre cómo ocurre la infección por SARS-CoV-2. Una vez que el estudiante observó las escenas, respondió las preguntas:



Pregunta 1. Describe qué sucedió en la secuencia anterior:

RT.- “La chica días antes de enfermarse, **convivió con una persona infectada**, sin sana distancia y sin los cubrebocas puestos correctamente. Parece ser que la ventana no estaba abierta y **el chico que estornudó salpicó a todos los alumnos que se ven en la imagen.**”

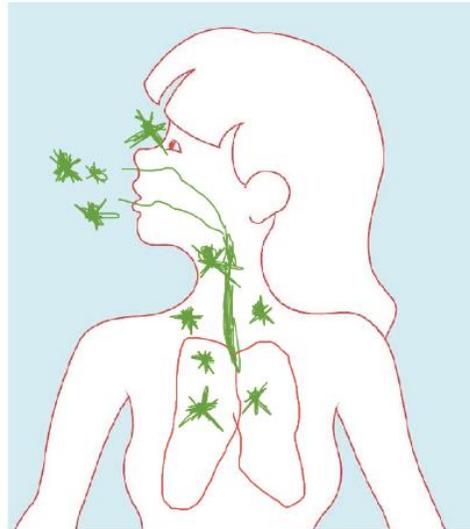
I.- El educando relaciona la transmisión con una vía específica como lo es el estornudo.

Pregunta 4. Por último, describe DETALLADAMENTE lo que muestra el dibujo que realizaste:

RT.- “El **virus entra por los ojos, nariz y boca, causándole enfermedad a la chica.**”, acompañada por la Figura 35.

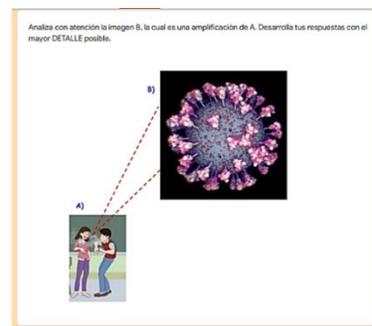
Figura 35

Dibujo elaborado por el Alumno del Caso-tipo 3



I.- Existe por parte del alumno el reconocimiento de la entrada del virus al cuerpo como condicionante para la infección. En el dibujo la representación del virus, aunque difusa, es parecida al coronavirus por las proyecciones alargadas. En la imagen aparece el esbozo de los pulmones que, para el alumno, son los órganos centrales afectados por el patógeno. A diferencia de la mayoría de los casos revisados en la primera etapa, el alumno menciona además a los ojos como una de las vías de entrada del virus al cuerpo humano. Esto último, para la infección por SARS-CoV-2 aún no ha sido comprobado por la ciencia, sin embargo, existen otros virus que sí pueden infectar al ser humano por vía ocular. Con base en esto último, es posible deducir que el alumno incluye información general sobre las infecciones virales.

Cuestionario 2. Identificación de entidades, propiedades, relaciones causa-efecto y reglas de inferencia



Pregunta 1. ¿Qué muestra la imagen B?; b) ¿Qué efecto puede producir esta entidad en el cuerpo humano?

RT.- “*Se puede ver al **covid-19 amplificado**. El covid-19 está siendo **expulsado del cuerpo del infectado** por medio de un **estornudo**.*”

I.- El estudiante sí reconoce al patógeno por su imagen.

Pregunta 2. a) ¿Qué elementos reconoces en la imagen B?; b) ¿qué características piensas que tiene cada uno de ellos?

RT.- “*Al **covid-19**, y a un grupo de personas platicando. Por la persona estornudando, se puede intuir que está infectada con covid-19 y al no estornudar de la manera adecuada, está **propagando la enfermedad**.*”

I.- El estudiante sólo reconoce al virus de forma global, pero sin describir detalles de su estructura.

Pregunta 3. ¿Con qué interacciona directamente, en el interior del cuerpo humano, la entidad que identificaste en la pregunta 1?

RT.- “*con las **células***”

I.- El estudiante sí identifica a la célula como entidad vulnerable al SARS-CioV-2, aunque no distingue el tipo de célula hospedadora.

Pregunta 4. ¿Qué pasa en aquello que mencionaste del interior del cuerpo humano, ante la presencia de la entidad identificada en la pregunta 1?

RT.- “*el **virus entra en contacto con la célula para inyectar su arn***”

I.- Existe en el alumno una noción de interacción entre el patógeno con la célula afectada y con la consecuencia de la entrada del material genético viral en la célula.

Paso 2. Depuración de datos codificados. Con base en el paso 2, reunión de elementos de las DOyE y condiciones en las que ocurre el fenómeno de referencia para inferir el MEId. La interpretación de la autora es la siguiente:

- *Condiciones en las que ocurre el fenómeno de referencia:* el **virus** se transmite de un sujeto **infectado** a otro por medio del **estornudo** y **entra al cuerpo** por la nariz. El virus tiene contacto con pulmones y **células**. Así, el educando identifica las dos condiciones para que suceda la infección.
- *Entidades:* **virus covid-19, pulmones y células**. El alumno reconoce el virus, pero tiene una confusión al nombrarlo como la enfermedad que produce. Incluye también, a diferencia del Caso-tipo 19, a la célula como entidad vulnerable.
- *Propiedades:* el **virus** tiene **proyecciones alargadas** en la superficie, se **propaga** mediante el estornudo de una **persona infectada**; el virus **infecta** a las **células** son

infectadas. El alumno sabe que el virus de alguna forma afecta a las células, pero no explica de qué manera ocurre esto.

- *Interacción entre entidades: el virus inyecta arn a la célula.* El alumno ya menciona el material genético viral y sabe que de alguna forma entra a la célula, pero no avanza en la explicación del proceso.
- *Relaciones causales y funcionales: el virus covid-19 causa enfermedad.* El alumno ya identifica que la interacción existente entre las entidades y que produce un evento como lo es la entrada del material genético viral a la célula (**inyecta**), sin embargo, carece de los componentes del modelo que explicarían los eventos moleculares para que suceda tal situación. Así, el alumno ya incursiona en la comprensión de la interacción.

De esta forma, se demuestra que el educando no incluye el nombre correcto del coronavirus, pero lo denomina con la enfermedad que produce, lo que ya es un indicio de discriminación de información. Relaciona el patógeno con daño celular y la enfermedad COVID-19, pero sin reconocer el tipo de célula hospedadora con receptor de membrana ACE2. Por otra parte, el estudiante ya tiene presente la existencia de material genético viral (**arn**) y que, de alguna manera, se relaciona con el inicio de un padecimiento. Estos referentes demuestran que el alumno reconoce ambas condiciones para que ocurra el fenómeno de referencia. Incluye las entidades **virus covid-19** y **célula**, algunas características morfológicas del virus (con base en el dibujo estudiantil), además de una interacción que involucra al material genético viral, se sustenta que el educando ha elaborado un *MEId* que alcanza el nivel Intermedio. Para consolidar esto se aplicaron los pasos 3 y 4 que se desarrollan en los párrafos que siguen.

Paso 3. Inferencia de los MEId. Contraste de los elementos del *MEId* con los del MCEA ajustado e identificación de los elementos de las DOyE desarrolladas por el alumno. Para lograr esto se utilizaron las tablas comparativas acerca de las condiciones en las que ocurre el fenómeno y la que muestra el MCEA ajustado.

En la Tabla 12 es posible observar las condiciones para el fenómeno de referencia que muestra el *MEId* en comparación con el MCEA ajustado. En los pasos 1 y 2 del análisis se evidenció que el estudiante identifica las dos condiciones para el fenómeno de infección por SARS-CoV-2: transmisión y entrada del virus al cuerpo humano e interacción a nivel celular, al parecer con células pulmonares. Manifiesta la existencia de un virus específico, pero lo nombra COVID-19 y no SARS-CoV-2, no obstante, relaciona a este coronavirus con la enfermedad que

provoca. Identifica que el daño principal del virus es en los pulmones y las células que se encuentran en ellos, sin embargo, no puede avanzar en su explicación natural hacia los procesos bioquímicos que ocurren en tal nivel de interacción.

Tabla 12

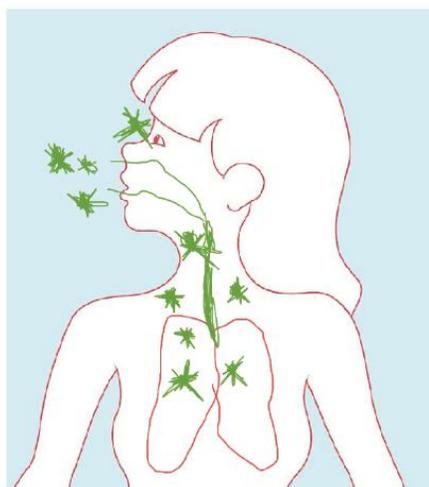
Alumno Caso-tipo 3: condiciones reconocidas

	MCEA Ajustado	MEId
	Presencia del SARS-CoV-2 al interior del cuerpo humano.	Si, el virus COVID-19 se propaga de una persona a otra por estornudo y entra al cuerpo por ojos, nariz y boca, llega a los pulmones.
Condiciones del fenómeno	Interacción bioquímica del SARS-CoV-2 con las células humanas que tengan el receptor de membrana ACE2.	El virus COVID-19 interacciona con ojos, nariz, vías respiratorias, pulmones células .

Por otra parte, la Figura 36 concuerda con la explicación estudiantil de este caso y, aunque el alumno menciona las células en lo escrito por él en las respuestas, no las incluye en el dibujo. En consecuencia, tampoco considera lo que ocurre a nivel celular y molecular entre el virus y las células afectadas. Sin embargo, se esboza una figura que correspondería, por su forma y localización, a los pulmones y se infiere que las células que forman parte de sus tejidos son las afectadas principalmente. Llama la atención que el estudiante representa el virus a pesar de ser más pequeño que la célula y no incluye a ésta. Al parecer, por el nivel de abstracción que se expresa, el educando tiende a pensar que las entidades más afectadas son los pulmones en comparación con las células. Por otra parte, el virus es representado con forma esferoide y proyecciones similares a espículas que indican una característica del SARS-CoV-2 y es un indicio de reconocimiento específico de éste.

Figura 36

Dibujo del Alumno Caso-tipo 3: representación gráfica de las condiciones reconocidas



La Tabla 13 que se muestra en las siguientes páginas contiene la continuación del contraste entre las DOyE del alumno y las del MCEA ajustado. El MEId, incluye al **virus covid-19**, los **pulmones** y a las **células** como entidades reconocidas por el estudiante. Como propiedades o características de las entidades, sabe que el virus tiene **proyecciones alargadas** en la superficie y que puede **propagarse** de una **persona infectada a otra**. El alumno visualiza que el virus es **infeccioso** y que la alteración en las células ocurre cuando el virus introduce su material genético en la célula, esto ya es indicador de un nivel de interacción que origina un cambio en la célula. Las entidades y propiedades mencionadas, junto con esta somera interacción se incluyen en el rubro 'Ámbito 1. Fijación', en la Tabla 13. La mención, por parte del educando, de la acción del virus que **inyecta** su **arn** en la **célula** alcanza para mostrar que la representación estudiantil abstracta, hasta el momento, aporta componentes del rubro 'Ámbito 2. Penetración'. El resto de los ámbitos que se relacionan con la explicación de los procesos moleculares y que involucran las interacciones entre las entidades, así como las relaciones de causales y funcionales del fenómeno de referencia, no tienen componentes y se designaron con la nomenclatura NI ya que no están incluidos en el desarrollo de la explicación espontánea del educando. Al final de la Tabla 13, en el rubro 'Ámbito 7. Liberación', se situó la consecuencia que identifica el alumno: el **virus covid-19** se **propaga** (es contagioso), **entra a los pulmones, afecta a las células al inyectarles arn** y esto es lo que **enferma a la persona**.

De lo anterior se desprende que el alumno elaboró un *MEId* parcial, con algunas confusiones, pero suficiente para considerarlo como Intermedio ya que incluye entidades y propiedades de la Dimensión Ontológica. Solo una parte de la explicación corresponde a la relación causal del fenómeno, en la Dimensión Epistemológica, al incluir que el virus tiene interacción con los pulmones e incluso con células, pero no aborda qué ocurre en la interacción y es el origen de la enfermedad. Aunque el estudiante reconoce que el virus introduce su material genético a la célula infectada, no explica los efectos y alteraciones derivados de ello. Se concluye así que el alumno sabe que el virus provoca una enfermedad, pero sin dar cuenta de qué procesos suceden a nivel molecular.

Tabla 13

Tensión MEId Intermedio del Caso-tipo 3 con el MCEA ajustado

ETAPA A) Reconocimiento virus SARS-CoV-2 / Célula hospedadora									
DIMENSIÓN ONTOLÓGICA					DIMENSIÓN EPISTEMOLÓGICA				
MCEA	MEId Intermedio	Entidad (partícula no viva, sistema vivo, moléculas y conjuntos de moléculas)		Propiedad (atributos y características)		Relación causa-efecto (interacción entre entidades)		Regla de inferencia (relación causal y funcional)	
ÁMBITO	ÁMBITO	MCEA	MEId Intermedio	MCEA	MEId Intermedio	MCEA	MEId Intermedio	MCEA	MEId Intermedio
1. Fijación	Contacto	a) Coronavirus SARS-CoV-2 b) Célula humana hospedadora	a) Virus COVID-19 ; ojos, boca, garganta, nariz, vías respiratorias, pulmones, bronquios; b) célula .	El SARS-CoV-2 tiene espículas (proteína S con subunidades S1 y S2), envoltura y material genético. La célula hospedadora tiene una membrana plasmática que incluye el receptor de membrana ACE2 (enzima convertidora de angiotensina 2).	a) El virus de COVID-19 tiene forma esféroides , tiene proyecciones alargadas en la superficie; entra en contacto con la célula; b) la célula es infectada por el coronavirus.	Si la proteína S de las espículas del SARS-CoV-2 interactúa con el receptor de membrana ACE2 en la célula hospedadora, la primera se fija o ancla en el segundo y se activa la enzima serina-proteasa transmembrana tipo II (TMPRSS2) que corta o escinde la espícula viral y expone la subunidad S2.	El virus COVID-19 interactúa con ojos, boca, nariz, vías respiratorias, pulmones y células .	Cuando numerosos coronavirus SARS-CoV-2 se fijan a células respiratorias con receptor de membrana ACE2, se desarrolla la infección viral en diversos órganos y sistemas del cuerpo humano.	NI
2. Penetración	Inyección	Nucleocápside viral en endosoma Enzimas proteolíticas	ARN (Material genético)	La nucleocápside viral (+ssRNA con proteína N) está protegida dentro de una vesícula o endosoma. Las enzimas proteolíticas rompen enlaces químicos.	El ARN viral es inyectado en la célula.	*Si el endosoma interactúa con las enzimas proteolíticas, se rompe y libera el +ssRNA viral original.	NI	Cuando la penetración del material genético viral ocurre en diversas células, entonces éste puede ser replicado y traducido.	NI

Nota. NI: el alumno no incluye en la explicación el componente indicado.

Continúa...

ETAPA B) Replicación viral									
DIMENSIÓN ONTOLÓGICA					DIMENSIÓN EPISTEMOLÓGICA				
MCEA	MEId Intermedio	Entidad (partícula no viva, sistema vivo, moléculas y conjuntos de moléculas)		Propiedad (atributos y características)	Relación causa-efecto (interacción entre entidades)		Regla de inferencia (relación causal y funcional)		
ÁMBITO	ÁMBITO	MCEA	MEId Intermedio	MCEA	MEId Intermedio	MCEA	MEId Intermedio	MCEA	MEId Intermedio
		Entidad (partícula no viva, sistema vivo, moléculas y conjuntos de moléculas)		Propiedad (atributos y características)	Relación causa-efecto (interacción entre entidades)		Regla de inferencia (relación causal y funcional)		
3. Transcripción temprana	NI	a) Ribosoma activo +ssRNA viral original libre b) Poliproteínas pp1a o pp1ab c) RNA-polimerasa viral dependiente de RNA	NI	El ribosoma activo traduce el material genético viral original. El +ssRNA viral original sin endosoma, tiene una orientación química 5'-3' y es el mensajero (+ssRNAm). Las poliproteínas pp1a o pp1ab son enzimas para sintetizar RNA-polimerasa dependiente de RNA. La RNA-polimerasa dependiente de RNA es una enzima que elabora -ssRNA intermedio de replicación.	NI	-Si el Complejo de iniciación traduce los genes del +ssRNAm, se sintetizan las enzimas poliproteínas pp1a y pp1ab (proteínas virales tempranas). Estas, con intervención del Complejo replicasa transcritas (RTC), elaboran la RNA-polimerasa dependiente de RNA. -Si la RNA-polimerasa dependiente de RNA transcribe el +ssRNAm original y se elabora el -ssRNA intermedio de replicación.	NI	Cuando la información genética viral original es traducida por las células, se forman las enzimas y el RNA intermedio que hacen posible la replicación de nuevos SARS-CoV-2.	
4. Replicación	NI	a) -ssRNA intermedio de replicación b) RNA replicasa	NI	El -ssRNA intermedio de replicación es la transcripción del +ssRNAm original y funciona como molde para la síntesis de +ssRNA genómico viral hijo y los +ssRNA subgenómicos. La RNA replicasa es una enzima que sintetiza RNA.	NI	-Si el -ssRNA viral intermedio de replicación interactúa con el complejo transcritas replicasa (RTC), entonces se sintetizan el +ssRNA genómico viral hijo para la nucleocápside y los +ssRNA subgenómicos para las proteínas tardías estructurales N, S, E y M.	NI	Si el material genético viral es replicado dentro de las células, entonces se forman el material genético de los virus hijos y el material genético para la síntesis de las proteínas estructurales.	
5. Transcripción tardía	NI	a) Ribosoma activo b) +ssRNA subgenómico para proteína N +ssRNA subgenómico para proteína S +ssRNA subgenómico para proteína E +ssRNA subgenómico para proteína M	NI	El ribosoma activo libera factores de iniciación para la síntesis de proteínas virales N, S, E y M. El +ssRNA subgenómico para proteína N tiene los genes para la síntesis de dicha proteína. El +ssRNA subgenómico para proteína S tiene los genes para la síntesis de dicha proteína. El +ssRNA subgenómico para proteína E tiene los genes para la síntesis de dicha proteína. El +ssRNA subgenómico para proteína M tiene los genes para la síntesis de dicha proteína.	NI	-Si los +ssRNA subgenómicos son traducidos por los ribosomas, entonces se forman las proteínas tardías estructurales N (de nucleocápside), S (de espícula), E (de envoltura) y M (de membrana) que forman a los virus hijos. -Si las proteínas estructurales S, E y M pasan del RE al complejo de Golgi, entonces son transformadas en glucoproteínas.	NI	Si el material genético viral para las proteínas estructurales es traducido por los numerosos ribosomas dentro de las células, entonces se formarán las partes de la estructura de una gran cantidad de virus hijos.	
6. Ensamblaje	NI	Nucleocápside del virus hijo Cubierta viral Espículas	NI	La nucleocápside del virus hijo contiene el +ssRNA genómico viral al hijo estabilizado con la proteína N. Este es la réplica del material genético viral original. La cubierta viral está hecha con proteínas estructurales E y M y protege a la nucleocápside. Las espículas, con forma de espina, tienen proteína S (con subunidades 1 y 2) y sobresalen de la cubierta viral.	NI	-Si la nucleocápside, las espículas y la cubierta virales interactúan, entonces se ensambla el SARS-CoV-2 hijo. -Si el SARS-CoV-2 hijo está protegido por una vesícula, entonces es transportado hasta la membrana plasmática.	NI	Una vez formados los virus hijos, son transportados a través del citoplasma hasta las membranas de las células infectadas para ser expulsados.	

ETAPA C) Virus SARS-CoV-2 hijo

DIMENSIÓN ONTOLÓGICA

DIMENSIÓN EPISTEMOLÓGICA

MCEA	MEId Intermedio	Entidad (partícula no viva, sistema vivo, moléculas y conjuntos de moléculas)	Propiedad (atributos y características)	Relación causa-efecto (interacción entre entidades)	Regla de inferencia (relación causal y funcional)
------	-----------------	--	--	--	--

ÁMBITO	ÁMBITO	MCEA	MEId Intermedio						
--------	--------	------	-----------------	------	-----------------	------	-----------------	------	-----------------

Entidad (partícula no viva, sistema vivo, moléculas y conjuntos de moléculas)	Propiedad (atributos y características)	Relación causa-efecto (interacción entre entidades)	Regla de inferencia (relación causal y funcional)
--	--	--	--

7. Liberación

NI

a)Membrana plasmática
b)Coronavirus SARS-CoV-2 hijo ensamblado y en vesícula

NI

La membrana plasmática se fusiona con la membrana de la vesícula que protege al SARS-CoV-2 hijo.
El coronavirus SARS-CoV-2 hijo tiene espículas con las que reconoce al receptor de membrana ACE2 en una nueva célula hospedadora.

NI

-Si el SARS-CoV-2 es expulsado de la célula por evocitosis, entonces sale al ambiente en las gotículas de saliva y de mucosidad de las vías respiratorias de una persona enferma.
-Si el SARS-CoV-2 ingresa al sistema respiratorio de otra persona (nariz, faringe, laringe, bronquios, bronquiolos y alveolos), entonces se puede fijar con sus espículas a una célula hospedadora con el receptor de membrana ACE2 e inicia un nuevo ciclo de infección.

NI

Los virus utilizan a las células hospedadoras para elaborar nuevos virus, lo que altera el funcionamiento de las células, órganos y sistemas afectados.
Si el SARS-CoV-2 replicado es transferido a otra persona mediante gotículas de saliva o de mucosidad, inicia un nuevo ciclo de infección.
Las afectaciones provocadas en la célula hospedadora por el ciclo de infección viral por SARS-CoV-2 pueden ser diversos síntomas resultado de la destrucción celular y de la respuesta inmune que desencadena el cuerpo humano para eliminar al virus.

Una persona infectada propaga el virus covid-19 a otra, el virus inyecta su arm en las células y provoca enfermedad.

Paso 4. Caracterización y descripción del MEId inferido. Comparación del MEId con las características indicadas para los niveles de complejidad explicativa correspondientes Básico, Intermedio y Avanzado.

Con ayuda de la Tabla 13, del paso anterior, es posible evidenciar que el MEId obtenido tiene algunos componentes de la Dimensión Ontológica y de la Epistemológica, no obstante, aún hay espacios vacíos de información (señalados con la nomenclatura NI). El estudiante afirma que el virus provoca COVID-19, tiene contacto con la célula e inyecta el ARN dentro de ella, sin embargo, no describe qué efectos tiene dicha interacción o el papel de material genético viral una vez que se encuentra en el interior celular. Reconoce un proceso inicial de contacto virus/célula hospedadora, pero no la parte correspondiente a la formación de nuevos virus. En su explicación, el alumno concluye que el virus es transmisible y que origina enfermedad al cuerpo humano, pero no explica los eventos que ocurren dentro de la célula y que se relacionan con los primeros. El educando reconoce que existe una interacción, pero no un patrón general de infección viral que incluye distintos momentos de interacción. La explicación espontánea se encuentra incompleta porque no tiene los componentes —entidades y propiedades— requeridos para inferir un proceso y su correspondiente patrón. Lo anterior se demuestra con la presencia de algunos elementos de los ámbitos 1 y 2, pero con vacíos en los ámbitos 3, 4, 5, 6 y 7 (Tabla 13). Estos ámbitos son esenciales para comprender los procesos de transcripción, traducción, replicación, ensamblaje y liberación que explican qué sucede durante la infección por SARS-CoV-2.

Debido a que el MEId del Caso 3 menciona de manera general las dos **entidades** fundamentales —**virus específico y célula pulmonar**— para comprender la infección viral y **escasas propiedades**, pero **esboza una explicación con las interacciones entre las entidades** que alcanza a identificar, se considera que el nivel de complejidad explicativa que le corresponde es el Intermedio, de acuerdo con la clasificación indicada en la Tabla 9 (ver Capítulo 4. Diseño metodológico). Esto es, el MEId incluye la Dimensión Ontológica y una incipiente Dimensión Epistemológica que da cuenta de una descripción y explicación, rudimentarias, pero presentes ya en la representación abstracta. No obstante, aún está ausente la profundidad en la argumentación del alumno que muestre de forma evidente la relación causal y funcional que le permita plantear por completo el fenómeno de referencia y su comportamiento, considerando el nivel educativo.

MEId Avanzado – Alumno Caso-tipo 31 (17 años)

Por último, se analizan las respuestas del alumno del Caso-tipo 31. Las características sobresalientes que presenta son que el estudiante identifica las dos condiciones en las que sucede el fenómeno de referencia, incluye entidades y propiedades con una descripción un poco más detallada que en el Caso-tipo 3, e incluso, se puede apreciar ya la noción de que la infección viral es un proceso que tiene un comportamiento. De igual manera que en los casos ya analizados, los datos empíricos decodificados y codificados completos del Caso-tipo 31 están en el ANEXO 4, en la tabla titulada ‘Inferencia del MEId Avanzado: Alumno Caso-tipo 31’, pp. 330-333. Pero, en los párrafos siguientes se incorporan ejemplos de las ideas y expresiones sobresalientes que están reflejadas en la explicación natural del alumno.

Paso 1. Decodificación e interpretación. Ideas y expresiones útiles como elementos ontológicos y epistemológicos, así como las condiciones para inferir el MEId.

Cuestionario 1. Percepción estudiantil sobre cómo ocurre la infección por SARS-CoV-2. Se le pidió al educando contestar las preguntas después de observar las escenas:



Pregunta 1. Describe qué sucedió en la secuencia anterior:

RT.- “La compañera cometió el error de **juntarse con una persona contagiada sin usar cubrebocas o aplicar la sana distancia y se contagió.**”

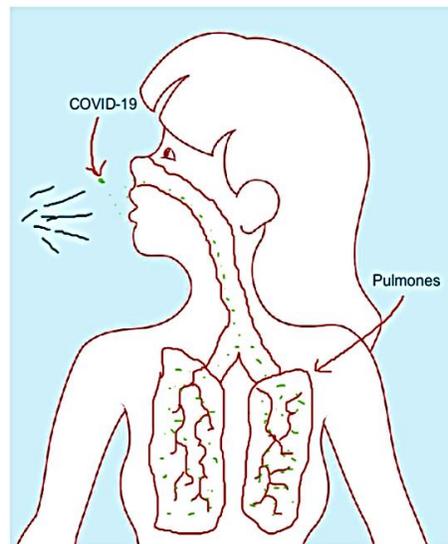
I.- El alumno sabe que el virus es transmisible de persona a persona.

Pregunta 4. Por último, describe DETALLADAMENTE lo que muestra el dibujo que realizaste:

RT.- “Tras el **estornudo**, miles de **virus de COVID-19** salen disparados entrando a la nariz sin protección de nuestra amiga. **Los coronavirus se empiezan a adherir a las células que tengan el receptor adecuado, esto con el fin de seguirse reproduciendo. Las células del pulmón se comienzan a ver en su mayoría afectadas por el coronavirus y se enferma de gravedad.**”, acompañada por la Figura 37.

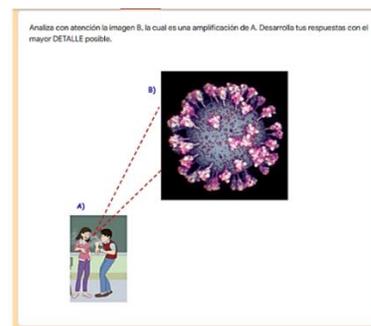
Figura 37

Dibujo elaborado por el Alumno del Caso-tipo 31



I.- La explicación del alumno ya involucra elementos del modelo esenciales y que le permiten hacer un resumen sencillo del fenómeno de infección: una vez que el virus está dentro del cuerpo humano, se une a las células que tienen una característica particular como lo es un receptor específico, por ejemplo, las células del pulmón. La finalidad del virus es hacer nuevos virus, esto provoca la enfermedad. Si bien existen algunas confusiones en la explicación, ésta refleja coherencia porque involucra las entidades reconocidas por el alumno y que le permiten mencionar los sucesos básicos de la infección, casi completos. En cuanto a las confusiones, el educando nombra al virus como la enfermedad y menciona que el virus se reproduce cuando en realidad se replica. Es notorio que el estudiante incluya la existencia de un receptor de membrana celular, pero no indica que se trata del ACE2. En el dibujo realizado por el alumno, el virus es representado apenas como diminutos puntos que se alojan en los pulmones.

Cuestionario 2. Identificación de entidades, propiedades, relaciones causa-efecto y reglas de inferencia



Pregunta 1. ¿Qué muestra la imagen B?; b) ¿Qué efecto puede producir esta entidad en el cuerpo humano?

RT.- *“La imagen muestra lo que pareciera ser una **molécula del virus COVID-19**. Un **coronavirus** como este podría llegar a producir **infecciones en las vías superiores** y causar enfermedades como el **catarro**, si la gravedad de la infección es mayor podría llegar a generar una **neumonía** y, en el peor de los casos, la **muerte**.”*

I.- El estudiante sabe que el virus es una molécula y lo vincula con el origen de enfermedades respiratorias.

Pregunta 2. a) ¿Qué elementos reconoces en la imagen B?; b) ¿qué características piensas que tiene cada uno de ellos?

RT.- *“Lo primero que resalta en la imagen son las **espículas que contienen las glicoproteínas Spike**, características de los coronavirus. Estas glicoproteínas funcionan como la llave que **les permite unirse a la célula huésped** a la que vayan a infectar. Posteriormente, podemos observar **la cápside del coronavirus, esta es un recubrimiento proteico que envuelve a la molécula**. Adentro de la cápside podemos observar el material genético del virus, en el caso de los coronavirus su **material genético sera un ARN viral**; también podemos observar lo que sería la **transcriptasa inversa propia de un virus ARN** y quizás algunas nucleoproteínas más.”*

I.- En realidad, en la imagen no se identifican el ARN ni la transcriptasa, pero el alumno lo incluye en su discurso, tal vez por memorización. En la respuesta, el estudiante ya rebasa la sola mención de las estructuras virales y describe algunas propiedades de éstas.

Pregunta 3. ¿Con qué interacciona directamente, en el interior del cuerpo humano, la entidad que identificaste en la pregunta 1?

RT.- *“El coronavirus al entrar interacciona principalmente con las **vías respiratorias**. Empezando por las **fosas nasales**, pasando por la **laringe** y la **faringe**, interaccionando también con **la traquea y los bronquios hasta llegar a los pulmones**.”*

I.- El alumno tiene presente la ruta que sigue el “virus COVID-19” dentro del cuerpo a nivel macroscópico.

Pregunta 4. ¿Qué pasa en aquello que mencionaste del interior del cuerpo humano, ante la presencia de la entidad identificada en la pregunta 1?

RT.- *“Al inhalar las moléculas del COVID-19, el retrovirus empieza a buscar **células huésped para poder infectar con el fin de reproducirse**. El coronavirus seguirá generando copias sin*

control, que a su vez seguirán generando más copias. Ante esto el sistema inmunitario del cuerpo humano empezará a liberar anticuerpos que intenten acabar con la entidad invasora, esto provoca síntomas como fiebre, dolor garganta y/o tos.”

I.- El alumno incluye la reacción del sistema inmunitario²⁸ y lo relaciona con la aparición de síntomas, pero no identifica el daño causado a la célula hospedadora en primer momento como resultado de la invasión viral y de la alteración metabólica que provoca en ésta. El alumno también resalta la finalidad de la infección que es la formación de nuevas copias del virus.

Paso 2. Depuración de datos codificados. Reunión de elementos de las DOyE y condiciones en las que ocurre el fenómeno de referencia para inferir el MEId, con base en ellos, la autora de la presente tesis, elabora la interpretación que se desarrolla aquí:

- *Condiciones en las que ocurre el fenómeno:* el **coronavirus** se transmite de una persona a otra por medio del estornudo, por lo que existe un **contagio, entra** al cuerpo humano por la nariz y pasa por vías respiratorias hasta llegar a los pulmones. Una vez ahí, el **coronavirus se adhiere a las células** que tienen el **receptor de membrana adecuado** para este virus. La explicación del estudiante ya tiene un grado mayor de detalle al mencionar la existencia de un receptor de membrana necesario para iniciar la interacción virus/célula hospedadora.
- *Entidades:* **coronavirus del COVID-19**; estructuras virales como las **espículas de glicoproteína Spike**, la **cápside** y el **material genético (ARN)**; órganos como **laringe, faringe, tráquea, pulmones, bronquios; células huésped**, que corresponden en este caso a células pulmonares con el receptor adecuado para el virus. La explicación del estudiante involucra un mayor número de entidades que los casos ya descritos con anterioridad, es capaz de mencionar el tipo de proteína de las espículas como parte de la estructura básica del virus y el tipo de material genético.
- *Propiedades:* el coronavirus es **esférico** y tiene **espículas en forma de picos** que le permiten **unirse a la célula huésped**; tiene una cápside y ARN. Es **contagioso** y origina síntomas de alteraciones respiratorias como **fiebre, dolor garganta y/o tos**.

²⁸ Es importante aclarar que, aunque la respuesta inmunológica ante la presencia del SARS-CoV-2 es origen de varios síntomas de la COVID-19, en el MCEA solo se considera la relación entre la alteración de las funciones metabólicas celulares al ser invadidas para formar réplicas virales. El daño que se produce en las células y tejidos de distintos órganos también se relaciona con las alteraciones en el funcionamiento de diversos órganos y muerte celular.

- *Interacción entre entidades:* el **coronavirus** interacciona con las células hospedadoras, es decir, **se une a las células del pulmón** para formar nuevas copias virales. El estudiante ya distingue una interacción entre las entidades, pero no muestra elementos a nivel molecular en sus abstracciones para explicar los procesos que suceden en la célula y que resultan en la formación de nuevos virus.
- *Relaciones causales y funcionales:* **el coronavirus entra al cuerpo humano, infecta a las células pulmonares y las usa para replicarse.** El alumno agrega que, con la formación de nuevos virus, se realiza una respuesta del sistema inmunitario y se origina la enfermedad con síntomas de infecciones respiratorias, catarro, neumonía e incluso puede provocar la muerte. Ya existe en la respuesta del estudiante el reconocimiento de una consecuencia de la interacción viral con la célula y que es la formación de nuevos virus. Por esta razón, la representación mental del educando involucra entidades, algunas características o propiedades de éstas, interacción entre entidades y un resultado de tal interacción. Es decir, puede reconocer un patrón en el fenómeno de infección viral.

Para continuar el análisis, se aplicaron los pasos 3 y 4. Éstos han permitido resaltar la descripción del *MEId* y evidenciar más detalles para su caracterización.

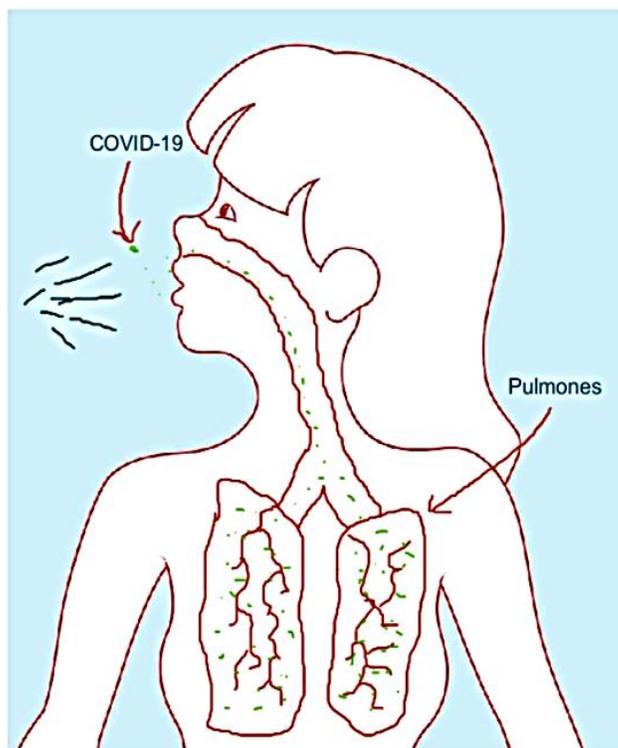
Paso 3. Inferencia de los *MEId*. Contraste del *MEId* con el MCEA ajustado e identificación de los elementos de las DOyE de los alumnos.

El primer comparativo se hizo entre el MCEA ajustado y el *MEId* sobre las condiciones para el fenómeno de referencia e identificadas en el paso 2. Con base en tal información, se muestra la Tabla 14, misma que pone en evidencia que el estudiante sí considera ambas condiciones esenciales para que ocurra el fenómeno de infección por SARS-CoV-2. En la explicación espontánea del alumno se refiere el paso del virus de una persona hacia las vías respiratorias de otra por medio del estornudo, así como la interacción entre el virus y las células hospedadoras. Reconoce la existencia de un coronavirus, pero lo nombra como la enfermedad que produce: COVID-19. Menciona también que las células afectadas por el coronavirus corresponden a las del sistema respiratorio porque tienen un receptor de membrana específico para el patógeno, sin mencionar al receptor ACE2.

Tabla 14*Alumno Caso-tipo 31: condiciones reconocidas*

MCEA ajustado	MEId
Presencia del SARS-CoV-2 al interior del cuerpo humano.	Sí, el coronavirus del COVID-19 se contagia de una persona a otra por estomudo y entra al cuerpo por la nariz y la boca, llega a los pulmones.
Condiciones del fenómeno	
Interacción bioquímica del SARS-CoV-2 con las células humanas que tengan el receptor de membrana ACE2.	El coronavirus del COVID-19 interacciona con nariz, laringe, faringe, tráquea, vías respiratorias, pulmones, bronquios, células del pulmón.

La Figura 38 apoya la explicación de las condiciones que menciona el alumno ya que dibuja al virus en el interior del cuerpo y en interacción con los pulmones, aunque no hay representación de células afectadas como muestra tal esquema.

Figura 38*Dibujo del Alumno Caso-tipo 31: representación gráfica de las condiciones reconocidas*

El segundo comparativo lleva a la Tabla 15. En ella se encuentra el contraste de los elementos de las DOyE estudiantiles con las correspondientes del MCEA ajustado. Las entidades **coronavirus del COVID-19, espículas de glicoproteína Spike, cápside, material genético (ARN), laringe, faringe, tráquea, pulmones, bronquios y células huésped**, fueron colocadas en los rubros 'Ámbito 1. Fijación', 'Ámbito 2. Penetración' y '4. Replicación' de la Tabla 15. Las propiedades, aunque sencillas, dan cuenta de las características de las entidades principales y que permiten al alumno una explicación básica: el virus tiene **espículas en forma de picos para unirse a la célula huésped**, además de una cápside y ARN. Esto da cuenta de los dos rubros de la Dimensión Ontológica. Y, a pesar de que existen vacíos (marcados con la nomenclatura NI) en los ámbitos, 3, 4, 6 y 7, relacionados con la transcripción, traducción, ensamblaje y liberación del patógeno, la capacidad de descripción del MEId del caso 31 da cuenta se forma sencilla también sobre los dos rubros de la Dimensión Epistemológica. Esto último debido a que el estudiante sí tiene las nociones sobre la existencia de una interacción virus/célula hospedadora mediada por las **espículas del virus que permiten la unión con un receptor de membrana adecuado** localizado en la **célula del pulmón**. La explicación espontánea del alumno da un paso más en profundidad al incluir que **el virus infecta a la célula para reproducirse (formar copias)**. El efecto de este proceso, indicado al final de la Tabla 15, que ya conforma un ciclo, desde el reconocimiento virus/célula hospedadora, hasta la formación de nuevos virus, es el desarrollo de síntomas como **fiebre, dolor de garganta y/o tos**. Tales síntomas, aunque generales, ya se asocian con la enfermedad COVID-19.

Tabla 15

Tensión MEId Avanzado del Caso-tipo 31 con el MCEA ajustado

ETAPA A) Reconocimiento virus SARS-CoV-2 / Célula hospedadora										
DIMENSIÓN ONTOLÓGICA						DIMENSIÓN EPISTEMOLÓGICA				
MCEA	MEId Avanzado	Entidad (partícula no viva, sistema vivo, moléculas y conjuntos de moléculas)		Propiedad (atributos y características)		Relación causa-efecto (interacción entre entidades)		Regla de inferencia (relación causal y funcional)		
ÁMBITO	ÁMBITO	MCEA	MEId Avanzado	MCEA	MEId Avanzado	MCEA	MEId	MCEA	MEId Avanzado	MEId Avanzado
1. Fijación	Adherencia	a) Coronavirus SARS-CoV-2 b) Célula humana hospedadora	a) Coronavirus de COVID-19 ; b) boca, garganta, nariz, vías respiratorias, pulmones, bronquios; b) célula huésped, células pulmonares.	El SARS-CoV-2 tiene espículas (proteína S con subunidades S1 y S2), envoltura y material genético. La célula hospedadora tiene una membrana plasmática que incluye el receptor de membrana ACE2 (enzima convertidora de angiotensina 2).	a) El coronavirus de COVID-19 tiene forma esférica. Las espículas son picos, rodean al virus y tienen las glicoproteínas y funcionan como la llave que le permite unirse a la célula huésped. La membrana lipídica es una capa de grasa que rodea al virus y la cápside es un recubrimiento proteico dentro se encuentra el material genético del virus (ARN); b) las células pulmonares y las células huésped tienen un receptor de membrana para este virus y son las que son infectadas por el coronavirus.	Si la proteína S de las espículas del SARS-CoV-2 interactúa con el receptor de membrana ACE2 en la célula hospedadora, la primera se fija o ancla en el segundo y se activa la enzima serina-proteasa transmembrana tipo II (TMPRSS2) que corta o escinde la espícula viral y expone la subunidad S2.	El virus interactúa con la rige, faringe, tráquea, pulmones y bronquios, células huésped, células pulmonares.	Cuando numerosos coronavirus SARS-CoV-2 se fijan a células respiratorias con receptor de membrana ACE2, se desarrolla la infección viral en diversos órganos y sistemas del cuerpo humano.	El virus COVID-19 se adhiere a las células del pulmón y se reproduce en ellas, por lo que enferma al cuerpo humano.	
2. Penetración	NI	Nucleocápside viral en endosoma Enzimas proteolíticas	Material genético (ARN)	La nucleocápside viral (+ssRNA con proteína N) está protegida dentro de una vesícula o endosoma. Las enzimas proteolíticas rompen enlaces químicos.	NI	*Si el endosoma interactúa con las enzimas proteolíticas, se rompe y libera el +ssRNA viral original.	NI	Cuando la penetración del material genético viral ocurre en diversas células, entonces éste puede ser replicado y traducido.	NI	NI

Nota. NI: el alumno no incluye en la explicación el componente indicado.

Continúa...

Relación causa-efecto
(interacción entre entidades)

DIMENSIÓN ONTOLÓGICA				DIMENSIÓN EPISTEMOLÓGICA					
MCEA	MEId Avanzado	Entidad (partícula no viva, sistema vivo, moléculas y conjuntos de moléculas)	Propiedad (atributos y características)	Relación causa-efecto (interacción entre entidades)		Regla de inferencia (relación causal y funcional)			
ÁMBITO	ÁMBITO	MCEA	MEId Avanzado	MCEA	MEId Avanzado	MCEA	MEId	MCEA	MEId Avanzado
3. Transcripción temprana	NI	a) Ribosoma activo +ssRNA viral original libre b) Poliproteínas pp1a o pp1ab c) RNA-polimerasa viral dependiente de RNA	NI	El ribosoma activo traduce el material genético viral original. El +ssRNA viral original sin endosoma, tiene una orientación química 5'-3' y es el mensajero (+ssRNAm). Las poliproteínas pp1a o pp1ab son enzimas para sintetizar RNA-polimerasa dependiente de RNA. La RNA-polimerasa dependiente de RNA es una enzima que elabora -ssRNA intermediario de replicación	NI	*Si el Complejo de iniciación traduce los genes del +ssRNAm, se sintetizan las enzimas poliproteínas pp1a y pp1ab (proteínas virales tempranas). Estas, con intervención del Complejo replicasa transcriptasa (RTC), elaboran la RNA-polimerasa dependiente de RNA. *Si la RNA-polimerasa dependiente de RNA transcribe el +ssRNAm original y se elabora el -ssRNA intermediario de replicación.	NI	Cuando la información genética viral original es traducida por las células, se forman las enzimas y el RNA intermediario que hacen posible la replicación de nuevos SARS-CoV-2.	NI
4. Replicación	Reproducción	a) -ssRNA intermediario de replicación b) RNA replicasa	Material genético (ARN)	NI	NI	El -ssRNA viral intermediario de replicación interacciona con el complejo transcriptasa replicasa (RTC), entonces se sintetizan el +ssRNA genómico viral hijo para la nucleocápside y los +ssRNA subgenómicos para las proteínas tardías estructurales N, S, E y M. *Si los +ssRNA subgenómicos son traducidos por los ribosomas, entonces se forman las proteínas tardías estructurales N (de nucleocápside), S (de espícula), E (de envoltura) y M (de membrana) que forman a los virus hijos. *Si las proteínas estructurales S, E y M pasan del RE al complejo de Golgi, entonces son transformadas en glucoproteínas.	El virus de COVID-19 genera copias en las células del pulmón.	Si el material genético viral es replicado dentro de las células, entonces se forman el material genético de los virus hijos y el material genético para la síntesis de las proteínas estructurales.	El virus se multiplica en los pulmones y en las células huésped.
5. Transcripción tardía	NI	a) Ribosoma activo b) +ssRNA subgenómico para proteína N +ssRNA subgenómico para proteína S +ssRNA subgenómico para proteína E +ssRNA subgenómico para proteína M	NI	El ribosoma activo libera factores de iniciación para la síntesis de proteínas virales N, S, E y M. El +ssRNA subgenómico para proteína N tiene los genes para la síntesis de dicha proteína. El +ssRNA subgenómico para proteína S tiene los genes para la síntesis de dicha proteína. El +ssRNA subgenómico para proteína E tiene los genes para la síntesis de dicha proteína. El +ssRNA subgenómico para proteína M tiene los genes para la síntesis de dicha proteína.	NI	NI	NI	Si el material genético viral para las proteínas estructurales es traducido por los numerosos ribosomas dentro de las células, entonces se formarán las partes de la estructura de una gran cantidad de virus hijos.	NI
6. Ensamblaje	NI	Nucleocápside del virus hijo Cubierta viral Espículas	NI	La nucleocápside del virus hijo contiene el +ssRNA genómico viral hijo estabilizado con la proteína N. Éste es la réplica del material genético viral original. La cubierta viral está hecha con proteínas estructurales E y M y protege a la nucleocápside. Las espículas, con forma de espina, tienen proteína S (con subunidades 1 y 2) y sobresalen de la cubierta viral.	NI	NI	NI	Una vez formados los virus hijos, son transportados a través del citoplasma hasta las membranas de las células infectadas para ser expulsados.	NI

Continúa...

ETAPA C) Virus SARS-CoV-2 hijo

DIMENSIÓN ONTOLÓGICA					DIMENSIÓN EPISTEMOLÓGICA					
MCEA		MEId Avanzado		Entidad (partícula no viva, sistema vivo, moléculas y conjuntos de moléculas)	Propiedad (atributos y características)		Relación causa-efecto (interacción entre entidades)		Regla de inferencia (relación causal y funcional)	
ÁMBITO	ÁMBITO	MCEA	MEId Avanzado	MCEA	MEId Avanzado	MCEA	MEId	MCEA	MEId Avanzado	
7. Liberación	NI	a)Membrana plasmática b)Coronavirus SARS-CoV-2 hijo ensamblado y en vesícula	NI	La membrana plasmática se fusiona con la membrana de la vesícula que protege al SARS-CoV-2 hijo. El coronavirus SARS-CoV-2 hijo tiene espículas con las que reconoce al receptor de membrana ACE2 en una nueva célula hospedadora.	NI	•Si el SARS-CoV-2 es expulsado de la célula por exocitosis, entonces sale al ambiente en las gotículas de saliva y de mucosidad de las vías respiratorias de una persona enferma. •Si el SARS-CoV-2 ingresa al sistema respiratorio de otra persona (nariz, fainge, lainge, bronquios, bronquiolos y alveolos), entonces se puede fijar con sus espículas a una célula hospedadora con el receptor de membrana ACE2 e inicia un nuevo ciclo de infección.	NI	Los virus utilizan a las células hospedadoras para elaborar nuevos virus, lo que altera el funcionamiento de las células, órganos y sistemas afectados. Si el SARS-CoV-2 replicado es transferido a otra persona mediante gotículas de saliva o de mucosidad, inicia un nuevo ciclo de infección. Las afectaciones provocadas en la célula hospedadora por el ciclo de infección viral por SARS-CoV-2 pueden ser diversos síntomas resultado de la destrucción celular y de la respuesta inmune que desencadena el cuerpo humano para eliminar al virus.	El coronavirus de COVID-19 es contagioso, infecta células huésped para generar copias de sí mismo y esto provoca síntomas (fiebre, dolor de garganta, tos). Es expulsado del cuerpo mediante el estornudo.	

Paso 4. Caracterización y descripción del MEId inferido. Comparación del MEId con las características indicadas para los niveles de complejidad explicativa correspondientes a Básico, Intermedio y Avanzado.

El contraste mostrado en la Tabla 15 comprueba que el MEId inferido incluye algunos componentes, pero de ambos rubros de la Dimensión Ontológica, y algunos más de ambos rubros de la Dimensión Epistemológica. No obstante, también hay algunos espacios vacíos de información. Una vez obtenida la descripción del MEId, se puede notar que la característica principal es que este estudiante sí identifica ambas condiciones para la ocurrencia del fenómeno de infección por SARS-CoV-2 en células humanas: la entrada del patógeno al cuerpo, así como la interacción del virus/célula hospedadora, descrita por el estudiante a nivel de célula pulmonar. No incluye el nombre correcto del coronavirus, pero lo nombra como la enfermedad que produce, COVID-19, lo que es indicador de la relación correcta. Reconoce la existencia de un receptor de membrana específico en las células pulmonares, aunque no el ACE2. Relaciona un tipo de contacto entre estas entidades y que dan inicio al daño celular y la enfermedad COVID-19. El educando no informa sobre detalles moleculares en el proceso de infección, pero refleja un vínculo entre la existencia del virus, su interacción con la célula para replicarse y el surgimiento de alteraciones que producen la enfermedad.

De esta forma se tiene que, en el Caso-tipo 31, el estudiante es capaz de establecer la relación entre el coronavirus, la existencia de un proceso, la noción de efecto dañino en la célula hospedadora y varios síntomas generales de enfermedad COVID-19, pero no explica cómo ocurre la alteración metabólica que lleva a la replicación viral, destrucción celular y sintomatología. Además, muestra que reconoce un incipiente proceso que explica la infección y que es reflejo de reconocimiento de un cierto patrón: el virus con espículas infecta células con receptor de membrana específico, dentro de ellas el virus forma copias virales, esto enferma al cuerpo humano. Un dato que suma al educando a su explicación es que la formación de nuevos virus desencadena una respuesta inmunológica que relaciona con síntomas de enfermedad. En este caso, tampoco explica lo que sucede a nivel de interacción celular y molecular.

Con el sustento de las evidencias mostradas hasta el momento, se concluye que el alumno del Caso-tipo 31 expone, aunque de forma sencilla, **algunas entidades, propiedades, explicaciones de interacciones entre las entidades e incluso esboza un comportamiento del fenómeno de referencia.** Bajo este contexto, el estudiante describe, explica y predice el fenómeno

de referencia y por estas razones, el nivel de complejidad del MEId corresponde al Avanzado, con base en la clasificación indicada en la Tabla 9 (ver Capítulo 4. Diseño metodológico).

Comparación entre los tres niveles de MEId Casos-tipo

Los MEId tienen en común aspectos como los que se listan:

- Reconocen al menos una de las condiciones del fenómeno de referencia: el virus es transmisible por gotículas de saliva expulsadas de una persona enferma a otra y entra al cuerpo de esta última.
- Relacionan un coronavirus con la aparición de síntomas generales de COVID-19 como son dolor de garganta, tos y fiebre e incluso el riesgo de muerte por la enfermedad. No mencionan el nombre —SARS-CoV-2— del ente que lo causa.
- No explican cómo ocurre la alteración metabólica que lleva a la replicación viral, destrucción celular y sintomatología.
- Consideran que la enfermedad es de tipo respiratorio y no sistémica.

Asimismo, los tres MEId se distinguen por lo que se menciona a continuación:

- El nivel Básico es el único que no reconoce la segunda condición que es la interacción molecular virus/célula hospedadora. Tampoco explicita el nombre de la enfermedad COVID-19. Solo refleja el desarrollo incipiente de una explicación que corresponde a la Dimensión Ontológica.
- El nivel Intermedio sí incluye nociones de contacto virus/célula hospedadora y entrada del ARN viral, pero no el de una célula hospedadora específica. Tampoco identifica entidades moleculares que pudieran ser la base para explicar qué función tiene el ARN viral en la replicación y que dieran margen para abordar el proceso cíclico de infección. Refleja que la Dimensión Ontológica tiene un mayor desarrollo e incursiona en la Dimensión Epistemológica al reconocer la interacción virus/célula, por lo que describe e intenta explicar causalmente el fenómeno de referencia.
- El nivel Avanzado muestra el reconocimiento de un cierto patrón: el virus con espículas infecta células pulmonares con receptor de membrana específico, aunque no indica el tipo. Dentro de ellas el virus forma copias virales, esto enferma al cuerpo humano. En este caso están presentes elementos equiparables a las DOyE necesarias para describir, explicar y predecir el fenómeno de referencia.

Otro aspecto relevante es que —debido a la escasez de elementos ontológicos y epistemológicos en los MEI*Id* explorados— es posible inferir que los estudiantes no han desarrollado aún una construcción de conocimiento científico escolar que les permita comprender la infección viral por SARS-CoV-2 de forma más detallada, completa y profunda. Esto, considerando tres situaciones del contexto escolar de la muestra participante en la investigación: los alumnos cursaban la asignatura Biología IV, las demandas del currículo escolar sobre el tratamiento didáctico del contenido conceptual ‘3.3 Los virus y el cáncer’ y que éste se abordó en clase dos meses antes de la aplicación de los instrumentos. Los tres factores se relacionan con un nivel de profundidad para el desarrollo del contenido conceptual que involucra, en condiciones ideales, el conocimiento por parte de los alumnos sobre aspectos generales de estructura celular y viral; moléculas como enzimas y material genético; así como los procesos bioquímicos requeridos para la ocurrencia del ciclo lítico, entre ellos, la transcripción y síntesis de proteínas virales.

El fenómeno de infección por SARS-CoV-2, debido a la naturaleza molecular de las interacciones que involucra, requiere de una construcción abstracta compleja porque las entidades participantes no son perceptibles directamente con los sentidos humanos, sino que se requiere del apoyo de determinados instrumentos, aparatos y métodos experimentales para su estudio. Esto en conjunto con una interpretación con sustento teórico. Como componentes físicos tangibles de un sistema solo es posible observar por ejemplo a las células y a los virus con microscopios de determinada potencia, sobre todo las partículas virales. Representarlas gráficamente en los libros de texto y materiales didácticos conlleva, en general, características como esquemas bidimensionales e inclusión de colores para distinguir la estructura fina que tienen. La descripción de sus características o propiedades involucra conocimiento científico biológico y bioquímico, como sustento fundamental, para entender las formas de interacción, los procesos que ocurren derivados de ésta, así como los resultados o consecuencias, tanto dañinas como benéficas²⁹. Todo

²⁹ Es importante recordar que los virus también son producto de la selección natural en la Tierra y la interacción que tienen con los seres vivos lleva, al menos, 3 500 millones de años, si se toman en cuenta las hipótesis actuales acerca de su posible origen. Algunos científicos piensan que estas partículas surgieron antes que las primeras células procariotas, otros investigadores consideran que pudo ocurrir a partir de células procariotas e incluso de las eucariotas. El estudio de los virus aporta evidencias sobre su importancia en el planeta ya que no solo son origen de enfermedades, como se piensa con frecuencia. La estructura de los virus, que involucra sus características moleculares, hace que sean entidades relevantes en la evolución porque pueden ser vectores que facilitan el intercambio de genes entre células y seres pluricelulares. Esta capacidad los hace contribuir en la generación de biodiversidad a nivel genético. Por otra parte, algunas especies de virus destruyen bacterias nocivas para el ser humano u otros organismos, algunas más son utilizadas para insertar genes deseables en bacterias y producir de esa forma antibióticos, vacunas u otras sustancias importantes en la medicina.

ello requiere de un desafío racional elevado para la elaboración de ideas congruentes por parte de los sujetos, en este caso de los alumnos. Tal situación se recrudece al no tener el soporte del conocimiento científico escolar apropiado al respectivo nivel educativo. De acuerdo con los resultados ya expuestos, se infiere que la dificultad principal —si es que es posible unificar los distintos niveles de MEId— es la debilidad de los fundamentos en las explicaciones espontáneas obtenidas para exponer cómo ocurre el fenómeno de infección.

En el universo de representaciones mentales que se ha explorado en la muestra de alumnos, las respuestas de los estudiantes parecen tener su origen en situaciones perceptibles directamente por ellos, como son el estornudo en cuanto a forma de transmisión principal, los síntomas de malestar semejantes a la gripe y la falta de seguimiento de medidas de prevención del contagio. Al solicitar que expliquen cómo sucede la infección dentro del cuerpo humano, pueden mostrar un manejo básico y repetitivo de términos biológicos: *virus*, *célula*, *cápside*, *membrana*, *receptor de membrana*, *glucoproteínas*, *ARN*, por ejemplo. Las explicaciones pueden parecerles completas a los propios alumnos, pero no muestran una apropiación de conocimiento suficiente para resolver las confusiones y los faltantes en el sistema ontológico y epistemológico que muestran. Como es notorio, involucrar los términos biológicos como entidades en una explicación ya confiere en primer lugar un inicio de proceso de conceptualización que propiciaría el reconocimiento de las características de las entidades. Y también poner en evidencia el por qué las entidades pueden interactuar y cómo es que de ello resultan determinadas consecuencias. Al parecer, la abstracción es una de las dificultades centrales en los MEId obtenidos, entendida ésta como la posibilidad de formar la idea o representación mental de lo que se necesita describir y comprender, pero en un contexto teórico disciplinar que propicie la profundidad y coherencia provenientes de la ciencia y que es posible transponer hacia la CE.

Nersessian (2007) sostiene que los modelos mentales no son solo constructos que ayudan a razonar, sino que ese razonamiento permite el tránsito hacia la construcción de nuevas representaciones. Es posible entonces que incentivar los procesos de abstracción en el diseño de SD favorezca, además de la construcción de nuevas entidades y reconstrucción de las ya existentes en los MEId, el incremento del conocimiento científico escolar por parte del alumno y la capacidad de seleccionar qué parte de ese conocimiento da sustento y solidez a sus explicaciones. Los adolescentes de 16 y 17 años muestran una inquietud más consciente por elaborar sus propias explicaciones del mundo. La elaboración de estrategias didácticas que involucren el desarrollo de

habilidades de abstracción, desde el enfoque de modelos, a la vez que recuperen las explicaciones espontáneas de los alumnos, pueden facilitar, como es sabido, abordara los retos para la construcción de conocimiento científico escolar. Como afirma Gutierrez (2017), la dimensión psicológica que permite la conexión entre los constituyentes ontológicos y los epistemológicos al considerar las relaciones causales que de forma natural buscan los sujetos en la necesidad de explicar el mundo.

Distancia de los MEId con respecto del MCEA ajustado

Con base en los MEId inferidos se tiene que la hipótesis de esta investigación se confirma porque, en los estudiantes de la muestra natural estudiada, sí existe escasez en los sistemas de referencia ontológico y epistemológico de las formas de pensamiento espontáneo que han elaborado para comprender el fenómeno de infección viral por SARS-CoV-2 en células humanas. Tal situación conduce a los educandos, en la mayoría de los casos, a elaborar modelos mentales en los cuales describen de forma simplificada el fenómeno de referencia; solo algunos estructuran modelos que incursionan en la descripción del fenómeno y en la elaboración de una explicación evidentemente básica; los menos, elaboran modelos más completos y son capaces, aunque de manera sencilla, de describir, explicar y predecir el fenómeno. De esta manera, los MEId, se puede categorizar en tres niveles: Básico, Intermedio y Avanzado.

Derivado de la existencia de escasez, se resaltan las dificultades en la construcción de CCE, es decir, en la elaboración de éste existen presencia mínima, omisiones y confusiones relacionadas con las entidades, propiedades, relaciones causales y relaciones funcionales que dan cuenta del fenómeno completo a nivel celular y molecular de manera específica para el caso SARS-CoV-2. A su vez, los MEId obtenidos comprueban que existen componentes de las DOyE que permitirían identificar criterios para el diseño y validación de SD pertinentes con las necesidades de las formas espontáneas del pensamiento de los estudiantes de Educación Media Superior. El enfoque de modelos, de esta forma, contribuye con la declaración o manifestación del proceso de construcción de conocimiento por parte de los estudiantes ya que hace visibles los elementos ontológicos y epistemológicos que utilizan en una explicación. La capacidad de hacer representaciones mentales es inherente a los procesos cognitivos del ser humano, pero la búsqueda de conocimiento para comprender el mundo involucra tanto la intuición como la inferencia. El primero incluye el Sistema de Creencias (planteado por Gutiérrez, 2007) y no necesariamente conlleva un proceso de

reflexión, el segundo es producto del razonamiento y permite explicar la realidad al hacer uso de ideas coherentes para llegar a conclusiones que correspondan de la forma más cercana posible con las evidencias que se observan en dicha realidad. La coexistencia de ambos procesos en el sujeto plantea una dificultad en la comprensión de los sucesos naturales del mundo.

De acuerdo con Samaja (1993) “La realidad (cualquier sector de la realidad) es siempre infinitamente compleja, y no se puede pasar directamente desde la percepción común y del comportamiento práctico espontáneo, a la descripción científica y a la “visión teórica”” (p. 159). Samaja también aclara que la elaboración teórica es factible cuando la persona conceptualiza, es decir, lleva a cabo una abstracción que consiste en la representación mental de ciertas características de los hechos. Esto conduce a la importancia de los modelos como intermediarios entre la realidad y la teoría, así como constructos que involucran significados que permiten la comprensión, en el caso de la biología, de un fenómeno natural abordado por este campo de conocimiento científico. Lo anterior está en consonancia con lo que sostienen tanto Giere (1999), como Adúriz-Bravo (2011) en cuanto a que la complejidad de los sistemas estudiados por las ciencias lleva a los investigadores a utilizar modelos que faciliten la comprensión, es decir, el desarrollo de ideas que generen explicaciones razonadas. De lo anterior se desprende que la utilidad del estudio de los MEI_d y el uso del dispositivo teórico-metodológico MCEA ajustado, al poner en relevancia las explicaciones espontáneas estudiantiles, evidencian el Sistema de Creencias de los educandos y facilitan el diseño de estrategias didácticas con posibilidades de desarrollar la abstracción en los alumnos.

Si se retoma el MCEA ajustado, éste tiene como características principales que se acerca más hacia el MCi debido a la especificidad del caso con base en el virus SARS-CoV-2. En relación con el MCu, el MCEA es cercano a él, pero el currículum escolar desarrollado en el *Programa Analítico. Biología IV. Quinto Año* (ENP/UNAM, 2017) aborda el proceso de infección viral de forma general. Por lo tanto, el MCEA también es cercano al MCu, no obstante, tiene una mayor complejidad explicativa que éste último. Con respecto del MEI_l, éste se aleja de forma notoria, tanto del MCu como del MCi. Sobre los MEI_d, si bien no se ajustan de manera total al MCEA, sí incluyen componentes de las DOyE más detallados que los MEI_l. En este aspecto, se contribuye con la actualización en el registro de las explicaciones espontáneas de los alumnos.

Como ha quedado en evidencia, los MEI_d, hasta este momento, están lejanos del MCEA ajustado y ello expone la dificultad potencial de los estudiantes para comprender entidades

biológicas básicas como virus y célula, sus propiedades singulares, así como las relaciones causa-efecto que explican de forma racional y fundamentada la interacción coronavirus SARS-CoV-2/célula hospedadora, así como el consecuente conjunto de síntomas que distinguen a la enfermedad COVID-19. Pero, también exponen la relevancia de los componentes de las DOyE que sí están presentes y los cuales pueden ser retomados para propiciar la construcción de conocimiento científico escolar. Desde la DC, la construcción del conocimiento científico escolar, orientado por el MCEA, requiere en primer lugar del desarrollo de la Dimensión Ontológica en la forma de pensar de los estudiantes, ésta contendría los componentes esenciales para complementar el MEI que les permitiera elaborar, posteriormente, el conocimiento necesario para que las explicaciones espontáneas resultaran más cercanas a la explicación científica escolar.

Gutierrez (2007) expone que los sistemas de creencias estudiantiles y los sistemas de conocimiento de la ciencia quizá compartan categorías ontológicas y que los primeros, cognitivamente, originan las ideas espontáneas. Afirma la autora que éstas incluyen conocimientos cotidiano y formal en los procesos cognitivos de asimilación y acomodación. Agrega que la construcción de saberes sistematizada por la actividad científica formaliza el conocimiento. En este sentido, el MCEA contribuye con la formalización de los MEI al proporcionar un análisis de éstos que establezca criterios útiles para construir modelos científicos escolares cada vez más acabados. De esta forma, la comprensión del fenómeno de infección viral por SARS-CoV-2 en células humanas podría rebasar la mera repetición de información conceptual y aportar a los estudiantes un nivel de profundidad que evidencie el comportamiento del fenómeno de la manera más completa posible y genere en el alumnado un interés consciente para asumir las medidas de higiene necesarias en la contención y control de la enfermedad COVID-19.

Samaja (1993) reflexiona lo siguiente:

Los hechos de las experiencias espontáneas están, por así decirlo, sumergidos en la obviedad de lo cotidiano, y no proporcionan orientación definida acerca de cuáles rasgos resultarán relevantes para descubrir los nexos que determinan su comportamiento. El científico procede entonces a una *re-descripción*, con la que orienta la búsqueda en el sentido de algunas hipótesis sobre los posibles rasgos esenciales y las posibles claves de funcionamiento.

... Esta re-descripción es una condición imprescindible para identificar los hechos; averiguar sus diversos atributos; sus relaciones; para *poder volver* a ellos para constatar cambios, transformaciones ... (p. 160)

Samaja refuerza lo que plantean Gutiérrez (2007) y Nersessian (2007) en cuanto a que sí es posible la transición del pensamiento espontáneo hacia el pensamiento científico. Este proceso de paso, mediante la construcción de conocimiento científico escolar, requiere de la transposición didáctica esencial para el tratamiento de los contenidos escolares. López y Moreno (2014), con la contribución del constructo MCEA, aportan un referente esencial para el estudio del universo de los niveles de complejidad explicativa en los MEI. Con base en lo desarrollado hasta el momento, se deriva que tal diversidad se puede abordar de manera teórico-metodológica y esto la hace susceptible de nuevas investigaciones en las que se tenga la oportunidad de incursionar en la mejora de los procesos de enseñanza y aprendizaje de la biología.

Así, la presente exploración de los MEI de 5° Año de preparatoria acerca del fenómeno de referencia, hace posible la retroalimentación de las evidencias empíricas que, incorporadas al MCEA, serán clave para hacer una aproximación más certera y confiable en la interpretación del MCEA y en las contribuciones posibles que deriven del presente trabajo. Algunos de los campos que pueden tener interés en esto hallazgos son el desarrollo curricular para incentivar la construcción de conocimiento científico escolar significativo para el alumno, es decir, adecuado a las necesidades e intereses de las explicaciones espontáneas estudiantiles. La posibilidad que se abriría es la de una comprensión estudiantil más acorde con la forma de pensar científica, transpuesta al nivel educativo por medio del ejercicio en la construcción de representaciones mentales derivadas del vínculo entre la abstracción para comprender la realidad y las características biológicas de ésta.

Alcances: hallazgos y limitantes

El centro de la presente investigación —de naturaleza cualitativa y exploratoria— está en estudiar la construcción de CCE por medio de los MEI inferidos a partir de las explicaciones espontáneas de estudiantes de 5° Año de preparatoria. De esta forma, el énfasis es detallar la clase de abstracciones y generalizaciones que muestran los alumnos para construir sus modelos mentales acerca del fenómeno de infección por SARS-CoV-2 en células humanas. En consecuencia, no aborda otros factores que pueden influir en el proceso de construcción de conocimiento; por

ejemplo, recursos didácticos de apoyo al interior de la clase, la organización para el trabajo colaborativo de los estudiantes o la evaluación del aprendizaje en términos de logros cuantificables. Se tomó esta opción con la finalidad de abordar en profundidad la construcción de los modelos mentales de los adolescentes sobre un fenómeno natural específico, sin intención de reducir la complejidad de los procesos de enseñanza y de aprendizaje que, por su naturaleza formativa se vinculan con un elevado número de factores socioculturales. En sí, la preocupación central ha sido explorar la descripción de las formas espontáneas del pensamiento estudiantil para aportar información científica, con sustento empírico y teórico, acotado a las DOyE estructuradas por los alumnos. En este sentido, se hace un aporte diagnóstico que ha confirmado la hipótesis planteada al inicio de la investigación y que es un punto de partida en el conocimiento del estado de los modelos estudiantiles.

Respecto de la consulta documental, se comprobó la escasez de registro en investigación educativa sobre las explicaciones espontáneas estudiantiles relacionadas con nociones como estructura viral y celular, material genético, infección viral, propagación, medidas de prevención de infecciones virales, el SARS-CoV-2 y la COVID-19, utilidad de medidas preventivas recomendadas para una infección viral. Tal escasez se relaciona con el número de artículos científicos publicados al respecto y con tres situaciones más: un amplio periodo de tiempo en el cual, al parecer, no se han realizado investigaciones sobre el contenido; la mayoría de los reportes encontrados son de estudios generalmente correspondientes a educación básica, equivalente a los niveles de primaria y secundaria; no había antecedentes sobre muestras de alumnos de Educación Media Superior en México. Esto ha generado una laguna en el conocimiento que aborde la forma de construcción de conocimiento escolar en dicho nivel educativo en nuestro país. Así, quedó en evidencia la necesidad de actualizar y documentar tal reporte.

Por otra parte, la planeación de los instrumentos de registro requeridos para reunir las evidencias de los MEId llevó a un diseño original y específico para explorar cómo los alumnos identifican las condiciones en las cuales ocurre el fenómeno de referencia y el nivel de presencia de las entidades, propiedades, relaciones causales y relaciones funcionales en sus explicaciones espontáneas. La metodología desarrollada permitió comprobar la utilidad del MCEA ideal para homogeneizar los requerimientos de las explicaciones científica, curricular y espontánea estudiantil. A partir de éste, se obtuvo el MCEA ajustado que permitió identificar la diversidad en los MEId que, a la vez, llevó a distinguir componentes mínimos comunes de los cuales partir para

el diseño y validación de SD. Esto, al tomar en cuenta que los alumnos de 5° Año en la modalidad Escuela Nacional Preparatoria cursan la asignatura Biología IV, misma que les proporciona elementos básicos conceptuales necesarios para el desarrollo de la explicación científica escolar sobre el fenómeno de referencia. Tales elementos básicos en los lenguajes representacionales de los estudiantes permitirían hacer el vínculo entre el MCi sobre el fenómeno infección por SARS-CoV-2 y la construcción de conocimiento escolar comprensible para el nivel educativo en cuestión. Otro rubro interesante es que se encontró que en varios de los planes de estudio de Educación Media Superior no se incluyen contenidos para abordar la entidad virus y su interacción con las células del cuerpo humano, situación que puede dejar el tratamiento del tema a criterio del docente. Con ello está presente el riesgo de que en el salón de clases se aborde, con diferentes niveles de profundidad o inclusive puede ser que no se considere. Un factor relevante es que, en esos casos, los estudiantes tal vez tuvieron su último curso de biología, al menos tres años antes, con la asignatura Ciencias y Tecnología. Biología, en el Primer Grado de Educación Secundaria. Este panorama aumenta la posibilidad de que los estudiantes no cuenten con la construcción de CCE requerido para continuar el proceso de elaboración de la explicación científica escolar del fenómeno de referencia, es decir, se afecta la gradualidad en su formación. Tal contexto muestra la importancia que tiene, por una parte, la inclusión de contenidos curriculares que aborden el proceso de infección viral como fenómeno natural y —por otra— que éste sea susceptible de ser representado como modelo y comprendido por los alumnos en la medida en la que cuenten con la construcción de los elementos de las DOyE correspondientes.

Esta investigación resalta que la incorporación de las formas espontáneas del pensamiento de los alumnos incrementa la posibilidad de que ellos analicen el fenómeno en niveles de abstracción que orienten su atención hacia la construcción de los componentes microscópicos y moleculares. Mismos que representan una dificultad específica para la percepción concreta por parte del estudiante, es decir, el tipo de entidades participantes en el fenómeno de referencia no se pueden observar de manera física en la vida cotidiana; es necesario imaginarlas con las características descubiertas por la ciencia. Así, la construcción de la dimensión ontológica en el pensamiento de los educandos es crucial en la toma de conciencia de una parte de la realidad que requiere del estudio microscópico y bioquímico para la comprensión del comportamiento del fenómeno. En este sentido, los niveles de complejidad explicativa propuestos como Básico, Intermedio y Avanzado con ayuda del MCEA ajustado —aplicados a los casos seleccionados—

resaltan los requerimientos de los alumnos en la construcción de los modelos mentales. Ello puede contribuir en nuevas investigaciones sobre el estudio de las formas espontáneas del pensamiento estudiantil y su esencial relación con la elaboración de modelos científicos escolares.

Como fue posible comprobar, existen dificultades en las explicaciones espontáneas estudiantiles sobre el fenómeno de referencia debidas a la escasez de elementos de las DOyE en los MEId. Pero, a la vez, éstos dan componentes para el posible tránsito de tales explicaciones hacia la explicación científica escolar. La muestra seleccionada ha permitido confirmar la hipótesis y quizá abre la posibilidad de nuevas investigaciones sobre la forma espontánea del pensamiento de los educandos y su papel imprescindible en la DC para orientar la modelización. Por ejemplo, los hallazgos pueden proporcionar criterios de diseño de SD donde la construcción de un modelo científico escolar considere las características de las explicaciones espontáneas estudiantiles — con ayuda del MCEA— y permita tomar decisiones acerca de las actividades didácticas pertinentes para el desarrollo de la explicación científica escolar, ya sea solicitando a los alumnos que elaboren un modelo, o que valoren la confiabilidad de un modelo para explicar con evidencia disponible el fenómeno de infección por SARS-CoV-2. Así, los procesos cognitivos de los alumnos pueden favorecer una comprensión del fenómeno de referencia que los ponga en posibilidades de relacionar de manera congruente la naturaleza y comportamiento de las entidades participantes, por ejemplo, con la relevancia de las medidas de protección personal y para la comunidad. Entre éstas últimas, uso correcto de cubrebocas; respeto de la distancia prudente; higiene de manos, utensilios, objetos y espacios de uso cotidiano; recomendaciones para estornudar o toser, así como acudir a los períodos de vacunación. A esto se suma la comprensión del origen de los síntomas generales de la COVID-19 y la importancia de buscar ayuda médica oportuna.

Otro aspecto que es importante mencionar es que, si bien esta tesis no tiene como objetivo investigar las variables relacionadas con las causas de la debilidad demostrada en los MEId, la descripción de las características de la muestra natural de alumnos expone que existen otros factores que pueden influir en los procesos cognitivos relacionados con la construcción de CCE. La aclaración es fundamental porque los problemas de enseñanza y de aprendizaje tienen origen multifactorial y de ello resulta la complejidad para abordarlos. De ahí el cuidado que se ha tenido para no simplificar el estudio y de considerar la posibilidad de que en futuras investigaciones sea útil la repetición del sustento teórico-metodológico aquí abordado para aplicar en diversas poblaciones estudiantiles con la inclusión de otras variables, como las socioculturales.

CONCLUSIONES

Una vez abordado todo lo anterior, —con la consideración de los datos empíricos obtenidos, los *MEId* inferidos y el desarrollo del análisis para obtener la información de interés en la presente tesis— se desarrollan en esta sección los razonamientos principales a los que se llega después de la investigación realizada. Para ello se abordan los aspectos en particular sobre la importancia del MCEA, la validación de la hipótesis sostenida, la relevancia de los asuntos sociocientíficos, las reflexiones finales y los aportes.

El MCEA ajustado y la hipótesis

El MCEA ajustado es un dispositivo teórico-metodológico que permite conocer y analizar los *MEId* con base en las CA derivadas del tratamiento del fenómeno de infección viral por SARS-CoV-2 desde el enfoque semanticista de modelos. De esta forma, el MCEA ajustado es útil porque ayuda a orientar la sistematización y estudio de las explicaciones espontáneas de los alumnos y muestra con detalle los componentes ausentes, en construcción y presentes de las DOyE existentes en los *MEId*. Por lo tanto, se identifica la complejidad explicativa que tienen las representaciones mentales de los alumnos para comprender el fenómeno de referencia.

Con la categorización de los *MEId* en tres niveles de complejidad explicativa —Básico, Intermedio y Avanzado— quedan resaltadas las dificultades en la construcción de conocimiento científico escolar, es decir, en la elaboración de éste existen presencia mínima, omisiones y confusiones relacionadas con las entidades, propiedades, relaciones causales y relaciones funcionales que dan cuenta del fenómeno completo a nivel celular y molecular de manera específica para el caso SARS-CoV-2. Por dicha razón, la hipótesis se confirma con la existencia de los datos empíricos que permitieron la inferencia de los *MEId*, así como de las características que tienen las DOyE que los conforman, mismas que se reflejan en la profundidad consecuente de las representaciones. A su vez, los *MEId* obtenidos resaltan los componentes de las DOyE que permitirían identificar criterios para el diseño y validación de SD pertinentes con el nivel de complejidad explicativa para los estudiantes de Educación Media Superior.

En particular, el análisis de los datos empíricos permitió conocer, describir y categorizar los *MEId* de una muestra natural de educandos mexicanos que cursaron el 5° Año de preparatoria sobre el fenómeno de infección viral por SARS-CoV-2 en células humanas. Este proceso involucró

el uso de un MCEA ajustado elaborado *a priori* como referente de contraste para los MEI*d* obtenidos. Los MEI*d* obtenidos incluyen DOyE notoriamente incompletas y con algunas confusiones en su construcción, pero conllevan una representación mental que permitiría el tránsito hacia un CCE más complejo, como demanda el MCEA ajustado. Esto con base en que pueden distinguir la existencia de un patógeno viral con capacidad para introducirse al cuerpo humano, tener interacción con algunos órganos respiratorios y en consecuencia producir una enfermedad, que además es contagiosa. Es importante resaltar que, aunque el contenido sobre los virus ya se había abordado en clase de biología dos meses antes de reunir los datos empíricos, éstos comprueban que no se logró la comprensión del fenómeno de referencia a nivel celular y molecular. Por lo que es posible que otro obstáculo cognitivo sea la repetición de conocimiento conceptual sin la comprensión profunda del fenómeno debido a que los educandos no incorporaron, entre otras cosas, una organización abstracta del fenómeno de referencia.

Tal sistematización contribuye con la comprensión del fenómeno seleccionado porque involucra referentes conceptuales que se esperaba fueran reconocidos por los alumnos. De ser así, estarían en posibilidades de incrementar la complejidad de las explicaciones espontáneas al rebasar la lógica o congruencia natural e intuitiva. El proceso de construcción de conocimiento requiere del desarrollo de abstracciones que, además, sean congruentes con una realidad. En este caso la explicación científica escolar da el contexto de cómo ocurre el fenómeno de infección por SARS-CoV-2 con base en evidencias reales. De esta manera se facilitaría el tránsito del pensamiento espontáneo hacia el pensamiento científico escolar.

El MCEA está muy lejano del MEI*d* y ello expone la dificultad potencial de los estudiantes para comprender entidades biológicas básicas como virus y célula, sus propiedades singulares, así como las relaciones causa-efecto que explican de forma racional y fundamentada la interacción virus/célula hospedadora y su consecuente conjunto de síntomas que dan como resultado una enfermedad. Los datos empíricos reunidos hace unos meses atrás para esta investigación han permitido inferir los MEI*d* actualizados que, si bien surgen de la experiencia de los educandos en la pandemia, también presentan distanciamiento del MCEA. Esto debido a las dificultades reflejadas en la estructura de los modelos mentales que han elaborado, pero que pueden ser abordadas, estudiadas y posiblemente resueltas, desde el enfoque de modelos en la DC, como áreas de oportunidad para la construcción de CCE.

La relevancia de evidenciar, en la investigación exploratoria que se realizó, la existencia de al menos tres casos-tipo —uno por nivel de complejidad explicativa de los MEId: Básico, Intermedio y Avanzado— puede alentar la realización de nuevos estudios con muestras mayores que permitan más conocimiento sobre las explicaciones espontáneas estudiantiles y la existencia de tales niveles en esos casos. Por otra parte, al considerar la revisión documental sobre la literatura didáctica especializada en las explicaciones espontáneas de los alumnos acerca del fenómeno de infección viral en general, se encontró que dichas explicaciones difieren en mayor o menor nivel de complejidad con respecto de lo planteado y solicitado por el currículum escolar. En este sentido, el MCEA propuesto *a priori* retoma los reportes y ha permitido proponer un referente con el número y clase de componentes de las DOyE ajustados a la modalidad educativa de preparatoria para poner a prueba la existencia de dificultades en los MEId de estudiantes mexicanos con un contexto curricular específico. Y al mismo tiempo, evidenciar las áreas de oportunidad útiles para mejorar el desarrollo de los MEI.

Asuntos sociocientíficos y Didáctica de las Ciencias

Acercas del abordaje de asuntos sociocientíficos, Izquierdo y Aduriz (2003) abogan por un modelo de ciencia escolar que denominan análogo a la actividad científica, por su cercanía con la naturaleza de la ciencia. Modelo que, de acuerdo con los autores, parte del reconocimiento del pensamiento espontáneo de los estudiantes para el diseño de propuestas de intervención didáctica. De ahí la necesidad de tratar asuntos que tienen impacto en diversos aspectos de la vida humana ya que dan apertura para contextualizar la construcción de conocimiento científico escolar con sentido para los educandos. Al mismo tiempo, Izquierdo y Aduriz advierten sobre la necesidad de buscar un equilibrio entre los aspectos cognitivos y sociales que influyen en dicha construcción contextualizada y que deberían ser considerados tanto por docentes como por investigadores. Los autores aclaran que una postura radical al respecto —si se da mayor relevancia al medio social en la construcción de la ciencia— puede conducir a un sesgo que no considere incorporar los conceptos científicos desde su importancia intrínseca para explicar los fenómenos naturales. Así, afirman, que para que los estudiantes desarrollen un sistema de ideas significativas sería conveniente una etapa introductoria a la cultura científica. En este sentido, Izquierdo y Aduriz proponen una ciencia escolar que permita a los educandos procesos de raciocinio que lleven a la argumentación científica.

Con estos supuestos, un primer paso es la exploración de las explicaciones espontáneas de los alumnos y la inferencia de los MEId, así como su descripción y categorización. El referente en este momento de inicio es el MCEA ajustado, que retoma el modelo disciplinar desde la biología para comprender el fenómeno de referencia y que puede dar pautas útiles en la concreción de la actividad científica escolar. No obstante, se debe recordar que el MCEA ajustado que aquí se ha propuesto para la transposición didáctica conllevaría, en un futuro, otro nivel de prueba por investigar, esto es, con el diseño y validación de secuencias didácticas que aporten evidencia sobre el comportamiento del constructo en poblaciones más extensas de alumnos que presenten características similares a la muestra natural tomada en cuenta en este estudio.

En este sentido, no se pretende extrapolar el análisis de las explicaciones a otras poblaciones porque la muestra natural fue pequeña. La tesis, propiamente, contribuye con una propuesta de problematización de las explicaciones espontáneas estudiantiles sobre el fenómeno de referencia y, en consecuencia, permite abordar las diferencias existentes entre los MEId y el MCEA, desde la ciencia cognitiva y el modelo semántico en una dimensión metacientífica.

Reflexiones finales y aportes

Los desafíos didácticos identificados pueden ayudar a mejorar los procesos de enseñanza y aprendizaje de la ciencia, en específico de la biología, incidiendo en la transición entre los modelos espontáneos y el modelo científico durante la construcción de explicaciones estudiantiles más coherentes con la realidad. Así, los elementos teóricos y empíricos desarrollados en esta investigación pueden incrementar la posibilidad de pertinencia y significado para los estudiantes, acerca del fenómeno de infección y propagación viral para el caso SARS-CoV-2, su relación con la enfermedad COVID-19 y las correspondientes medidas sanitarias de prevención, cómo justificarlas apropiadamente y aprender a tomar decisiones saludables para romper la cadena de contagios. Por consiguiente, se hace una contribución —desde la DC— para buscar soluciones viables de tratamiento de contenidos que son urgentes de considerar en las aulas ante el problema que aún aqueja al mundo, como lo es la pandemia por COVID-19. El mejoramiento de los procesos de enseñanza y aprendizaje, a partir de esta investigación, se sugiere desde el enfoque de ciencia cognitiva y de modelos ya que como explica Izquierdo (2007), entre las ventajas didácticas se encuentra la de considerar relevante la estructura del pensamiento en los estudiantes, para expresar, dialogar, argumentar y socializar el conocimiento. Estos procesos constituyen la construcción de

conocimiento científico escolar que contribuya al desarrollo de un pensamiento crítico en los alumnos y que se traduzca en la toma de decisiones con sustento en explicaciones racionales que sean capaces de elaborar.

El conocimiento de las dificultades en la construcción de conocimiento científico escolar que muestran los estudiantes de preparatoria, en términos de modelos, abre áreas de oportunidad para el desarrollo de propuestas didácticas que favorezcan el fortalecimiento de la enseñanza. En este sentido, esta investigación puede ser un referente para que los profesores de asignatura consideren la relevancia de los pensamientos espontáneos de los alumnos en el tratamiento didáctico de los contenidos abordados en el aula, así como la enseñanza de la biología desde el enfoque de modelos y la relación de éste con la naturaleza de la ciencia. El papel del docente en la planificación de los procesos de enseñanza es fundamental para incentivar la construcción de conocimiento escolar por parte de los educandos. Los hallazgos obtenidos con la presente tesis dejan en evidencia la necesidad de que se consideren en la planeación didáctica los modelos estudiantiles espontáneos. De esta forma se puede incrementar la certeza en el diseño y concreción de actividades didácticas porque los modelos permiten vincular las explicaciones espontáneas de los alumnos con las explicaciones científicas escolares y, por lo tanto, facilitan la transición de las primeras hacia las segundas.

Aunado a esto último, otro aspecto tomado en cuenta en esta reflexión —y que es factible de ser considerado para futuras investigaciones— es el enfoque didáctico del documento *Programa Analítico. Biología IV. Quinto Año* (ENP/UNAM, 2017) debido a que contiene las solicitudes curriculares para el nivel educativo y que dan un contexto del conocimiento ideal que se pretende lograr por parte de los estudiantes. El documento referido expone los siguientes lineamientos para el aprendizaje de los alumnos:

- Desarrollo del pensamiento científico y cultura biológica al abordar temas de importancia, entre ellos los de la salud, para los que se requiere la toma de decisiones informadas que lleven a acciones responsables.
- Promover el aprendizaje situado al vincular el conocimiento científico con la vida cotidiana. En este sentido, el eje curricular ‘La investigación biológica y sus aportaciones para la comprensión de alteraciones en los procesos celulares’ da oportunidad de tratar las enfermedades infecciosas virales, desde la biología celular y la genética, por ejemplo.

- El aprendizaje es considerado como un proceso de construcción de conocimiento sensible de ser evaluado de manera diagnóstica, formativa —autoevaluación y coevaluación— y sumativa
- Proveer de contenidos conceptuales, procedimentales y actitudinales que lleven hacia habilidades para analizar y comprender los problemas biológicos.

Las estrategias de enseñanza y aprendizaje recomendadas derivan de lo siguiente:

- Enseñanza situada a partir de contenidos disciplinares e incluyen lectura y escritura de textos seleccionados, así como el uso de las tecnologías digitales y el desarrollo de habilidades para el trabajo de laboratorio. Los textos deben permitir el desarrollo de habilidades para organizar, seleccionar, interpretar, analizar y comunicar la información, por ello se recomiendan monografías, ensayos, mapas mentales, conceptuales, diagramas de flujo, por ejemplo.
- Desarrollo de valores que necesarios para asumir actitudes para prevenir o mitigar ante problemáticas biológicas.

Este sustento del enfoque didáctico de la asignatura Biología IV parece tener como centro un proceso de enseñanza y aprendizaje que, aunque parte del dominio de la disciplina, no incluye nociones de las bases ontológicas y epistemológicas esenciales para la construcción de conocimiento científico, atendiendo a la naturaleza de la ciencia. Por esta razón, es posible sugerir el abordaje de los contenidos curriculares desde el enfoque de la DC y desde la postura de modelos. Así, los contenidos podrían ser tratados como fenómenos naturales, factibles de ser explicados científicamente con ayuda de la elaboración de representaciones mentales que expongan sus componentes y, en consecuencia, posibiliten examinar con detalle su estructura —entidades y propiedades—, funcionamiento —relaciones causales— y comportamiento general —relaciones funcionales—. Esto puede proporcionar vías de construcción de conocimiento que conlleven un mayor interés y significado para los estudiantes, así como mayores posibilidades de que sus explicaciones espontáneas transiten hacia las científicas escolares cada vez más complejas y sólidas. De tal forma que también aumenta la probabilidad de que el conocimiento científico sobre el fenómeno infeccioso SARS-CoV-2 sea transferido de manera útil a la vida cotidiana al comprobar que es aplicable. Situación que puede propiciar también el ejercicio de la responsabilidad para tener una vida saludable, a nivel personal y de la comunidad.

Así, por lo ya explicado hasta el momento, en el campo de la investigación sobre SD para la enseñanza de la biología, los datos empíricos obtenidos contribuyen con la actualización del registro acerca de las explicaciones espontáneas estudiantiles sobre el fenómeno de infección viral, en general, y sobre el SARS-CoV-2 en particular. Aporte que puede ser retomado en el diseño, desarrollo y validación de SD para abordar fenómenos naturales similares relacionados con otras enfermedades infecciosas que ponen en situación vulnerable a los seres humanos, en particular, cuando no se han construido los elementos de las DOyE esenciales para comprender de forma coherente los fenómenos naturales que afectan la salud.

Como es posible notar, la tesis proporciona un sustento teórico-metodológico desde el modelo semántico y una herramienta como el MCEA que ofrece opciones para la mejora de la enseñanza de la biología ya que se ha evidenciado la necesidad del estudio formal sobre los estados de las Dimensiones Ontológica y Epistemológica presentes en los MEId obtenidos. Es importante recordar que el MCEA postulado *a priori*, en este caso, hace posible la caracterización de los MEId obtenidos a partir de la muestra natural de alumnos participantes, pero en futuras intervenciones didácticas tales MEId además pueden ser retomados para inferir un nuevo MCEA con posibilidades de ser probado en una SD. Finalmente, esto deja en evidencia que, lo relevante no es aludir a qué recuerdan o saben los alumnos, sino a cuáles son los alcances y dificultades que tienen en la construcción de conocimiento científico escolar. En este contexto, la utilidad del MCEA durante la investigación realizada no alude aún a una situación didáctica, pero los aportes sí están en la línea de utilidad que pueden ser aprovechados por docentes e investigadores para futuros proyectos didácticos.

REFERENCIAS

- Adúriz-Bravo, A. (2011). Concepto de modelo científico: Una mirada epistemológica de su evolución. En L. Galagovsky (Ed.), *Didáctica de las ciencias naturales: El caso de los modelos científicos* (pp. 141–161). Editorial Le Lugar.
- Adúriz-Bravo, A., e Izquierdo-Aymerich, M. (2009). Un modelo de modelo científico para la enseñanza de las ciencias naturales. *Revista electrónica de investigación en educación en ciencias*, 40-49. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/2733/273320452005.pdf>
- Adúriz-Bravo, A. y Ariza, Y. (2014). Una caracterización semanticista de los modelos científicos para la ciencia escolar. *Bio-grafía. Escritos sobre la biología y su enseñanza*, 7(13), 25-34. <https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/35709>
- Aguilar, F., Vega, J. y Suclupe, D. (2021). SARS-CoV-2: mucho más que un virus respiratorio, *Arch méd Camagüey*, 25(2), 299-315. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1025-02552021000200014
- Aliberas, J., Gutierrez, R. e Izquierdo, M. (2017). Introducción a un método para la conducción y análisis de diálogos didácticos basado en la evaluación de modelos mentales. *Enseñanza de las ciencias*, 7–28. <https://pdfs.semanticscholar.org/e375/8ba2ff2650bd313a5707d08fc24d7755b151.pdf>
- Aliberas, J., Izquierdo, M. y Gutierrez, R. (2013). El papel de la conversación didáctica en la modelización y progresión del conocimiento escolar: el caso de la hidrostática en ESO. IX *Congreso Internacional sobre Investigación en Didáctica de las Ciencias*, 76-83. https://ddd.uab.cat/pub/edlc/edlc_a2013nExtra/edlc_a2013nExtrap76.pdf
- Audesirk, T., Audesirk, G. y Byers, B. (2008). *Biología: La vida en la Tierra*. Pearson Educación de México.
- Ausubel, D. (1983). Teoría del aprendizaje significativo. *Fascículos de CEIF*, 1(1-10). https://www.academia.edu/10435788/TEORÍA_TEORÍA_DEL_APRENDIZAJE_SIGNIFICATIVO
- Bunge, M. (2003). *La ciencia. Su método y su filosofía*, pp. 41-42. Ed. Panamericana.
- Canales, A. (2007). Evaluación educativa: la oportunidad y el desafío. *Reencuentro*, (48), 40-46. https://www.researchgate.net/publication/26485791_Evaluacion_educativa_la_oportunidad_y_el_desafio

- CB/SEP. (2016). *Biología. Programa de asignatura*. https://cbgobmx.cbachilleres.edu.mx/que-hacemos/Programas_de_estudio_vigentes/4to_semestre/basica/07_Biologia_I.pdf
- CCH/UNAM. (2016). *Programas de estudio. Área de Ciencias Experimentales. Biología I-II*. https://www.cch.unam.mx/sites/default/files/programas2016/BIOLOGIA_I_II.pdf
- CDC/Centros para el Control y Prevención de Enfermedades. (15 de agosto de 2022). *Cómo se propaga el COVID-19*. <https://espanol.cdc.gov/coronavirus/2019-ncov/prevent-getting-sick/how-covid-spreads.html>
- Coll, C. (1987). *Psicología y currículum*. Cuadernos de Pedagogía-Paidós.
- Consejo de Salubridad General (30 de marzo de 2020). *Acuerdo por el que se declara como emergencia sanitaria por causa de fuerza mayor, a la epidemia de enfermedad generada por el virus SARS-CoV-2 (COVID-19)*. México, DOF: 30/03/2020. https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5590745&fecha=30/03/2020#gsc.tab=0
- Curtis, H. y Barnes, S. (2008). *Biología*. Editorial Médica Panamericana.
- Chevallard, Y. (1991). *La transposición didáctica. Del saber sabio, al saber enseñado*. Ed. Aique.
- De Erice, E. y González, J. (2012). *Biología: La ciencia de la vida*. McGraw-Hill Educación.
- Díaz, J. (2021). Letalidad por SARS-CoV-2 a nivel mundial. *Repertorio de Medicina y Cirugía*, 30(1), 84-88. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7250750/pdf/main.pdf>
- Díaz, M., Sánchez, R., Matute, T. y Llumiñana, R. (2021). Proteína de la espícula del virus SARS-CoV-2 y su relación con la enzima convertidora de angiotensina-2, *Información Científica*, 100(5), 1-12. <http://revinfcientifica.sld.cu/index.php/ric/article/view/3633>
- ENA/UNAM. (21 de agosto de 2022). *Lineamientos generales*. <http://enp.unam.mx>
- ENA/UNAM. (2017). *Programa Analítico. Biología IV. Quinto Año*, <https://www.dgire.unam.mx/webdgire/wp-content/uploads/2019/01/1502.pdf>
- Expansión. Datos macro. (5 de agosto de 2022). *COVID-19- Vacunas administradas*. <https://datosmacro.expansion.com/otros/coronavirus-vacuna?anio=2022>
- Fernández, D. y Morales, L. (2020). Biología del SARS-CoV-2, *Revista Mexicana de Trasplantes*, 9(2), 139-148. <https://www.medigraphic.com/pdfs/trasplantes/rmt-2020/rmts202b.pdf>
- Fernández-Pérez, G. C., Oñate Miranda, M., Fernández-Rodríguez, P., Velasco Casares, M., Corral de la Calle, M., Franco López, Á., Díez Blanco, M., y Cuchat, J. (2021). SARS-

- CoV-2: cómo es, cómo actúa y cómo se expresa en la imagen. *Radiología*, 63(2), 115–126. <https://doi.org/10.1016/j.rx.2020.10.006>
- Fischetti, M., Falconieri, V., Glaunsinger, B. y Christiasen, J. (2022). A Visual Guide to the SARS-CoV-2 Coronavirus, *Scientific American*. <https://www.scientificamerican.com/article/a-visual-guide-to-the-sars-cov-2-coronavirus/>
- Flores, F. (2012). Conocimientos, concepciones y formación de profesores. En F. Flores (Coord.) *Enseñanza de la ciencia en la educación básica en México* (pp. 113-128). INEE. <https://www.inee.edu.mx/wp-content/uploads/2019/01/P1C227.pdf>
- Flores, F. (Coord.) (15 de agosto de 2022). Ideas previas. UNAM. <http://www.ideasprevias.ccadet.unam.mx:8080/ideasprevias/preconceptos.htm>
- Galagovsky, L. y Adúriz-Bravo, A. (2001). Contribuciones de Giere a la reflexión sobre la educación científica. *ArtefaCToS. Revista de Estudios sobre la Ciencia y la Tecnología*, 10(1),75-87.
- Galvis, L. y Angulo, F. (2019). Diseño de una secuencia didáctica para el caso de la obesidad humana. En Á. López (Coord.), *Modelos Científicos Escolares: el caso de la obesidad humana* (pp. 257-295). Universidad Pedagógica Nacional. https://www.researchgate.net/publication/336618126_Modelos_cientificos_escolares_el_caso_de_la_obesidad_humana
- Galvis, L. y López, A. (2020). Un modelo científico escolar sobre obesidad como recurso de planificación didáctica. En C. Ronquillo (Coord.), *Hacia la construcción de una nueva agenda educativa* (pp. 141-194). Universidad Autónoma de Ciudad Juárez. <https://www.researchgate.net/publication/348734930>
- Giere, R. N. (2010a). An agent-based conception of models and scientific representation. *Synthese*, 172(2), 269–281. philsci-archive.pitt.edu/4211/1/GIERE-ABCMSR.doc
- Giere, R. (1999b). Del realismo constructivo al realismo perspectivo. *Enseñanza de las Ciencias*, Número Extra, 9-13.
- Giere, R. N. (2004c). How models are used to represent reality. *Philosophy of Science*, 71(5), 742–752. <https://www.jstor.org/stable/10.1086/425063>
- Giere, R. (1999d). Un nuevo marco para enseñar el razonamiento científico. *Enseñanza de las Ciencias*, Número Extra, 63-70.

- Giere, R. (1999e). Using Models to Represent Reality. *Model-based reasoning in scientific discovery*, Kluger Academic/Plenum Publishers, pp. 41-57.
- Gil, J. y Vaqué, J. (2008). Aspectos básicos de la transmisibilidad. *Vacunas*, 9(1), 25-33. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7250750/pdf/main.pdf>
- Gimeno, J. (1992). ¿Qué son los contenidos de la enseñanza? En J. Gimeno y A. Pérez, *Comprender y transformar la enseñanza*. (171-223). Ed. Morata.
- Gobierno de la Ciudad de México (4 de agosto de 2022). *Recuerda los síntomas de COVID-19*. <https://www.facebook.com/GobiernoCDMX/posts/10164338910440285>
- Gobierno de México/CONACYT (4 de agosto de 2022). *COVID-19 México. Información general nacional (confirmados)*. <https://datos.covid-19.conacyt.mx>
- Gobierno de México/Dirección General de Epidemiología (4 de agosto de 2022). *COVID-19, México: Datos epidemiológicos*. <https://covid19.sinave.gob.mx/Log.aspx>
- Gobierno de México/Presidencia de la República (5 de agosto de 2022). *Política Nacional de Salud*. <https://www.gob.mx/ejn/es/articulos/politica-nacional-de-salud?tab=#:~:text=las%20familias%20mexicanas,-.La%20Política%20Nacional%20de%20Salud%20es%20una%20estrategia%20enfocada%20a,salud%20a%20toda%20la%20población>.
- Gómez, A. y Adúriz-Bravo, A. (2011). 3. ¿Cómo enseñar ciencias? En L. Rodríguez (Coord.), *Las Ciencias Naturales en Educación Básica: formación de ciudadanía para el siglo XXI* (93-128). SEP/UPN. http://www7.uc.cl/sw_educ/educacion/grecia/plano/html/pdfs/biblioteca/LIBROS/LibroAgustin.pdf
- Gutierrez, R. (1994). *Coherencia del pensamiento espontáneo y causalidad. El caso de la dinámica elemental* [Tesis Doctoral, Universidad Complutense]. <https://eprints.ucm.es/id/eprint/3772/1/T19193.pdf>
- Gutierrez, R. (2017). Construcción del conocimiento espontáneo y del conocimiento científico I: ¿existe alguna conexión? *Enseñanza de las ciencias*, Número extraordinario, 4331-4336. <https://core.ac.uk/download/pdf/158654599.pdf>
- Gutierrez, R. (2014). Lo que los profesores de ciencia conocen y necesitan conocer acerca de los modelos: aproximaciones y alternativas. *Bio-grafía –Escritos sobre la biología y su enseñanza*, 7(13), 37-66. <https://doi.org/10.17227/20271034.vol.7num.13bio-grafia37.66>

- Gutierrez, R., (2001). Mental models and the fine structure of conceptual change. En R. Pinto y S. Surinach (Eds.), *Physics Teacher Education Beyond 2000* (pp. 35-44). Elsevier Editions
- Gutierrez, R. (1996). Modelos mentales y concepciones espontáneas. *Alambique Didáctica de las Ciencias Experimentales*, (7), 77-86.
- Gutierrez, R. (2007). Sistemas de creencias, modelos mentales y cambio conceptual. *Indivisa, Boletín de Estudios e Investigación, Monografía VIII, Madrid*, 573-585.
<https://www.researchgate.net/publication/307904557>
- Gutierrez, R. y Pintó, R. (2005). Relaciones entre simulaciones y modelos. Análisis de simulaciones científicas. *Enseñanza de las ciencias*, Número Extra, VII Congreso, 1-5.
<https://core.ac.uk/download/pdf/13308963.pdf>
- Guzmán, J, y Antezana, G. (2020). SARS-CoV-2: estructura, replicación y mecanismos fisiopatológicos relacionados con COVID-19. *Gaceta Médica Boliviana*, 43(2), 170-178.
http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1012-29662020000200009
- Hernández, R., Fernández, C. y Baptista, P. (2010). *Metodología de la investigación*. Ed. Mc Graw Hill.
- Izquierdo, M. (2007). Enseñar ciencias, una nueva ciencia. *Enseñanza de las Ciencias Sociales*, (6), 125-138. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=324127626010>
- Izquierdo, M. (2005). Hacia una teoría de los contenidos escolares. *Enseñanza de las Ciencias* 23(1), 111-122. <https://raco.cat/index.php/Ensenanza/article/view/22008/332750>
- Izquierdo, M. y Adúriz-Bravo, A. (2021). Contribuciones de Giere a la reflexión sobre la educación científica. *ArtefaCToS. Revista de Estudios sobre la Ciencia y la Tecnología*, 10(1), 75-87. <https://revistas.usal.es/index.php/artefactos/article/view/art20211017587>
- Izquierdo, M. y Adúriz-Bravo, A. (2003). Epistemological foundations of school science. *Science and Education*, 12(1), 27-43.
- Jiménez, L. y Merchat, H. (2003). *Biología celular y molecular*. PrenticeHall.
- Jones, G., Gardner, G., Lee, T., Poland, K., Robert, S. (2013). The Impact of Microbiology Instruction on Students' Perceptions of Risks Related to Microbial Illness. *International Journal of Science Education, Part B*, 3(3), 199-213.
<http://dx.doi.org/10.1080/21548455.2012.684434>
- López, A. (2019). Secuencias didácticas y el contenido de enseñanza. En Á. López (Coord.), *Modelos Científicos Escolares: el caso de la obesidad humana* (pp. 15-172). Universidad

Pedagógica

Nacional.

https://www.researchgate.net/publication/336618126_Modelos_cientificos_escolares_el_caso_de_la_obesidad_humana#:~:text=La%20primera%20parte%20del%20título,infantil%20y%20juvenil%20en%20México.

- López y Mota, A. y Moreno, G. (2014). Sustentación teórica y descripción metodológica del proceso de obtención de criterios de diseño y validación para secuencias didácticas basadas en modelos: el caso del fenómeno de la fermentación. *Biografía Escritos sobre la Biología y su enseñanza*, 7(13), 109–126. <https://revistas.pedagogica.edu.co/index.php/biografia/article/view/2997/2684>
- López, Á. y Rodríguez, D. (2013). Anclaje de los modelos y la modelización científica en estrategias didácticas. *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, 0(Extra), 2008–2013. https://www.researchgate.net/publication/264347628_ANCLAJE_DE_LOS_MODELOS_Y_LA_MODELIZACION_CIENTIFICA_EN ESTRATEGIAS DIDACTICAS
- Madigan, M., Martinko, J. y Parker, J. (2004). *Brock. Biología de los microorganismos*. Pearson Educación.
- Mojica, R y Morales, M. (2020). Pandemia COVID-19, la nueva emergencia sanitaria de preocupación internacional: una revisión. *Semergeen*, 46(S1), 72-84. <https://www.elsevier.es/es-revista-medicina-familia-semergen-40-pdf-S1138359320301714>
- Molina, I. (2 de noviembre de 2020) ¿Por qué el coronavirus se propaga ahora con tanta velocidad? *The Conversation*. <https://theconversation.com/por-que-el-coronavirus-se-propaga-ahora-con-tanta-velocidad-149032>
- Montaño, L. y Flores, E. (2020). COVID-19 y su asociación con los inhibidores de la enzima convertidora de angiotensina y los antagonistas de los receptores para angiotensina II, *Revista de la Facultad de Medicina de la UNAM*, 30-24. <https://www.medigraphic.com/pdfs/facmed/un-2020/un204e.pdf>
- Moreno-Arcuri, Griselda y López-Mota, Ángel D. (2013). Construcción de modelos en clase acerca del fenómeno de la fermentación, con alumnos de educación secundaria. *Revista Latinoamericana de Estudios Educativos*, 9(1), 53-78. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=134129372004>

- Mundo, M. (2020). Evidencias científicas de la sobrevivencia del SARS-CoV-2 en agua de grifo no contaminada y en aguas residuales no tratadas. *Innovación más desarrollo*, 9(25), 180-207. <https://espacioimasd.unach.mx/index.php/Inicio/article/view/248/795>
- Nanographics/Tsinghua University. (2021). *Real SARS-CoV-2 virion in 3D*. <https://nanographics.at/projects/coronavirus-3d/>
- Nersessian, N. J. (2007). Mental modeling in conceptual Change. En S. Vosniadou (Ed.), *Handbook of conceptual change* (pp. 1-78). Routledge. <https://www.cc.gatech.edu/aimosaic/faculty/nersessian/papers/Nersessian-ModelingConceptualChange.pdf>
- Noticias ONU (30 de noviembre de 2020). *La OMS alerta de un problema serio en México por el aumento de casos y muertes de COVID-19*. <https://news.un.org/es/story/2020/11/1484882>
- Oliva, J. (2020). SARS-CoV-2 origen, estructura, replicación y patogénesis. *Alerta*. 3(2), 79-86. <https://www.lamjol.info/index.php/alerta/article/view/9619>
- Organización Mundial de la Salud. (3 de agosto de 2022a). *Alocución de apertura del Director General de la OMS en la rueda de prensa sobre la COVID-19 celebrada el 11 de marzo de 2020*. <https://www.who.int/es/director-general/speeches/detail/who-director-general-s-opening-remarks-at-the-media-briefing-on-covid-19---11-march-2020>
- Organización Mundial de la Salud. (3 de agosto de 2022b). *COVID-19: cronología de la actuación de la OMS*. <https://www.who.int/es/news/item/27-04-2020-who-timeline---covid-19>
- Organización Mundial de la Salud (3 de agosto de 2022c). *Información básica sobre la COVID-19*. <https://www.who.int/es/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019/question-and-answers-hub/q-a-detail/coronavirus-disease-covid-19>
- Organización Mundial de la Salud/Organización Panamericana de la Salud (4 de agosto de 2022). *Enfermedades Transmisibles y Análisis de Salud (CHA) Información y Análisis de Salud (CHA/HA)*. <https://www.paho.org/hq/dmdocuments/2016/2016-cha-calendario-epidemiologico.pdf>
- Organización Panamericana de la Salud/Organización Mundial de la Salud. (5 de agosto de 2022). *México se encuentra en una “situación extremadamente compleja” por la pandemia de COVID-19, dice OPS*. https://www3.paho.org/mex/index.php?option=com_content&view=article&id=1544:me

- [xico-se-encuentra-en-una-situacion-extremadamente-compleja-por-la-pandemia-de-covid-19-dice-ops&Itemid=499](#)
- Organización Panamericana de la Salud/Organización Mundial de la Salud. (2014). *Plan de acción sobre la salud en todas las políticas*. <https://www.paho.org/hq/dmdocuments/2014/CD53-R2-s.pdf>
- Organización Panamericana de la Salud/Organización Mundial de la Salud. (5 de agosto de 2022). *Vacunas contra la COVID-19*. <https://www.paho.org/es/vacunas-contra-covid-19>
- Orrego, M. López, A. y Tamayo, O. (2013). Evolución de los modelos explicativos de fagocitosis en estudiantes universitarios. *Revista Latinoamericana de Estudios Educativos*, 9(1), 79-106. <https://www.redalyc.org/pdf/1341/134129372005.pdf>
- Pastrian, G. (2020). Bases genéticas y moleculares del COVID-19 (SARS-CoV-2). Mecanismos de patogénesis y de respuesta inmune. *Odontostomat*, 14(3), 202 y 331-337. <https://scielo.conicyt.cl/pdf/ijodontos/v14n3/0718-381X-ijodontos-14-03-331.pdf>
- Prout, A. (1985) Science, health and everyday knowledge: a case study about the common cold. *European Journal of Science Education*, 7(4), 339-406. <http://www.tandfonline.com/loi/tsed19>
- Quintanilla, M., Izquierdo, M. y Adúriz, A. (2014). Directrices epistemológicas para promover competencias de pensamiento científico en las aulas de ciencias. En M. Quintanilla (Coord.), *Las competencias de pensamiento científico desde las 'emociones, sonidos y voces' del aula* (pp. 15-30). Sociedad Chilena de Didáctica, Historia y Filosofía de la Ciencia. https://www.researchgate.net/publication/280886520_Las_Competiciones_de_pensamiento_cientifico_desde_las_emociones_sonidos_y_voces_del_aula
- Real Academia Española. (7 de septiembre de 2022). *Diccionario panhispánico de dudas*. <https://www.rae.es/dpd/género>
- Real Academia Nacional de Medicina de España. (3 de agosto de 2022). *Diccionario de términos médicos*. https://dtme.ranm.es/busador.aspx?NIVEL_BUS=3&LEMA_BUS=SARS-CoV-2
- René, E. y Gilbert, L. (1994). Les représentations du concept de microbe: un construit social contournable? *Didaskalia*, 3, 43-60. http://ife.ens-lyon.fr/publications/edition-electronique/didaskalia/INRP_RD003_4.pdf

- Rivas, L. (2015). Capítulo 6. La definición de variables o categorías de análisis. En *¿Cómo hacer una tesis?* (pp. 107-118). IPN.
- Rodríguez, D., Izquierdo, M. y López, D. (2011). 1. ¿Por qué y para qué enseñar ciencias? En L. Rodríguez (Coord.), *Las Ciencias Naturales en Educación Básica: formación de ciudadanía para el siglo XXI* (pp. 11-40). SEP/UPN.
http://www7.uc.cl/sw_educ/educacion/grecia/plano/html/pdfs/biblioteca/LIBROS/LibroAgustin.pdf
- Ruiz, A. y Jiménez, M. (2020). SARS-CoV-2 y pandemia de síndrome respiratorio agudo (COVID-19), *Ars Pharmaceutica*, 61(2), 63-79.
https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2340-98942020000200001
- Sabariago, M. (2009). Capítulo 4. El proceso de investigación (parte 2). En R. Bisquerra (Coord.), *Metodología de la Investigación Educativa* (pp. 127-292). Editorial La Muralla.
- Salazar, A. (13 de agosto de 2022). Cómo abordar el coronavirus desde las diferentes materias. *Magisterio*. <https://www.magisnet.com/2020/03/como-abordar-el-coronavirus-desde-las-diferentes-materias/>
- Samaja, J. (1993). Matrices de datos: Presupuestos básicos del método científico. En *Epistemología y metodología: Elementos para una teoría de la investigación científica* (145-199). Ed. Ampliada.
- Sampieri, R., Fernández, C. y Baptista, P. (2010). *Metodología de la investigación*. Ed. McGraw-Hill.
- Sanz, B. (23 de diciembre de 2020). *Hoy más que nunca, nuestro futuro depende de la acción solidaria*. ONU-México. <https://coronavirus.onu.org.mx/hoy-mas-que-nunca-nuestro-futuro-depende-de-la-accion-solidaria>
- Secretaría de Educación Pública. (2016). *Programa de Estudios del Componente Básico del Marco Curricular Común de la Educación Media Superior. Bachillerato Tecnológico*. Asignatura: Biología.
http://sems.gob.mx/work/models/sems/Resource/12615/5/images/3_Biología.pdf
- Secretaría de Salud. (4 de agosto de 2022). *Informe Técnico Diario COVID-19 México*, Secretaría de Salud, 2022. <https://www.gob.mx/salud/documentos/coronavirus-covid19-informe-tecnico-diario>

- Secretaría de Salud/Estado de México (5 de agosto de 2022). *COVID-19*.
<https://salud.edomex.gob.mx/salud/covid>
- SER (2020). Fotos reales del coronavirus bajo el microscopio. SER Programas y podcast.
https://cadenaser.com/ser/2020/04/14/album/1586840408_978092.html#1586812530_569170_1586813172
- Shiro, M. (2014). Las categorías de análisis: el paso crucial en la investigación empírica. *Aled*, 14(1), 3-6.
- Simoneaux, L. (2000) A study of pupils' conceptions and reasoning in connection with "microbes", as a contribution to research in biotechnology education. *Internacional Journal of Science education*, 22(6), 619-644.
- Sociedad Argentina de Virología (2020). Informe SARS COV-2.
https://aam.org.ar/src/img_up/22032020.0.pdf
- Solomon, E., Berg, L. y Martin, D. (2011). *Biología*. Cengage Learning.
- Suárez, V; Suarez, M., Oros, S. y Ronquillo, E. (2020). Epidemiología de COVID-19 en México: del 27 de febrero al 30 de abril de 2020. *Revista Clínica Española*, 220(8), 463-471.
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7250750/pdf/main.pdf>
- Torrado, M. (2009). Capítulo 7. Estudios de encuesta. En R. Bisquerra (Coord.), *Metodología de la Investigación Educativa* (pp. 231-257). Editorial La Muralla.
- UNAM/Facultad de Medicina. (5 de agosto de 2022.). *Alejados #NOSCUIDAMOS. Preguntas frecuentes*. Recuperado de <http://covid19.facmed.unam.mx>
- UNICEF. (8 de agosto de 2022a). *La juventud hace un llamado a tomar medidas contra el COVID-19 en América Latina y el Caribe. Ensayos fotográficos*.
<https://www.unicef.org/lac/historias/ureport-covid-19>
- UNICEF. (11 de agosto de 2022b). *U-Report-COVID-19 outbreak response*.
<https://www.unicef.org/innovation/ureportCOVID19>
- Universidad Nacional Autónoma de México, (4 de agosto de 2022). *Covid-19 Casos en México*.
<https://covid19.ciga.unam.mx/apps/covid-19-versión-para-móviles/explore>
- United Nations Population Fund. (5 de agosto de 2022) *Population trends*.
<https://pdp.unfpa.org/apps/0aeda6af00dd4544ba50452da2dda474/explore>

- VOA. (6 de agosto de 2020). OMS: Jóvenes deben ayudar a reducir infecciones de coronavirus. *Voz de América*. <https://www.voanoticias.com/noticias-internacional/oms-jovenes-deben-ayudar-reducir-infecciones-de-coronavirus>
- Walls, A.; Park, Y.J., Tortorici, A.; Wall, A.; McGuire, A. y Veessler, D. (2020). Structure, Function, and Antigenicity of the SARSCoV-2 Spike Glycoprotein, *CellPress*, 180, 281–292. <https://www.cell.com/action/showPdf?pii=S0092-8674%2820%2930262-2>
- World Health Organization. (4 de agosto 2022a). *Coronavirus (COVID-19) Dashboard*. <https://covid19.who.int/table>
- World Health Organization. (3 de agosto 2022b). *Naming the coronavirus disease (COVID-19) and the virus that causes it*. [https://www.who.int/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019/technical-guidance/naming-the-coronavirus-disease-\(covid-2019\)-and-the-virus-that-causes-it](https://www.who.int/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019/technical-guidance/naming-the-coronavirus-disease-(covid-2019)-and-the-virus-that-causes-it)
- Yan, R., Zhang, Y., Li, Y., Xia, L., Guo, Y. y Zhou, Q. (2020). Structural basis for the recognition of SARS-CoV-2 by full-length human ACE2, *Science*, 367, 1444–1448. <https://www.science.org/doi/full/10.1126/science.abb2762>

ANEXOS

ANEXO 1
TENSIÓN DE LOS CONSTRUCTOS MEI, MCU Y MCI
FENÓMENO: INFECCIÓN POR SARS-COV-2 EN CÉLULAS HUMANAS

Tabla 1a

Dimensión ontológica-entidades para la Etapa A (ámbitos 1 y 2)

Nota. Las entidades del MEI, en este momento de la investigación, se infieren a partir de la consulta de la literatura en didáctica especializada.

Dimensión ontológica-entidades del ciclo lítico			
Etapa A) Reconocimiento virus SARS-CoV-2 / Célula hospedadora			
Ámbito 1. Fijación o adsorción			
MEI	MCu	MCI	MCEA
1. Microorganismo, germen, microbio 1.1 Virus = Bacteria 2. Célula 3. Sustancia producida por el virus.	1. Microorganismos 1.1 Coronavirus 1.1.1 Material hereditario o genoma viral: RNA monocatenario (+) 1.1.2 Cubierta proteica o cápside 1.1.3 Envoltura membranosa 1.1.4 Nucleocápside 2. Célula 2.1 Célula del tracto respiratorio 2.2 Membrana plasmática o celular 2.3 Citoplasma 2.4 Ribosomas 2.5 Retículo endoplásmico liso (REl) y rugoso (REr) 2.6 Complejo de Golgi 3. Moléculas	1. Microorganismo 1.1 Coronavirus 1.1.1 SARS-CoV-2 1.1.1.2 Envoltura externa membranosa fosfolipídica con proteínas estructurales (M y E) y espículas (proteína S) 1.1.1.3 Nucleocápside 2. Célula hospedadora (p. e. neumocito) 2.1 Membrana plasmática o celular 2.2 Citoplasma 2.3 Ribosomas 2.4 Retículo endoplásmico (liso y rugoso) 2.5 Complejo de Golgi 3. Moléculas	1. Microorganismos 1.1 Virus 1.1.1 Coronavirus 1.1.1.2 SARS-CoV-2 1.1.1.2.1 Envoltura externa y espículas 1.1.1.2.2 Nucleocápside 2. Célula hospedadora 2.1 Membrana plasmática 2.2 Citoplasma 2.3 Ribosomas 2.4 Retículo endoplásmico liso y rugoso 2.5 Complejo de Golgi 3. Moléculas 3.1 Proteína S

	3.1 Glucoproteínas virales en forma de espinas o espículas 3.2 Proteínas receptoras en la membrana celular 4. Coronavirus fijado o anclado a la célula del tracto respiratorio	3.1 Subunidad 1 de la glicoproteína S transmembranal, 3.2 Enzima convertidora de angiotensina 2 (ACE2) 4. SARS-CoV-2 fijado o anclado a la célula del tracto respiratorio	3.2 Enzima convertidora de angiotensina 2 (ACE2) 4. SARS-CoV-2 fijado o anclado a la célula del tracto respiratorio
<p>Síntesis de la homogeneización y comparación entre los modelos:</p> <ul style="list-style-type: none"> - La complejidad del MCI es notoriamente mayor, en comparación con la del MEI, debido a que el primero incorpora numerosas entidades con alto grado de especificidad acerca de las estructuras viral y celular involucradas en el ámbito de fijación durante la infección por SARS-CoV-2. El MEI está formado por escasas entidades de significado muy general y con una forma de pensar intuitiva. - El MCu contiene las entidades básicas necesarias y un cierto grado de especificidad al mencionar como ejemplo el grupo de los coronavirus. Las entidades ausentes se relacionan con los detalles moleculares de las estructuras viral y celular, así como el tipo específico de las enzimas. - Existe una brecha notable entre el MEI y el MCI; se destaca que el MCu sí tiene las entidades básicas para comprender la etapa de fijación viral, aunque en un plano general sin hacer alusión al SARS-CoV-2. - Las entidades estudiantiles son escasas y denotan confusión entre virus y bacteria, pero la mención que se hace de ellas se retoma en el MCEA. 			
Ámbito 2. Penetración			
MEI	MCu	MCI	MCEA
1. Virus 1.2 Sustancia producida por los virus 2. Sustancia producida por el virus	1. Endosoma con nucleocápside viral 2. Moléculas 2.1 RNA viral en citoplasma	1. Espícula viral escindida 2. Endosoma con nucleocápside viral (+ssRNA viral estabilizado con proteína N) 3. Endosomas con proteasas 4. Moléculas 4.1 Enzima proteasa (TMPRS2), producida por la célula 4.2 Subunidad 2 de la glicoproteína S transmembranal expuesta 4.3 Enzima catepsina L 4.4 +ssRNA viral desnudo en citoplasma	1. Endosoma con nucleocápside viral (+ssRNA viral estabilizado con proteína N) 2. Moléculas 2.1 Enzima proteasa (TMPRS2), producida por la célula 2.2 Proteína S de la espícula 2.3 +ssRNA viral desnudo en citoplasma
<p>Síntesis de la homogeneización y comparación entre los modelos:</p> <ul style="list-style-type: none"> - El MEI remite a la existencia de un virus que produce una sustancia y por medio de ella entra en contacto con otro organismo. - El MCu sí incluye entidades básicas para explicar la entrada del material genético a la célula hospedadora. Entidades que se retoman en el MCI. - Existe una brecha notable entre el MEI y el MCI; el MCu incorpora las entidades básicas para comprender la etapa de penetración, sin ser específico para el SARS-CoV-2. - Las entidades estudiantiles son escasas y sencillas que parecen tener de manera implícita un contacto relacionado con la entrada del virus a la célula. 			

Tabla 1b

Dimensión ontológica-propiedades para la Etapa A (ámbitos 1 y 2)

Dimensión ontológica-propiedades del ciclo lítico			
Etapa A) Reconocimiento virus SARS-CoV-2 / Célula hospedadora			
Ámbito 1. Fijación o adsorción			
MEI	MCu	MCI	MCEA
<p>1. Son células y por lo tanto tienen núcleo.</p> <p>1.1 Son bacterias, con células; animales extremadamente pequeños, como átomos; más grandes y agresivos que las bacterias; viscosos, antropomorfos (tienen dientes afilados), como tumores malignos que se forman con el cáncer. Las bacterias se convierten en virus. Pasan de una célula a otra y porque se multiplican dentro de la célula. Se alimentan de células. Contaminan la sangre.</p>	<p>1. Organismos variados vistos solo con un microscopio óptico o electrónico. Incluyen seres vivos celulares y formas no celulares (virus, viroides y priones). Los virus miden entre 30 y 300 nanómetros.</p> <p>1.1 Virus con RNA, tienen una cubierta proteica (cápside) con espículas y una envoltura membranosa lipoproteica. Infeccionan células del tracto respiratorio humano.</p> <p>1.1.1 El RNA monocatenario (+) es el material genético del virus y contiene los genes con la información necesaria para la estructura y replicación virales. Es un ácido nucleico con una sola cadena de nucleótidos.</p> <p>1.1.2 La cápside es una estructura de protección formada por asociación de proteínas que envuelve al ácido nucleico.</p> <p>1.1.3 La envoltura membranosa está formada por una bicapa de lípidos cuyo origen es la membrana de la célula hospedadora. También tiene</p>	<p>1. Organismos microscópicos con una célula o de varias, incluye formas no celulares como los virus. Éstos últimos miden entre 20 y 300 nanómetros.</p> <p>1.1 Los coronavirus tienen nucleocápside proteica y una envoltura esférica con proyecciones o espículas. Su material genético es una molécula de RNA monocatenario y de polaridad positiva (+), por lo que su secuencia de bases nitrogenadas es la misma que la de un RNA mensajero (RNAm). Hay seis especies de coronavirus relacionados con infecciones en humanos: cepas HCoV-229E, HCoV-OC43, HCoV-NL63 y HCoV-HKU1 (HCoV: <i>human coronavirus</i>), causantes de resfriado; y las emergentes SARS-CoV y MERS-CoV, que provocan infecciones del tracto respiratorio inferior, por ejemplo, neumonía atípica grave, insuficiencia respiratoria y síndrome respiratorio agudo, potencialmente</p>	<p>1. Los microorganismos no son observables a simple vista. Incluyen formas celulares como las bacterias y protistas o no celulares como los virus. Los virus solo se pueden ver con microscopios electrónicos porque sus dimensiones son de entre 200 y 300 nanómetros.</p> <p>1.1 Los virus son partículas que tienen una cápside de proteínas, material genético (DNA o RNA) y algunas veces una envoltura membranosa. Los virus incluyen a los coronavirus.</p> <p>1.1.1 Los coronavirus tienen una envoltura membranosa en la cual presentan proyecciones en forma de espículas, además tienen una nucleocápside (material genético asociado a proteínas) Su material genético es RNA de una sola cadena (monocatenario) y con una estructura química de polaridad positiva (+). Esto significa que su RNA funciona directamente como mensajero en la traducción y síntesis de proteínas dentro de la célula hospedadora.</p>

	<p>glucoproteínas que sobresalen y forman pequeñas espinas o espigas para el reconocimiento de la célula hospedadora.</p> <p>1.1.4 La nucleocápside es el conjunto de la cápside con el material genético. Estabiliza las moléculas de RNA.</p>	<p>mortal. La especie SARS-CoV incluye al SARS-CoV-2.</p> <p>1.1.1 El SARS-CoV-2 (<i>Severe acute respiratory syndrome-Cov2</i>) es un coronavirus con diámetro de 120 nanómetros, contiene +ssRNA, similar a un RNAm y necesita a la enzima RNA-polimerasa dependiente de RNA para su replicación. Causa la enfermedad pandémica COVID-19 (<i>coronavirus disease 2019</i>). Sus células hospedadoras son células humanas que tienen receptores de membrana ACE2 (enzima convertidora de angiotensina 2), localizadas en los epitelios y membranas mucosas del sistema respiratorio (nariz, faringe, laringe), neumocitos tipo II en los alveolos pulmonares y también en células del cerebro, corazón, arterias, hígado, intestino, riñones y testículos. Afecta, por lo general, a las vías respiratorias superiores e inferiores y provoca, principalmente, fiebre, dificultad para respirar y lesiones infiltrativas en pulmones. Debido a la diversidad de células humanas que tienen el receptor ACE2, ocurren otros síntomas que se suman a los mencionados.</p> <p>Fase I. Replicación viral y viremia; síntomas: tos seca y fiebre, vómitos, diarrea y linfopenia.</p> <p>Fase II. Daño pulmonar; síntomas: tos y fiebre, neumonía, taquipnea, hipoxia, incremento de linfopenia, elevación en los niveles de dímero D con trastornos en la coagulación.</p>	<p>1.1.1.2 El virus SARS-CoV-2 es un coronavirus que mide 120 nanómetros. Tiene RNA monocatenario de polaridad positiva (+ssRNA). Necesita de la enzima RNA-polimerasa dependiente de RNA para su replicación. Causa la enfermedad pandémica COVID-19 (<i>coronavirus disease 2019</i>). Las células hospedadoras son células humanas con receptores de membrana ACE2 (enzima convertidora de angiotensina 2), localizadas en los epitelios y membranas mucosas del sistema respiratorio (nariz, faringe, laringe), neumocitos tipo II en los alveolos pulmonares y también en células del cerebro, corazón, arterias, hígado, intestino, riñones y testículos. Afecta, por lo general, a las vías respiratorias superiores e inferiores y provoca, principalmente, fiebre, dificultad para respirar y lesiones infiltrativas en pulmones. Debido a la diversidad de células humanas que tienen el receptor ACE2, ocurren otros síntomas que se suman a los mencionados. En estados de gravedad causa dificultad respiratoria extrema y un cuadro de respuesta inflamatoria sistémica que ponen en riesgo la vida</p> <p>1.1.1.2.1 La envoltura externa tiene dos fosfolípidos y proteínas estructurales:</p> <p>Glicoproteína M, forma parte de la envoltura e interviene en el ensamblaje de los nuevos virus dentro de la célula. Su masa es de 25 Kdal.</p>
--	---	--	---

		<p>Fase III (estado crítico). Dificultad respiratoria extrema y cuadro de respuesta inflamatoria sistémica, paso de fiebre a hipotermia, taquipnea, taquicardia, hipotensión, posible choque séptico, hipotensión refractaria, coagulación intravascular, isquemia en extremidades, fallo multiorgánico.</p> <p>1.1.1.2 Envoltura con dos capas de fosfolípidos y proteínas estructurales: Glicoproteína S, trimérica, forma las espículas o peplómeros con dos subunidades (S1, ligando para el receptor de la célula hospedadora y S2, interviene en la fusión de la envoltura viral con la membrana celular). Mide hasta 20 nanómetros y tiene 180 Kdal de masa.</p> <p>Glicoproteína M, forma parte de la envoltura e interviene en el ensamblaje de los nuevos virus dentro de la célula. Su masa es de 25 Kdal.</p> <p>Proteína E, pentamérica, función estructural y de ensamblaje. Con masa de 8 Kdal.</p> <p>Proteína N, asociada al genoma y le da estabilidad, forma la nucleocápside helicoidal. Su masa es de 46 Kdal.</p> <p>1.1.1.3 La nucleocápside es helicoidal, integrada con +ssRNA monocatenario y proteína N. El +ssRNA tiene una sola cadena (<i>single stranded</i>) de polaridad positiva compuesta de 29 903 nucleótidos. Es de polaridad positiva porque opera directamente como RNAm debido a que tiene un</p>	<p>Proteína E, pentamérica, función estructural y de ensamblaje. Con masa de 8 Kdal.</p> <p>Además, la envoltura tiene espículas formadas con la glicoproteína S, con dos subunidades (S1, reconoce al receptor de la célula hospedadora y S2, propicia la fusión de la envoltura viral con la membrana celular para la entrada del virus a la célula).</p> <p>1.1.1.2.2 Nucleocápside contiene el +ssRNA monocatenario (<i>single stranded</i>) y proteína N para darle estabilidad a la molécula.</p> <p>El +ssRNA está formado por 29 903 nucleótidos. Es de polaridad positiva porque funciona como RNAm debido a que tiene un capuchón metilado (cap) en el extremo 5' y una cola poliadenilada (poli-A) en el extremo 3'. Los nucleótidos forman los genes para la síntesis de las poliproteínas pp1a y pp1ab para formar las proteínas no estructurales y la RNA-polimerasa dependiente de RNA necesarios en la replicación del genoma viral y la transcripción de los RNAm subgenómicos (sgRNAs). También incluye genes para la síntesis de las proteínas estructurales S, M, E y N, así como de las accesorias hemaglutinina esterasa (HE).</p>
--	--	--	--

		<p>capuchón metilado (cap) en el extremo 5' y una cola poliadenilada (poli-A) en el extremo 3'.</p> <p>Cerca del extremo 5' se encuentra el gen del complejo replicasa/transcriptasa, formado por dos marcos de lectura abierta (<i>open reading frame</i>): OFR 1a y OFR 1b. Se traducirán en las poliproteínas pp1a y pp1ab, que luego son procesadas proteolíticamente para formar 16 proteínas no estructurales (nsps) y la RNA-polimerasa dependiente de RNA necesarios en la replicación del genoma viral y la transcripción del RNAm subgenómicos (sgRNAs).</p> <p>Hacia el extremo 3' se encuentran los genes de las proteínas estructurales S, M, E y N, así como de las accesorias hemaglutinina esterasa (HE).</p>	
<p>2. Tienen núcleo y son alimento para los virus.</p>	<p>2. Una célula es un sistema vivo complejo y organizado. Está formada por estructuras y organelos especializados para realizar funciones metabólicas que le permiten, por ejemplo, nutrirse, crecer, desarrollarse y reproducirse.</p> <p>2.1 Las células del tracto respiratorio forman los tejidos de los órganos respiratorios como los epitelios nasales, la faringe, la tráquea, los bronquios, bronquiolos, alveolos y pulmones. Tienen membrana celular, citoplasma, ribosomas, retículo endoplásmico, complejo de Golgi, mitocondrias, núcleo, material genético. Sus funciones pueden ser protección e hidratación de las vías respiratorias</p>	<p>2. La célula hospedadora, por ejemplo, neumocito tipo II, es el sistema vivo que tiene receptores de membrana ACE2 en la membrana plasmática. Forman parte estructural de los alveolos pulmonares, produce una sustancia surfactante que secreta hacia el alveolo para disminuir la tensión superficial de los alveolos y evitar que colapsen.</p> <p>2.1 Bicapa de fosfolípidos con proteínas incrustadas (de transporte, de reconocimiento, receptoras y estructurales), además de moléculas de colesterol. Protege a la célula, mantiene su forma y permite el intercambio selectivo de materia (líquida, sólida o gaseosa) con el</p>	<p>2. La célula hospedadora del virus SARS-CoV-2 debe tener ACE2 en la membrana celular y es el sistema vivo que el virus necesita para replicarse. La célula hospedadora tiene estructuras que le permiten realizar funciones metabólicas para las funciones de nutrición, crecimiento, desarrollo y reproducción.</p> <p>2.1 La membrana plasmática o celular está formada por una bicapa de fosfolípidos con proteínas y moléculas de colesterol. Protege a la célula y regula el intercambio de materia con el ambiente. Algunas de las proteínas de la membrana celular son receptoras y tienen e identifican a otras moléculas químicas.</p>

	<p>superiores e inferiores, producción de mucosidad para protección e intercambio gaseoso (CO₂ por O₂) durante la respiración.</p> <p>2.2 La membrana plasmática o celular está formada por una bicapa de fosfolípidos que tiene inmersas proteínas (de transporte, de reconocimiento, receptoras y estructurales) y moléculas de colesterol. Protege a la célula y permite el intercambio selectivo de materia con el ambiente.</p> <p>2.3 El citoplasma es un medio semilíquido que se encuentra en el interior de la célula y en el que se encuentran inmersos los organelos y el citoesqueleto. Necesario para que la célula realice numerosas reacciones bioquímicas metabólicas y además da sostén interno.</p> <p>2.4 Los ribosomas están formados por RNA ribosomal y proteínas ribosomales. Intervienen en la síntesis de proteínas durante la transcripción del RNAm. Se encuentran en el citoplasma y en el retículo endoplásmico rugoso. Su estructura está organizada en dos subunidades llamadas pequeña y grande.</p> <p>2.5 El retículo endoplásmico (RE) es un conjunto de canales de membrana interconectados. Se localiza en el citoplasma y tiene conexión con el núcleo celular. El liso (REl) carece de ribosomas, sintetiza y empaqueta lípidos y fosfolípidos en vesículas; el rugoso (REr) contiene numerosos</p>	<p>ambiente mediante transporte pasivo y activo de sustancias y partículas.</p> <p>2.2 El citoplasma: medio coloidal e interno de la célula y en el que se encuentran inmersos los organelos y el citoesqueleto (microtúbulos). Contiene agua, moléculas orgánicas y iones para que la célula realice numerosas reacciones metabólicas y da sostén interno.</p> <p>2.3 Los ribosomas son partículas con forma globular formadas por RNA ribosomal (RNAr) y proteínas ribosomales. Intervienen en la síntesis de proteínas durante la transcripción del RNAm. Se encuentran en el citoplasma y en el retículo endoplásmico rugoso. Su estructura está organizada en dos subunidades llamadas pequeña y grande. Contienen enzimas que favorecen enlaces peptídicos.</p> <p>2.4 El retículo endoplásmico (RE) es un laberinto de membranas internas paralelas que se conectan con el núcleo y se extiende hacia el citoplasma. El liso (REl) carece de ribosomas, sintetiza y empaqueta lípidos y fosfolípidos en vesículas; el rugoso (REr) contiene numerosos ribosomas, sintetiza y empaqueta proteínas en vesículas. Las membranas y el interior o luz contienen enzimas para las reacciones bioquímicas secuenciales. Las proteínas sintetizadas son envueltas dentro de vesículas de transporte que se desprenden de la membrana del RE.</p>	<p>2.2 El citoplasma es semilíquido y en el que se encuentran las estructuras celulares. Es el medio en el que ocurren numerosas reacciones bioquímicas metabólicas y también da sostén interno.</p> <p>2.3 Los ribosomas están formados por RNA ribosomal y proteínas ribosomales. Realizan la transcripción del RNAm para la síntesis de proteínas. Están en el citoplasma y en el retículo endoplásmico rugoso. Tienen una subunidad pequeña y una grande.</p> <p>2.4 El retículo endoplásmico (RE) es un grupo de canales de membrana que están interconectados. Se localiza en el citoplasma y se une al núcleo celular. El liso (REl) no tiene ribosomas, realiza la síntesis y de macromoléculas como lípidos y fosfolípidos y los protege en sacos o vesículas; el rugoso (REr) contiene numerosos ribosomas, elabora y empaqueta proteínas en vesículas.</p> <p>2.5 Complejo de Golgi El complejo de Golgi es un conjunto de sacos membranosos y aplanados. Se localiza en el citoplasma. Transforma las proteínas al agregarles sulfatos, carbohidratos o lípidos; protege dichas macromoléculas en vesículas para que se puedan transportar a otros sitios celulares.</p>
--	--	---	--

	<p>ribosomas, sintetiza y empaqueta proteínas en vesículas.</p> <p>2.6 El complejo de Golgi es un conjunto de sacos de membrana y de forma aplanada. Se encuentra en el citoplasma. Sus funciones son: transformación de proteínas por adición de sulfatos, carbohidratos o lípidos; proteger dichas moléculas en vesículas para su transporte; sintetiza glucoesfingolípidos para formar la membrana plasmática y regula el desplazamiento de las moléculas.</p>	<p>2.5 El complejo de Golgi es un conjunto de cisternas (sacos membranosos aplanados apilados) que tienen un espacio interno (luz). Se encuentra en el citoplasma y tiene una cara cis o de entrada recibe las vesículas de transporte provenientes del RE; la cara trans o de salida está cercana a la membrana plasmática y empaqueta moléculas transformadas para que salgan dentro de vesículas; la región media... Sus funciones son: procesa, clasifica y modifica proteínas para formar biomoléculas complejas; aporta membrana de las vesículas a la membrana plasmática; secreción de moléculas.</p>	
<p>3. Sustancia producida por los virus y que los transfiere a la célula</p>	<p>3. Partícula formada por átomos unidos por enlaces químicos y que corresponde a la unidad mínima de una sustancia.</p> <p>3.1 Las glucoproteínas virales en forma de espículas sobresalen de la envoltura del virus y están formadas por aminoácidos e hidratos de carbono. Reconocen los receptores de membrana específicos en las células, son proteínas de fijación.</p> <p>3.2 Las proteínas receptoras en la membrana celular son glicoproteínas que pueden establecer interacciones químicas con otras moléculas del ambiente externo a la célula. Son glucoproteínas de reconocimiento de señales químicas como hormonas y neurotransmisores para la comunicación celular o de enzimas y proteínas presentes en agentes externos como patógenos.</p>	<p>3. Una molécula es un conjunto de dos o más átomos organizados, enlazados químicamente y que pueden formar macromoléculas o polímeros como las biomoléculas (proteínas, lípidos, carbohidratos y ácidos nucleicos). Éstos tienen monómeros unidos por enlaces covalentes.</p> <p>3.1 La subunidad 1 de la glicoproteína S (N-terminal) o S1 se localiza en las espículas virales. Tiene un dominio de unión al receptor (RBD) para el dominio peptidasa (PD) del receptor de membrana ACE2 de la célula hospedadora. Esto hace que la enzima serina-proteasa transmembrana tipo II (TMPRSS2) corte la espícula y se descubra el dominio S2 para la fusión del virus con la célula. La S1 forma interacciones polares con PD y</p>	<p>3. Conjuntos de átomos unidos por enlaces químicos, son la unidad mínima de una sustancia porque presentan las características de ésta. Proteínas, lípidos, carbohidratos y ácidos nucleicos son moléculas grandes (macromoléculas) y complejas.</p> <p>3.1 Las espículas virales están formadas por la proteína de espícula (S). Las espículas reconocen los receptores de membrana ACE2 y unen o fijan el virus a la célula hospedadora. Esta reacción química hace que se active la enzima proteasa TMPRSS2 corte la espícula para dar paso a la penetración del virus en la célula.</p> <p>3.2 Enzima convertidora de angiotensina 2 (ACE2) Enzima convertidora de angiotensina 2 (ACE2) está en las membranas celulares que forman los tejidos de los</p>

		estabiliza la perfusión de la membrana. Con ello promueve la endocitosis. 3.2 Enzima convertidora de angiotensina 2 (ACE2), con dominio peptidasa (PD), y presente en las membranas celulares de órganos como los pulmones, riñones e intestino, por ejemplo. ACE2 tiene un segmento PD-terminal y un dominio tipo colectrina C-terminal (CLD). ACE2 se dimeriza cuando se une con S1 y esto hace que la enzima proteasa TMPRSS2 actúe.	pulmones, riñones e intestino, por ejemplo.
	4. Coronavirus unido a los receptores de membrana de la célula respiratoria e inicia la infección.	4. S1 reconoce a ACE2 y el SARS-CoV-2 se une químicamente a la célula hospedadora. Esto estabiliza a la proteína S y da paso a la entrada del virus a la célula.	4. La proteína S del SARS-CoV-2 reconoce al receptor de membrana ACE2 de la célula hospedadora y se unen químicamente y esto prepara la entrada del virus a la célula
<p>Síntesis de la homogeneización y comparación entre los modelos:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Existe un distanciamiento evidente entre las propiedades para las entidades del MEI/ y las del MCI. Las propiedades del MEI remiten a un contacto entre la sustancia producida por los virus y las células a las que infectan, sin mayor descripción o explicación que pueda corresponder al ámbito de la fijación viral. - El MCu sí contiene las propiedades básicas de las entidades para comprender el ámbito de fijación viral, sin hacer alusión específica al SARS-CoV-2. - La complejidad del MCI se debe a que incorpora las propiedades estructurales y moleculares de las entidades virales y celulares para el caso SARS-CoV-2. - Las propiedades reconocidas por los alumnos son escasas, simples y tienen algunas confusiones. No obstante, es posible retomar, en el MCEA, la noción de contacto entre virus y célula hospedadora por medio de una sustancia viral. 			
Ámbito 2. Penetración			
MEI	MCu	MCI	MCEA
<p>1. Se extienden dentro del cuerpo como tumores malignos que se forman con el cáncer.</p> <p>1.1 Sustancia producida por el virus en contacto con una célula</p>		<p>1. La espícula viral escindida tiene expuesto el dominio S2, éste contiene las proteínas de fusión de membrana. La exposición del dominio S2 de la espícula permite las reacciones de proteólisis para el rompimiento y formación de enlaces químicos entre la envoltura viral y la membrana plasmática, con lo cual se fusionan.</p>	<p>1. El endosoma es un saco pequeño o vesícula formado por hundimiento de la membrana plasmática. Rodea a la nucleocápside viral (+ssRNA en asociación con proteína N). La formación del endosoma ocurre por efecto de la espícula viral cortada o escindida por la enzima proteasa TMPRSS2.</p>

<p>2. Tienen núcleo y son alimento para los virus.</p>		<p>2. +ssRNA viral estabilizado con proteína N y dentro de una vesícula o endosoma que lo protege y deposita en el citoplasma celular.</p>	<p>2. Conjuntos de átomos unidos por enlaces químicos, son la unidad mínima de una sustancia. Proteínas, lípidos, carbohidratos y ácidos nucleicos son moléculas grandes (macromoléculas) y complejas. 2.1 La enzima serina-proteasa transmembrana tipo II (TMPRSS2), es una proteína de la superficie celular. Puede cortar enlaces de aminoácidos en las proteínas, como la proteína S. Con ello activa a las enzimas que fusionan la membrana celular con la envoltura viral y el SARS-CoV-2 entra en la célula hospedadora por endocitosis mediada por receptores. 2.2 La proteína S forma las espículas virales. Permite la fijación y entrada del SARS-CoV-2 en la célula hospedadora. 2.3 +ssRNA viral sin nucleocápside e inmerso en el citoplasma.</p>
	<p>1. El endosoma es una vesícula pequeña formada por invaginación de la membrana plasmática, en este caso, contiene la nucleocápside viral (RNA en asociación con proteínas).</p>	<p>3. Endosomas con proteasas son sacos de membrana pequeños que contienen enzimas que descomponen la membrana del endosoma que contiene la nucleocápside y la liberan en el citoplasma.</p>	
	<p>2. Partícula formada por átomos unidos por enlaces químicos y que corresponde a la unidad mínima de una sustancia. 2.1 El material genético viral sin la envoltura e inmerso en el citoplasma.</p>	<p>4. Una molécula tiene dos o más átomos enlazados químicamente y pueden formar macromoléculas o polímeros como las biomoléculas (proteínas, lípidos, carbohidratos y ácidos nucleicos), con monómeros unidos por enlaces covalentes. 4.1 Enzima serina-proteasa transmembrana tipo II (TMPRSS2), es una proteína de la superficie celular en tejidos endoteliales. Corta</p>	

		<p>cadenas polipeptídicas y con ello separa aminoácidos, por lo que reconoce a la proteína S y la escinde. TMPRSS2 produce una escisión en dos diferentes posiciones del dominio S2, lo que separa el dominio RBD del receptor ACE2. Con ello propicia la exposición de S2, la fusión de la membrana y entrada del SARS-CoV-2 a la célula.</p> <p>4.2 Subunidad 2 de la glicoproteína S transmembranal expuesta, localizada en las espículas virales, contiene las proteínas de fusión. Permite la entrada del virus por endocitosis mediada por receptores y la nucleocápside queda en el interior de una vesícula endocítica o endosoma en el citoplasma.</p> <p>4.3 Enzima catepsina L es un catalizador que se encuentra en endosomas cercanos a la membrana celular. Enzima que también propicia la escisión de la S1 y modifica la S2 para que actúe como proteína de fusión y facilite la endocitosis para la entrada viral dentro de los endosomas.</p> <p>4.4 +ssRNA viral sin nucleocápside e inmerso en el citoplasma.</p>	
<p>Síntesis de la homogeneización y comparación entre los modelos:</p> <ul style="list-style-type: none"> - El MEI/ no se relaciona con el MCu, ni con el MCi para explicar con certeza el ámbito de la penetración viral. - El MCu incluye las propiedades generales para comprender el ámbito de penetración viral. No proporciona detalles de características moleculares específicos para SARS-CoV-2. - El MCi refiere propiedades estructurales y moleculares de las entidades que permiten comprender con profundidad las interacciones bioquímicas que intervienen en este ámbito. - El MEI/ muestra propiedades sencillas e intuitivas ya que remiten a de la necesidad de que exista un contacto y la presencia de algo (sustancia) que permita el acercamiento entre virus y célula hospedadora para que el primero se propague en las células. Esta propiedad incipiente sobre un vínculo virus/célula se puede retomar en el MCEA. 			

Tabla 1c

Dimensión epistemológica-relaciones. Causa y efecto para la Etapa A (ámbitos 1 y 2)

Dimensión epistemológica-relaciones. Causa y efecto del ciclo lítico			
Etapa A) Reconocimiento virus SARS-CoV-2 / Célula hospedadora			
Ámbito 1. Fijación o adsorción			
MEI	MCu	MCI	MCEA
<ul style="list-style-type: none"> • Si los virus son bacterias, entonces tienen núcleo y células. • Si son viscosos, producen una sustancia con la cual se transmiten de una célula a otra. 	<ul style="list-style-type: none"> • Si los virus no son células, no pueden llevar a cabo la reproducción ni las funciones metabólicas. • Las células son sistemas vivos organizados que tienen organelos, por ello realizan funciones metabólicas y sí se pueden reproducir. • Si los virus infectan células pueden hacer copias de sí mismos (réplicas) y producen enfermedades. • Si las espículas del coronavirus reconocen los receptores de membrana de las células respiratorias, se unen o fijan a ellas y se inicia la infección. 	<ul style="list-style-type: none"> • Si los virus no tienen organelos, no llevan a cabo funciones metabólicas, no se reproducen. • Si existe interacción molecular entre los virus y las células hospedadoras, entonces los virus infectan a la célula y utilizan la maquinaria celular para hacer réplicas virales. • Si los coronavirus tienen en sus espículas proteínas con dominios de unión que pueden ser reconocidos por los dominios de unión de los receptores de membrana de la célula hospedadora, entonces se fijan. • Si el dominio de unión al receptor (RBD) de la proteína S1 del virus SARS-CoV-2 (<i>Severe acute respiratory syndrome-Cov2</i>) reconoce al receptor de membrana ACE2 (enzima convertidora de angiotensina 2) con dominio peptidasa (PD) de la célula hospedadora, entonces se unen de manera química (se fijan). 	<ul style="list-style-type: none"> • Si los virus no tienen organelos, no llevan a cabo las funciones metabólicas y no se pueden reproducir. • Si el SARS-CoV-2 es un virus, necesita infectar a una célula huésped para replicarse. • Si la célula huésped es un sistema vivo, entonces tiene los organelos necesarios para llevar a cabo funciones metabólicas como la reproducción. Entre los organelos requeridos se encuentran los ribosomas, el RE y el complejo de Golgi, mismos que son esenciales para la replicación viral. Además, la célula aportará los aminoácidos, los nucleótidos y la energía química necesaria para la síntesis de proteínas y la replicación del genoma viral. • Si existe interacción química entre el virus y la célula, entonces se reconocen molecularmente • Si la proteína S de la espícula del SARS-CoV-2 identifica al receptor ACE2 de la célula

		<ul style="list-style-type: none"> • Si hay presencia de enzima serina-proteasa transmembrana tipo II (TMPRSS2) de la célula, entonces se escinde la proteína S de la y queda expuesto el dominio S2. 	<p>hospedadora, entonces se une o fija a él. Esto activa a la enzima serina-proteasa transmembrana tipo II (TMPRSS2) para cortar o escindir la espícula viral y exponer otra parte de la proteína S.</p>
<p>Síntesis de la homogeneización y comparación entre los modelos:</p> <ul style="list-style-type: none"> - El MEI/ muestra que los sujetos solo tienen la noción de que debe existir un tipo de contacto entre la célula y el virus para que éste pase de una célula a otra; a la vez, muestran confusión ya que piensan que un virus es una bacteria. - El MCu es básico en sus relaciones de causalidad, pero cercano al MCi porque hace la distinción entre virus y célula. Una vez logrado esto, aclara que debe existir un reconocimiento molecular específico entre ellos para que suceda la fijación virus/célula hospedadora. - Es posible retomar, en el MCEA, la noción de contacto entre virus y célula hospedadora como una analogía de unión molecular al inicio de la fijación. 			
<p>Ámbito 2. Penetración</p>			
MEI	MCu	MCi	MCEA
<ul style="list-style-type: none"> • Si los virus se extienden dentro del cuerpo humano, entonces se alimentan de las células. • Los virus producen una sustancia que los transfiere a las células. 	<ul style="list-style-type: none"> • Si se invagina la membrana celular y rodea al virus, se forma una vesícula o endosoma, es decir, ocurre la endocitosis mediada por receptores y entra la nucleocápside al citoplasma. • Si hay ruptura del endosoma y de la cápside, queda el ácido nucleico viral (RNA) en el citoplasma celular. 	<ul style="list-style-type: none"> • La exposición del dominio S2 de la espícula permite las reacciones de proteólisis para el rompimiento y formación de enlaces químicos entre la envoltura viral y la membrana plasmática, y se fusionan. • Si está presente la catepcina L, se propicia la endocitosis del virus, es decir, la entrada de la nucleocápside viral dentro de una vesícula endocítica. • Si se forma la vesícula endocítica, la nucleocápside es introducida en el citoplasma. • Si los endosomas con proteasas descomponen la membrana de la vesícula endocítica que contiene a la nucleocápside. • Si la nucleocápside es liberada en el citoplasma, entonces el +ssRNA viral se traduce en proteínas tempranas (pp1a y pp1ab). 	<ul style="list-style-type: none"> • La interacción virus/célula continúa para dar paso a la entrada del virus en el citoplasma. • La parte expuesta de la proteína S tiene las enzimas para fusionar la envoltura viral y la membrana celular. Propicia la endocitosis mediada por receptores. • Si ocurre la endocitosis, entonces el SARS-CoV-2 es introducido dentro de endosoma en el citoplasma celular. • Si las vesículas ácidas del citoplasma destruyen la membrana del endosoma, entonces el +ssRNA del SARS-CoV-2 queda libre en el citoplasma. • Si el +ssRNA está en el citoplasma puede tener interacción con los ribosomas para llevar a cabo su traducción y la síntesis de proteínas virales tempranas (pp1a y pp1ab).

<p>Síntesis de la homogeneización y comparación entre los modelos:</p> <ul style="list-style-type: none"> - El MEI/ muestra que los sujetos solo tienen la noción de que debe existir un tipo de contacto entre la célula y el virus para que éste pase de una célula a otra. No existen propiedades que reflejen mayor conocimiento sobre cómo ocurre dicho contacto. - El MCu es general, pero cercano al MCI porque explica la entrada del virus a la célula mediante la endocitosis mediada por receptores. - Es posible retomar, en el MCEA, la noción de contacto para la interacción virus/célula hospedadora que permita la entrada del virus a la célula.

Tabla 1d

Dimensión epistemológica-Reglas de inferencia para la Etapa A (ámbitos 1 y 2)

Dimensión epistemológica-Reglas de inferencia del ciclo lítico			
Etapa A) Reconocimiento virus SARS-CoV-2 / Célula hospedadora			
Ámbito 1. Fijación o adsorción			
MEI/	MCu	MCI	MCEA
<p>Cuando los virus pasan de una célula a otra, mediante una sustancia que producen, se multiplican dentro de la célula. Así, célula es alimento para los virus y también contaminan la sangre.</p>	<p>Los virus son formas no celulares, por lo tanto, no realizan funciones metabólicas. Cuando interactúan molecularmente con una célula, mediante múltiples reacciones bioquímicas aprovechan la maquinaria celular para replicarse. Durante el primer paso de la infección, las espículas proteicas de los coronavirus reconocen los receptores de membrana específicos de las células del sistema respiratorio, se unen o fijan a ellos porque los receptores celulares pueden establecer interacciones químicas con otras moléculas, como las que forman a los patógenos.</p>	<p>Los virus tienen interacción molecular con las células y mediante este proceso pueden establecer una relación de parasitismo obligado que deriva en el fenómeno de infección viral (en este caso lítico). Esto ocurre por las características moleculares y estructurales de los virus y las células. Los virus son partículas que carecen de organelos, al interactuar con una célula hospedadora utilizan la maquinaria celular para hacer réplicas virales. En el caso del virus SARS-CoV-2, que es un tipo de coronavirus, las espículas proteicas tienen dominios de unión que pueden ser</p>	<p>Los virus son formas no celulares que carecen de organelos y funciones metabólicas, por lo que no se pueden replicar por sí solos. Un virus es considerado como una partícula que utiliza a la célula para elaborar réplicas de sí mismo, es decir, es un parásito obligado. Tal interacción es resultado de las características moleculares y estructurales que tienen los virus y las células. En particular, el virus SARS-CoV-2 es un coronavirus que infecta a células hospedadoras humanas que poseen receptores de membrana ACE2 (enzima convertidora de</p>

		<p>reconocidos por los dominios de unión de los receptores de membrana de la célula hospedadora y permiten la fijación o unión química entre las dos entidades e iniciar el fenómeno de infección. Cuando el dominio de unión al receptor (RBD) de la proteína S1 del virus SARS-CoV-2) reconoce químicamente al receptor de membrana ACE2) con dominio peptidasa (PD) de la célula hospedadora, entonces se unen de manera química (se fijan). La enzima serina-proteasa transmembrana tipo II (TMPRSS2) escinde la proteína S de la espícula viral y deja expuesto al dominio S2.</p>	<p>angiotensina 2). Tales células se encuentran en los tejidos del sistema respiratorio y de otros sistemas del cuerpo humano. Si la proteína S de la espícula del SARS-CoV-2 identifica al receptor ACE2 de la célula hospedadora, entonces se une o fija a él. Esto activa a la enzima serina-proteasa transmembrana tipo II (TMPRSS2) para cortar o escindir la espícula viral y exponer otra parte de la proteína S.</p>
<p>Síntesis de la homogeneización y comparación entre los modelos:</p> <ul style="list-style-type: none"> - El MEI/ muestra que los sujetos tienen la noción de que debe existir un tipo de contacto indirecto, mediante una sustancia, entre los virus y la célula. Una vez ocurrido esto, los virus causan daños en las células, ya sea porque se multiplican en ellas o porque se alimentan de ellas. No hay profundidad en las explicaciones espontáneas al no dar detalles de cómo ocurre es parte del proceso. Tampoco se incluye la noción de infección. - El MCu sí aborda el fenómeno de infección viral y su inicio o momento de fijación con la célula hospedadora como resultado de una interacción molecular entre ambas entidades. Reconoce la presencia de espículas que deben unirse químicamente a los receptores de membrana específicos de la célula. Solo que en este caso el fenómeno se explica para los coronavirus en general y en relación con las células respiratorias. - El MCi expone que los virus son parásitos obligados de las células y que tienen interacción molecular con ellas. Para el caso del ámbito de fijación, en el caso específico del virus SARS-CoV-2, se incluye la presencia de los dominios de unión tanto de la proteína S1 de la espícula como del receptor de membrana ACE2 en la célula. Además de la presencia e interacción con la enzima serina-proteasa transmembrana tipo II (TMPRSS2) de la célula. - Es posible retomar, en el MCEA, la noción de contacto entre virus y célula hospedadora como una analogía de unión molecular al inicio de la fijación, pero se incluye la participación de la proteína S de la espícula viral, el receptor de membrana ACE2 celular y la enzima TMPRSS2. 			
Ámbito 2. Penetración			
MEI/	MCu	MCi	MCEA
Los virus pasan de una célula a otra por medio de una sustancia que producen y tocan a la célula. De esta forma, se extienden por el cuerpo	Una vez fijado el coronavirus a la célula hospedadora, se llevan a cabo las reacciones bioquímicas para formar una vesícula o endosoma que envuelve a la cápside viral y la	Cuando el dominio S2 de la espícula forma enlaces químicos entre la envoltura viral y la membrana plasmática provocando la fusión de ambas. De esta forma ocurre la	La penetración del virus ocurre por interacción química virus/célula hospedadora, con ayuda de enzimas, fusiona la cubierta viral con la membrana celular y se forma una

como tumores malignos que se forman con el cáncer.	introduce al citoplasma mediante endocitosis mediada por receptores. Después, con intervención de enzimas, se rompe la membrana del endosoma y la cápside, lo que deja al ácido nucleico viral (RNA) libre en el citoplasma celular.	endocitosis de la nucleocápside viral que viaja hacia el citoplasma celular dentro de una vesícula. Al existir interacción con enzimas proteasas, la vesícula se rompe y se libera el +ssRNA y queda expuesto para ser traducido y sintetizar las proteínas tempranas pp1a y pp1ab.	vesícula endocítica. Esta endocitosis mediada por receptores, transporta la nucleocápside del SARS-CopV-2 hacia el citoplasma. Después las proteasas destruyen el endosoma y el +ssRNA del SARS-CoV-2 queda libre en el citoplasma. El +ssRNA puede tener interacción con los ribosomas para llevar a cabo su traducción y la síntesis de proteínas virales tempranas como pp1a y pp1ab.
<p>Síntesis de la homogeneización y comparación entre los modelos:</p> <ul style="list-style-type: none"> - El MEI/ muestra que los sujetos tienen una noción radicalmente alejada de la explicación científica y solo reconocen que los virus pueden llegar a las células a manera de extensión, sin explicar con detalle. Solo utilizan una analogía con lo que piensan es el desarrollo de un tumor maligno, pero no a nivel celular, sino que parecen imaginar una manera de propagación. - El MCu sí relaciona, aunque de forma general, la existencia de interacción molecular entre virus/célula hospedadora para que ocurra la endocitosis mediada por receptores. Expone la formación de una vesícula o endosoma y la posterior liberación del RNA viral en el citoplasma para continuar con las interacciones químicas subsiguientes. - El MCi detalla el dominio dos como el segmento responsable de las uniones químicas necesarias para que ocurra la fusión y la penetración entre la envoltura viral y la membrana plasmática, la posterior formación del endosoma y la endocitosis mediada por receptores. Todo el proceso posibilita la entrada del +ssRNA viral para su posterior traducción y formación de proteínas tempranas pp1a y pp1ab. - En el MCEA solo es posible continuar con la referencia de contacto para la interacción virus/célula hospedadora que permita la entrada del virus ésta . 			

Tabla 2a

Dimensión ontológica-entidades para la Etapa B (ámbitos 3, 4, 5 y 6)

Dimensión ontológica-entidades del ciclo lítico			
Etapa B) Replicación viral			
Ámbito 3. Transcripción temprana			
MEI/	MCu	MCi	MCEA
-----	1. Ribosoma celular (subunidades pequeña y grande)	1. Ribosoma activo 1.1 Subunidad 40s	1. Ribosoma activo 1.1 Subunidad pequeña

-----	<ol style="list-style-type: none"> 2. RNA viral o RNAm viral original 3. RNAt's diversos 4. Aminoácidos diversos 5. Cadena peptídica viral nueva para proteínas tempranas 6. Enzimas factores de liberación 7. Proteínas tempranas 8. Nucleótidos 	<ol style="list-style-type: none"> 1.2 Subunidad 60s 2. Ribosoma disociado 3. Retículo endoplásmico (rugoso) 4. Vesículas formadas por el retículo endoplásmico <p>Moléculas:</p> <ol style="list-style-type: none"> 5. Complejo de iniciación 6. +ssRNAm viral original 7. RNAt iniciador 8. RNAt's diversos 9. Aminoácidos diversos 10. Cadena peptídica viral nueva para proteínas ppl1a o ppl1ab 11. Enzimas factores de liberación 12. Poliproteínas ppl1a o ppl1ab 13. Enzimas proteolíticas: quimiotripsina (3CLpro), proteasa principal (Mpro) y proteasas similares a la papaína 14. Complejo replicasa transcriptasa (RTC) protegida en vesícula 15. Polimerasa viral dependiente de RNA protegida en vesícula 16. Nucleótidos diversos 17. -ssRNA genómico viral intermediario de replicación 	<ol style="list-style-type: none"> 1.2 Subunidad grande 2. Ribosoma disociado 3. Retículo endoplásmico (rugoso) 4. Vesículas formadas por el retículo endoplásmico 5. Complejo de iniciación 6. +RNAm viral original 7. RNAt iniciador 8. RNAt's diversos 9. Aminoácidos diversos 10. Cadena peptídica viral nueva para proteínas ppl1a o ppl1ab 11. Enzimas factores de liberación 12. Poliproteínas ppl1a o ppl1ab 13. Complejo replicasa transcriptasa (RTC) protegida en vesícula 14. Polimerasa viral dependiente de RNA protegida en vesícula 15. Nucleótidos diversos 16. -RNA genómico viral intermediario de replicación
<p>Síntesis de la homogeneización y comparación entre los modelos:</p> <ul style="list-style-type: none"> - El MEI/ presenta inexistencia de entidades para el ámbito de traducción temprana de proteínas virales. - El MCu contiene las entidades básicas necesarias relacionadas con las estructuras celulares y moléculas que intervienen en el proceso. - El MCi incluye alta especificidad en relación con las estructuras celulares y las moléculas que participan en este ámbito para el caso de SARS-CoV-2. - El MEI/ no se relaciona con el MCu ni con el MCi. - No hay entidades del MEI/ que puedan ser retomadas en el MCEA. 			
<p>Ámbito 4. Replicación</p>			
MEI/	MCu	MCi	MCEA
<ol style="list-style-type: none"> 1. Virus = Tumores malignos 	<ol style="list-style-type: none"> 1. +RNAm viral original 2. Enzimas de la célula hospedadora para transcribir el ARNm viral 2.1 RNA replicasa 3. +RNA viral hijo 	<ol style="list-style-type: none"> 1. -ssRNA genómico viral intermediario de replicación 2. Complejo transcriptasa replicasa (RTC) 	<ol style="list-style-type: none"> 1. -ssRNA genómico viral intermediario de replicación 2. Complejo transcriptasa replicasa (RTC)

		2.1 RNA replicasa o RNA polimerasa dependiente de RNA 2.2 Helicasa 2.3 Exorribonucleasa 2.4 Endorribonucleasa 2.5 Metiltransferasa 3. +ssRNA genómico viral protegido en vesícula 4. +RNA subgenómico viral para proteína N y protegido en vesícula 5. +RNA subgenómico viral para proteína S y protegido en vesícula 6. +RNA subgenómico viral para proteína E y protegido en vesícula 7. +RNA subgenómico viral para proteína M y protegido en vesícula	2.1 RNA replicasa o RNA polimerasa dependiente de RNA 3. +ssRNA genómico viral hijo protegido en vesícula 4. +RNA subgenómico viral para proteína N y protegido en vesícula 5. +RNA subgenómico viral para proteína S y protegido en vesícula 6. +RNA subgenómico viral para proteína E y protegido en vesícula 7. +RNA subgenómico viral para proteína M y protegido en vesícula
--	--	--	--

Síntesis de la homogeneización y comparación entre los modelos:

- El MEI/ tiene solo dos entidades que remiten ala existencia de los virus y la célula que, de alguna forma tienen una interacción que daña a la célula.
- El MCu contiene las entidades básicas y generales que corresponden a las estructuras celulares y moléculas que intervienen en el proceso.
- El MCi incluye alta especificidad en particular con las entidades moleculares que participan en este ámbito para el caso de SARS-CoV-2.
- Ninguna de las entidades del MEI/ puede ser retomada en el MCEA.

Ámbito 5. Transcripción tardía

MEI/	MCu	MCi	MCEA
----- .-----	1. Ribosoma celular (subunidades pequeña y grande) Moléculas 2. Proteínas tardías o estructurales del virus	1. Ribosoma activo 1.1 (subunidad 40s) 1.2 Ribosoma (subunidad 60s) 1.3 Complejo de iniciación 1.4 Ribosomas disociados 2. Retículo endoplásmico 2.1 Vesículas formadas por el retículo endoplásmico 3. Complejo de Golgi 3.1 Vesículas formadas por el complejo de Golgi Moléculas 5. Proteína N en vesícula de RE 6. Proteína S en vesícula de RE 7. Proteína E en vesícula de RE 8. Proteína M en vesícula de RE	1. Ribosoma activo 1.1 Subunidad pequeña 1.2 Subunidad grande 2. Retículo endoplásmico 2.1 Vesículas formadas por el retículo endoplásmico 3. Complejo de Golgi 3.1 Vesículas formadas por el complejo de Golgi Moléculas 4. Proteína N en vesícula 5. Proteína S en vesícula 6. Proteína E en vesícula 7. Proteína M en vesícula 8. Enzimas glucosiltransferasas

		9. Enzimas glucosiltransferasas de RE	
<p>Síntesis de la homogeneización y comparación entre los modelos:</p> <ul style="list-style-type: none"> - El MEI/ presenta inexistencia de entidades para el ámbito de traducción tardía de proteínas virales. - El MCu contiene escasas entidades muy generales para este ámbito. - El MCi incluye un poco de mayor detalle que dan pauta para comprender las reacciones bioquímicas involucradas, por ejemplo, en la desintegración del endosoma para liberar el material genético viral. - El MCi incluye alta especificidad con las entidades moleculares que participan en este ámbito para el caso de SARS-CoV-2. - No hay entidades del MEI/ que puedan ser retomadas en el MCEA. 			
Ámbito 6. Ensamblaje			
MEI/	MCu	MCi	MCEA
<ol style="list-style-type: none"> 1. ----- 2. ----- 	<ol style="list-style-type: none"> 1. +RNA viral hijo 2. Proteínas tardías o estructurales 3. Coronavirus hijo en vesícula 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Vesículas formadas por el complejo de Golgi 2. Proteína S glucosilada y en vesícula 3. Proteína E glucosilada y en vesícula 4. Proteína M glucosilada y en vesícula 5. Nucleocápside con +ssRNA viral hijo estable con proteína N y contenido en vesícula 6. Espigas (proteína estructural S) 8. Envoltura membranosa (proteínas estructurales E y M) 7. SARS-CoV-2 hijo protegido en vesícula membranosa 	<p>Moléculas</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Proteína S glucosilada y en vesícula 2. Proteína E glucosilada y en vesícula 3. Proteína M glucosilada y en vesícula <p>Estructuras virales</p> <ol style="list-style-type: none"> 4. Nucleocápside con +ssRNA viral hijo estable con proteína N y contenido en vesícula 5. Espigas (proteína estructural S) 7. Envoltura membranosa (proteínas estructurales E y M) 6. SARS-CoV-2 hijo protegido en vesícula membranosa
<p>Síntesis de la homogeneización y comparación entre los modelos:</p> <ul style="list-style-type: none"> - El MEI/ presenta inexistencia de entidades para el ámbito de ensamblaje viral. - El MCu contiene escasas entidades del ámbito de ensamblaje viral y en este sentido se relaciona de forma muy general con el MCi. - No hay relación entre el MEI/ y el MCu ni el MCi. - No hay entidades del MEI/ que puedan ser retomadas en el MCEA 			

Tabla 2b
 Dimensión ontológica-propiedades para la Etapa B (ámbitos 3, 4, 5 y 6)

Dimensión ontológica-propiedades del ciclo lítico			
Etapa B) Replicación viral			
Ámbito 3. Transcripción temprana			
MEI	MCu	MCi	MCEA
----- -----	1. Los ribosomas están formados por RNA ribosomal y proteínas ribosomales. Intervienen en la síntesis de proteínas durante la transcripción del RNAm. Se encuentran en el citoplasma y en el retículo endoplásmico rugoso. Su estructura está organizada en dos subunidades llamadas pequeña y grande a las que se les asigna la siguiente nomenclatura: 40s a la pequeña y 60s a la grande.	1. El ribosoma activo se ensambla cuando las unidades 40s y 60s entran en interacción química para iniciar la síntesis de proteínas. El ribosoma activo libera factores de iniciación para propiciar enlaces peptídicos. Durante la síntesis de proteínas, el ribosoma se mueve un codón en cada etapa de “lectura” (codón-anticodón); así, el ribosoma es una estructura dinámica, a la par se mueven el RNAm y los RNAt’s 1.1 La subunidad 40s es la menos densa, con 40 s (svedberg) de sedimentación. Interacciona como proteína puente con el RNAm. 1.2 Subunidad 60s es la más densa y tiene 60 s; tiene tres sitios de unión para los RNAt que llevan los aminoácidos al ribosoma. Los sitios son P (peptidil o de polipéptido; A (aminoacil o de aminoácidos) y E (<i>exit</i> , salida de los RNAt). 2. El ribosoma se disocia cuando ha terminado la traducción del RNAm y las subunidades se separan.	1. El ribosoma activo se forma cuando se unen las unidades pequeña y grande. El ribosoma activo libera factores de iniciación para la síntesis de proteínas. 1.1 La subunidad pequeña interacciona con el +ssRNAm del virus. 1.2 Subunidad grande tiene tres sitios de interacción para los RNAt que llevan los aminoácidos al ribosoma. Los sitios son P (peptidil o de polipéptido; A (aminoacil o de aminoácidos) y E (<i>exit</i> , salida de los RNAt). 2. Las subunidades del ribosoma se separan cuando ha terminado la traducción del RNAm.

		<p>3. El retículo endoplásmico rugoso (REr) contiene numerosos ribosomas, sintetiza y empaqueta proteínas en vesículas. Las membranas y el interior o luz contienen enzimas para las reacciones bioquímicas secuenciales.</p>	<p>3. El retículo endoplásmico rugoso (REr) contiene numerosos ribosomas, sintetiza y empaqueta proteínas en vesículas.</p>
		<p>4. Las vesículas formadas por el retículo endoplásmico envuelven y protegen a las proteínas sintetizadas para ser transportadas a otros sitios de la célula.</p>	<p>4. Las vesículas formadas por el retículo endoplásmico envuelven y protegen a las proteínas sintetizadas para ser transportadas a otros sitios de la célula.</p>
		<p>5. El complejo de iniciación lo conforman la subunidad 40s, un RNAt iniciador, el RNAm y proteínas (factores de iniciación, IF) para el reconocimiento del codón de inicio del RNAm.</p>	<p>5. El complejo de iniciación lo conforman la subunidad 40s, un RNAt iniciador, el RNAm y proteínas (factores de iniciación, IF) para el reconocimiento del codón de inicio del RNAm.</p>
	<p>2. El RNA original de los coronavirus es monocatenario de polaridad y por ello funciona como RNAm directamente en la traducción para la síntesis de proteínas.</p>	<p>6. El +ssRNAm viral original es un ácido ribonucleico que tiene una sola cadena (<i>single stranded</i>) de polaridad positiva compuesta de 29 903 nucleótidos. Es de polaridad positiva porque opera directamente como RNAm debido a que tiene un capuchón metilado (cap) en el extremo 5' y una cola poliadenilada (poli-A) en el extremo 3'. Cerca del extremo 5' se encuentra el gen del complejo replicasa/transcriptasa, formado por dos marcos de lectura abierta (<i>open reading frame</i>): OFR 1a y OFR 1b. Se traducirán en las poliproteínas pp1a y pp1ab, que luego son procesadas proteolíticamente para formar 16 proteínas no estructurales (nsps) y la RNA-polimerasa dependiente de RNA necesarios en la replicación del genoma viral y la</p>	<p>6. El +ssRNAm viral original es un ácido ribonucleico que tiene una sola cadena (<i>single stranded</i>) de polaridad positiva compuesta de 29 903 nucleótidos. Es de polaridad positiva porque opera directamente como RNAm debido a su estructura química que tiene orientación 5'-3'. Tiene los genes para las proteínas estructurales, no estructurales, poliproteínas pp1a y pp1ab, y la RNA-polimerasa dependiente de RNA necesarios en la replicación del genoma viral y la transcripción del RNAm subgenómicos (sgRNAs).</p>

		transcripción del RNAm subgenómicos (sgRNAs). Hacia el extremo 3' se encuentran los genes de las proteínas estructurales S, M, E y N, así como de las accesorias hemaglutinina esterasa (HE).	
		7. El RNAt iniciador es el ácido ribonucleico que primero interacciona con el ribosoma activo para dar comienzo a la elaboración de la cadena polipeptídica. En todos los casos transporta el aminoácido metionina que queda acomodado en el sitio P de la subunidad 60s del ribosoma.	7. El RNAt iniciador es el ácido ribonucleico que primero interacciona con el ribosoma activo para dar comienzo a la elaboración de la cadena peptídica..
3. Los RNAt son moléculas que transportan los aminoácidos del citoplasma hacia el ribosoma para la síntesis de proteínas e interaccionan temporalmente con el ribosoma y con el RNAm.	8. Los RNAt's diversos o ácidos ribonucleicos de transferencia son las moléculas encargadas de llevar al ribosoma los diferentes aminoácidos necesarios para elongar la cadena polipeptídica de acuerdo con las instrucciones del RNAm. Cada RNAt interacciona con el sitio aceptor (A) donde recibe la cadena peptídica, luego el RNAt es translocado al sitio P y deja libre el A. Luego el RNAm avanza al siguiente codón y lo expone al sitio A. En el movimiento, El RNAt sin aminoácido pasa al sitio E y es liberado hacia el citoplasma.	8. Los RNAt's o ácidos ribonucleicos de transferencia son las moléculas encargadas de llevar al ribosoma los diferentes aminoácidos necesarios para elongar la cadena polipeptídica de acuerdo con las instrucciones del RNAm.	
4. Aminoácidos diversos son moléculas con un grupo amino, otro carboxilo y uno variable o radical. Son los monómeros de las proteínas y, al ser transportados al ribosoma, son utilizados para elaborar la cadena polipeptídica.	9. Los aminoácidos (a.a.) diversos son moléculas que forman a las proteínas, es decir, son monómero de las proteínas.	9. Los aminoácidos (a.a.) son moléculas que forman a las proteínas, es decir, son monómero de las proteínas.	
5. La cadena peptídica viral nueva para proteínas tempranas formará las	10. La cadena peptídica viral nueva para proteínas pp1a o pp1ab es la estructura primaria de cada proteína	10. La cadena peptídica viral nueva para proteínas pp1a o pp1ab es la	

	<p>proteínas tempranas necesarias para la replicación del RNA .</p>	<p>viral de este tipo, está formada por los a.a. unidos con enlaces peptídicos. Cada cadena peptídica tendrá que ser madurada para que adquiera la estructura secundaria, terciaria o cuaternaria que requiera para realizar su función enzimática.</p>	<p>estructura primaria de cada proteína no estructural.</p>
	<p>6. Los factores de liberación son enzimas para liberar a las proteínas tempranas del ribosoma y que puedan llevar a cabo su función</p>	<p>11. Los factores de liberación son proteínas que inhiben la formación de enlaces peptídicos al agregar una molécula de agua al último a.a. de la cadena peptídica. Los factores de liberación actúan está determinada por el codón de término o de parada del RNAm, al cual ya no se une ningún RNAt. Esto provoca que el enlace entre el último RNAt y la cadena peptídica ya formada se separen, así como la disociación del ribosoma.</p>	<p>11. Los factores de liberación son proteínas que identifican el codón de término o de parada del RNAm, al cual ya no se une ningún RNAt. Esto hace que el último RNAt y la cadena peptídica ya formada se separen, así como la disociación del ribosoma.</p>
	<p>7. Las proteínas tempranas activan la replicación de RNA viral original y la formación del RNA hijo. Para ello utilizan las enzimas celulares como la RNA replicasa.</p>	<p>12. Las poliproteínas pp1a o pp1ab son las proteínas sintetizadas a partir de la información contenida en el gen viral con los marcos ORF 1a y ORF 1ab. Darán paso a la formación de las 16 proteínas no estructurales (nsp 1 a nsp 16).</p>	<p>12. Las poliproteínas pp1a o pp1ab son las proteínas sintetizadas a partir de la información viral y que hacen posible la replicación viral y la formación de proteínas no estructurales.</p>
		<p>13. Las enzimas proteolíticas llamadas quimiotripsina (3CLpro), proteasa principal (Mpro) y proteasas similares a la papaína procesan proteolíticamente a las pp1a y pp1ab para formar las nsp 1 a nsp 16.</p>	
		<p>14. El complejo replicasa transcriptasa (RTC) incluye nsp1 a nsp 16, protegidas en una vesícula formada por el retículo endoplásmico. La mayoría de las nsps son necesarias para la replicación y transcripción genómica</p>	<p>13. El complejo replicasa transcriptasa (RTC) replica y sintetiza a los RNAm subgenómicos (sgRNA) necesarios para la síntesis de las proteínas estructurales S, M, E y N, así como para las proteínas accesorias</p>

		del virus ya que realizan actividad enzimática de tipo proteasa, RNA polimerasa dependiente de RNA (RdRp), helicasa, exorribonucleasa, endorribonucleasa y metiltransferasa. Pero se desconoce la función de nsp 6, nsp 7 y nsp 8, pero es probable que desregulen la respuesta inmune. El RTC replica y sintetiza a los RNAm subgenómicos (sgRNA) necesarios para la síntesis de las proteínas estructurales S, M, E y N, y las proteínas accesorias.	
		15. La polimerasa viral dependiente de RNA protegida en vesícula es formada por el RTC e interacciona con el +ssRNAm viral original para hacer un molde en la síntesis del -ssRNA genómico.	14. La polimerasa viral dependiente de RNA protegida en vesícula es formada por el RTC e interacciona con el +ssRNAm viral original para usarlo como molde en la síntesis del -ssRNA genómico viral.
8. Los nucleótidos son las unidades moleculares o monómeros de los ácidos nucleicos. Cada nucleótido está formado por un azúcar ribosa, un grupo fosfato y una base nitrogenada que puede ser adenina, citosina, guanina o uracilo.	16. Los nucleótidos son las unidades moleculares o monómeros de los ácidos nucleicos (en este caso, -ssRNA genómico viral intermediario de replicación). Cada nucleótido está formado por un azúcar ribosa, un grupo fosfato y una base nitrogenada que puede ser adenina, citosina, guanina o uracilo.	15. Los nucleótidos son las unidades moleculares o monómeros de los ácidos nucleicos (en este caso, -ssRNA genómico viral intermediario de replicación). Cada nucleótido está formado por un azúcar ribosa, un grupo fosfato y una base nitrogenada que puede ser adenina, citosina, guanina o uracilo.	
	17. El -ssRNA genómico viral intermediario de replicación es la cadena de nucleótidos complementarios del +ssRNAm viral original. Necesario para la síntesis de +ssRNAm genómico (viral hijo) y los +ssRNA subgenómicos para las proteínas estructurales y accesorias.	16. El -ssRNA genómico viral intermediario de replicación es la cadena de nucleótidos complementarios del +ssRNAm viral original. Necesario para la síntesis de +ssRNAm genómico (viral hijo) y los +ssRNA subgenómicos para las proteínas estructurales y accesorias.	
<p>Síntesis de la homogeneización y comparación entre los modelos:</p> <ul style="list-style-type: none"> - El MEI/ tiene inexistencia de entidades para el ámbito de traducción temprana de proteínas virales y, en consecuencia, de propiedades correspondientes. - El MCu contiene las propiedades básicas para las entidades de la traducción temprana, en comparación con el MCi, carece de especificidad molecular para el caso SARS-CoV-2. 			

<ul style="list-style-type: none"> - El MCi incluye alta especificidad para las propiedades de las entidades en el caso del ámbito traducción temprana para el caso de SARS-CoV-2. - No hay propiedades del MEI que puedan ser retomadas en el MCEA. - El MCEA confiere una mayor complejidad para los educandos. 			
Ámbito 4. Replicación			
MEI	MCu	MCi	MCEA
<p>1. Virus se propagan como los tumores malignos ya que se extienden en el cuerpo.</p>	<p>1. El +RNAm viral original proviene del virus que infectó a la célula y contiene los genes que serán replicados para formar el RNA viral hijo.</p>	<p>1. El -ssRNA genómico viral intermediario de replicación es la cadena de nucleótidos complementarios del +ssRNAm viral original. Necesario para la síntesis de +ssRNAm genómico (viral hijo) y los +ssRNA subgenómicos para las proteínas estructurales y accesorias.</p>	<p>1. El -ssRNA genómico viral intermediario de replicación es la cadena de nucleótidos complementarios del +ssRNAm viral original. Necesario para la síntesis de +ssRNAm genómico (viral hijo) y los +ssRNA subgenómicos para las proteínas estructurales y accesorias.</p>
	<p>2. Las enzimas de la célula hospedadora actúan junto con la RNA replicasa para transcribir o hacer una copia del RNA viral. 2.1 El RNA replicasa o RNA polimerasa es una enzima que sintetiza RNAm por medio de transcripción de una cadena molde.</p>	<p>2. Complejo transcriptasa replicasa (RTC): 2.1 La RNA replicasa o RNA polimerasa dependiente de RNA es una enzima que hace una cadena complementaria de RNA, a partir de un RNA plantilla o molde. En este caso, sintetiza +ssRNA genómico viral al unir nucleótidos complementarios a partir del -ssRNA intermediario. La RNA replicasa corresponde a la nsp 12. 2.2 La helicasa es una enzima que separa el +ssRNA genómico viral hijo del -ssRNA intermediario. Corresponde a la nsp 13. 2.3 La exorribonucleasa es una enzima de los coronavirus que favorece la unión de los nucleótidos correctos en la formación del +ssRNA genómico viral hijo. Corrige los errores de la replicasa viral y con ello da estabilidad a la molécula nueva ya que reduce las mutaciones posibles. Esta enzima corresponde a la nsp 14 o nsp 1.</p>	<p>2. El complejo transcriptasa replicasa (RTC) incluye enzimas virales para transcribir el ARNm original. 2.1 La RNA replicasa o RNA polimerasa dependiente de RNA es la encargada de unir los nucleótidos complementarios a la cadena de RNA original para hacer la copia correspondiente.</p>

		<p>2.4 La enzima endorribonucleasa realiza cortes específicos en el RNA y evita el doble-trenzados del ARN. Esta enzima corresponde a la nsp 15. Además, interviene en la protección del virus contra la respuesta inmune.</p> <p>2.5 La metiltransferasa transfieren grupos metilo al material genético para la regulación de la expresión del RNA viral. Por ello participa en la maduración del RNA viral hijo. Corresponde a la nsp 14.</p>	
	<p>3. +RNA viral hijo es la réplica de los genes del +RNA original y que al ensamblarse con las proteínas tardías formará al virus hijo.</p>	<p>3. El +ssRNA genómico viral hijo protegido en vesícula es la réplica del material genético viral original. Se encuentra aún protegido dentro de pequeño saco de membrana y formará la nucleocápside del virus hijo una vez que se asocie con la proteína N.</p>	<p>3. El +ssRNA genómico viral hijo protegido en vesícula es la réplica del material genético viral original y formará la nucleocápside del virus hijo.</p>
		<p>4. El +RNA subgenómico viral se sintetiza a partir del -RNA intermediario y tiene los genes para elaborar proteína N.</p>	<p>4. El +RNA subgenómico viral se sintetiza a partir del -RNA intermediario y tiene los genes para elaborar proteína N.</p>
		<p>5. +RNA subgenómico viral se sintetiza a partir del -RNA intermediario y tiene los genes para elaborar proteína S.</p>	<p>5. +RNA subgenómico viral se sintetiza a partir del -RNA intermediario y tiene los genes para elaborar proteína S.</p>
		<p>6. +RNA subgenómico viral se sintetiza a partir del -RNA intermediario y tiene los genes para elaborar proteína E.</p>	<p>6. +RNA subgenómico viral se sintetiza a partir del -RNA intermediario y tiene los genes para elaborar proteína E.</p>
		<p>7. +RNA subgenómico viral se sintetiza a partir del -RNA intermediario y tiene los genes para elaborar proteína M.</p>	<p>7. +RNA subgenómico viral se sintetiza a partir del -RNA intermediario y tiene los genes para elaborar proteína M.</p>
<p>Síntesis de la homogeneización y comparación entre los modelos:</p> <ul style="list-style-type: none"> - El MEI/ incluye una sola entidad que equipara a los virus con el crecimiento de los tumores malignos, la propiedad que se infiere remite a una forma de propagación viral dentro del cuerpo, pero no a una replicación del virus dentro de las células. 			

- El MCu contiene las propiedades mínimas sobre la replicación viral, pero no alcanza el nivel de profundidad con respecto de las enzimas específicas para el caso SARS-CoV-2
- El MCi tiene alta especificidad en las propiedades moleculares de las enzimas que intervienen en la replicación del material genético del SARS-CoV-2, tanto del RNA genómico hijo como de los RNA subgenómicos (para la elaboración de las proteínas estructurales del virus).
- Ninguna de las entidades del MEI/ puede ser retomada en el MCEA.
- El MCEA se propone con una adaptación en profundidad del MCi.

Ámbito 5. Transcripción tardía

MEI/	MCu	MCi	MCEA
<p>----- -----</p>	<p>1. Los ribosomas están formados por RNA ribosomal y proteínas ribosomales. Intervienen en la síntesis de proteínas durante la transcripción del RNAm. Se encuentran en el citoplasma y en el retículo endoplásmico rugoso. Su estructura está organizada en dos subunidades llamadas pequeña y grande a las que se les asigna la siguiente nomenclatura: 40s a la pequeña y 60s a la grande.</p>	<p>1. El ribosoma activo se ensambla cuando las unidades 40s y 60s entran en interacción química para iniciar la síntesis de proteínas. El ribosoma activo libera factores de iniciación para propiciar enlaces peptídicos. En la síntesis de proteínas, el ribosoma se mueve un codón en cada etapa de “lectura” (codón-anticodón); a la par se mueven el RNAm y los RNAt´s</p> <p>1.1 La subunidad 40s es la menos densa, con 40 s (svdberg) de sedimentación. Interacciona como proteína puente con el RNAm.</p> <p>1.2 Subunidad 60s es la más densa (60 s); tiene tres sitios de unión para los RNAt que llevan los aminoácidos al ribosoma. Los sitios son P (peptidil o de polipéptido; A (aminoacil o de aminoácidos) y E (<i>exit</i>, salida de los RNAt).</p> <p>1.3 El complejo de iniciación tiene la subunidad 40s, un RNAt iniciador, el RNAm y proteínas (factores de iniciación, IF) para el reconocimiento del codón de inicio del RNAm.</p>	<p>1. El ribosoma activo se forma cuando se unen las unidades pequeña y grande. El ribosoma activo libera factores de iniciación para la síntesis de proteínas.</p> <p>1.1 La subunidad pequeña interacciona con el +ssRNAm del virus.</p> <p>1.2 Subunidad grande tiene tres sitios de interacción para los RNAt que llevan los aminoácidos al ribosoma. Los sitios son P (peptidil o de polipéptido; A (aminoacil o de aminoácidos) y E (<i>exit</i>, salida de los RNAt).</p>
	<p>2. Las proteínas tardías son estructurales y son parte tanto de la</p>	<p>2. El ribosoma se disocia cuando ha terminado la traducción del RNAm y las subunidades se separan.</p>	

	envoltura como de la membrana virales.		
		<p>3. El retículo endoplásmico rugoso (REr) contiene numerosos ribosomas, sintetiza y empaqueta proteínas en vesículas. Las membranas y el interior o luz contienen enzimas para las reacciones bioquímicas secuenciales. 3.2 Las vesículas formadas por el retículo endoplásmico envuelven y protegen a las proteínas sintetizadas para ser transportadas a otros sitios de la célula.</p>	<p>2. El retículo endoplásmico rugoso (REr) tiene los ribosomas, sintetiza y empaqueta proteínas en vesículas. 2.1 Las vesículas son pequeños sacos formados por el retículo endoplásmico, envuelven y protegen a las proteínas sintetizadas para ser transportadas a otros sitios de la célula.</p>
		<p>4. El complejo de Golgi es un conjunto de cisternas membranosas que con un espacio interno (luz). está en el citoplasma y tiene una cara cis o de entrada recibe las vesículas de transporte provenientes del RE; la cara trans o de salida está cercana a la membrana plasmática y empaqueta moléculas transformadas para que salgan dentro de vesículas. Funciones: procesa, clasifica y modifica proteínas para formar biomoléculas complejas; aporta membrana de las vesículas a la plasmática; secreción de moléculas. 4.1 Las vesículas formadas por el complejo de Golgi son pequeños sacos de membrana que protegen a las moléculas procesadas.</p>	<p>3. El complejo de Golgi es un conjunto de cisternas (sacos membranosos aplanados apilados) que tienen un espacio interno (luz). Se encuentra en el citoplasma y recibe vesículas de transporte provenientes del RE. Procesa, clasifica y modifica proteínas para formar biomoléculas complejas; aporta membrana de las vesículas a la membrana plasmática; secreción de moléculas. 3.1 Las vesículas formadas por el complejo de Golgi son pequeños sacos de membrana que protegen a las moléculas procesadas.</p>
		<p>Moléculas 5. La proteína N, una vez sintetizada, interacciona con el +ssRNA genómico hijo para estabilizarlo. Es una molécula fosforilada que además se inserta en la bicapa de fosfolípidos de la envoltura viral, tiene 46 Kdal.</p>	<p>Moléculas 4. Proteína N sintetizada y protegida en vesícula de RE, se unirá con el +ssRNA genómico hijo para estabilizarlo. También forma parte estructural de la nucleocápside.</p>

		6. La proteína S sintetizada y protegida en vesícula de RE para ser transportada hacia el complejo de Golgi y ser glucosilada.	5. La proteína S sintetizada y protegida en vesícula de RE es llevada hacia el complejo de Golgi para transformarla en glucoproteína.
		7. La proteína E sintetizada y protegida en vesícula de RE para ser transportada hacia el complejo de Golgi y ser glucosilada.	6. La proteína E sintetizada y protegida en vesícula de RE para ser transportada hacia el complejo de Golgi y ser glucosilada.
		8. Proteína M sintetizada y protegida en vesícula de RE para ser transportada hacia el complejo de Golgi y ser glucosilada.	7. Proteína M sintetizada y protegida en vesícula de RE para ser transportada hacia el complejo de Golgi y ser glucosilada.
		9. Las enzimas procesadoras glucosiltransferasas son moléculas que transfieren moléculas de carbohidratos a otras moléculas, por ejemplo, a las glucoproteínas.	8. Las enzimas glucosiltransferasas son producidas en el complejo de Golgi y agregan moléculas de carbohidratos a las proteínas.

Síntesis de la homogeneización y comparación entre los modelos:

- En el MEI son inexistentes las entidades y por consiguiente las propiedades para el ámbito de traducción tardía de proteínas estructurales virales.
- El MCu tiene las propiedades generales que lo acercan al MCi, pero sin la especificidad molecular para el caso SARS-CoV-2.
- El MCi incluye alta especificidad con las propiedades moleculares que participan en este ámbito para el caso de SARS-CoV-2. Se consideró, en este ámbito, elaborar el MCEA con base en el MCi.
- No hay entidades del MEI que puedan ser retomadas en el MCEA.

Ámbito 6. Ensamblaje

MEI	MCu	MCi	MCEA
----- -----	1. El +RNA viral hijo es una réplica del material genético viral original.		
		1. Las vesículas formadas por el complejo de Golgi son pequeños sacos que protegen, se desplazan en el citoplasma y propician la interacción de las estructuras virales.	
	2. Proteínas tardías o estructurales que forman parte de las cubiertas del virus.	2. La proteína S glucosilada y en vesícula forma las espículas del virus hijo. Contiene las subunidades S1 (N-terminal, dominio <u>RBD</u>) y S2 (C-terminal). Facilita la unión con el receptor ACE2 celular y la entrada del virus a la célula.	1. La proteína S glucosilada y en vesícula forma las espículas del virus hijo con las cuales reconoce los receptores ACE2 de las células hospedadoras

		<p>3. Proteína E no glucosilada y en vesícula es parte estructural de la envoltura viral nueva. Participa en el ensamblaje y liberación del virus; pesa 8 Kdal.</p>	<p>2. Proteína E glucosilada y en vesícula, forma parte estructural de la envoltura viral nueva.</p>
		<p>4. Proteína M glucosilada y en vesícula forma parte de la membrana viral. Mantiene la curvatura de la membrana y la unión con la nucleocápside. Es la más abundante y tiene 25 Kdal.</p>	<p>3. Proteína M glucosilada y en vesícula forma parte de la membrana viral.</p>
		<p>5. La nucleocápside helicoidal tiene el +ssRNA viral hijo asociado con la proteína N que le da estabilidad molecular. Esta nucleocápside está protegida dentro de una vesícula.</p>	<p>4. La nucleocápside contiene el +ssRNA viral hijo asociado con la proteína N que le da estabilidad molecular. Esta nucleocápside está protegida dentro de una vesícula.</p>
		<p>6. Las espículas virales tienen forma de espina y sobresalen de la cubierta viral. La estructura es de proteína S y miden entre 8 y 12 nanómetros.</p>	<p>5. Las espículas virales tienen forma de espina y sobresalen de la cubierta viral. La estructura es de proteína S.</p>
		<p>7. La envoltura membranosa viral tiene proteínas estructurales E y M.</p>	<p>6. La envoltura membranosa viral tiene proteínas estructurales E y M.</p>
<p>3. El coronavirus hijo en vesícula es el coronavirus nuevo ya ensamblado (cápside, material genético y cubierta membranosa), puede salir de la célula al unirse a la membrana de ésta y ser expulsados por exocitosis.</p>		<p>8. El SARS-CoV-2 hijo ya ensamblado está protegido en una vesícula membranosa que lo transporta a través del citoplasma hacia la membrana plasmática para ser liberado por exocitosis.</p>	<p>7. El SARS-CoV-2 hijo ya ensamblado está protegido en una vesícula membranosa que lo transporta a través del citoplasma hacia la membrana plasmática para ser liberado por exocitosis.</p>
<p>Síntesis de la homogeneización y comparación entre los modelos:</p> <ul style="list-style-type: none"> - El MEI/ presenta inexistencia de entidades y, en consecuencia, de propiedades para el ámbito de ensamblaje viral. - El MCu contiene propiedades básicas del ámbito de ensamblaje viral y se relaciona de forma muy general con el MCi ya que carece de especificidad para el caso SARS-CoV-2. - No hay relación entre el MEI/ y el MCu ni el MCi. - No hay propiedades del MEI/ que puedan ser retomadas en el MCEA. - El MCEA se acerca más al MCi debido a la especificidad del caso SARS-CoV-2. 			

Tabla 2c

Dimensión epistemológica-relaciones. Causa y efecto para la Etapa B (ámbitos 3, 4, 5 y 6)

Dimensión epistemológica-relaciones. Causa y efecto del ciclo lítico			
Etapa B) Replicación viral			
Ámbito 3. Transcripción temprana			
MEI	MCu	MCI	MCEA
<p>----- -----</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Si el ácido nucleico viral (RNA) se encuentra libre en el citoplasma celular, entonces interacciona con los ribosomas y funciona como RNAm. • Si RNAm interacciona con los RNAt, entonces se sintetizan las proteínas tempranas virales. • Si las proteínas tempranas interaccionan con los factores de liberación, entonces se disocia el ribosoma y las proteínas tempranas formadas son separadas del ribosoma. • Si las proteínas tempranas están libres, entonces pueden tener interacción posterior con el RNA viral original y los ribosomas para sintetizar las proteínas tardías. • Si las proteínas tempranas están libres pueden tener interacción posterior con el RNA original viral y hacer una réplica de éste con intervención de la RNA replicas y los nucleótidos correspondientes. 	<ul style="list-style-type: none"> • Si el +ssRNAm viral interacciona con el ribosoma activo, entonces ocurre la síntesis de las poliproteínas pp1a y pp1ab al unirse los aminoácidos indicados por el mensaje. • Si las poliproteínas pp1a y pp1ab interaccionan con factores de liberación, entonces se disocia el ribosoma y las poliproteínas son liberadas. • Si las poliproteínas interaccionan con las enzimas proteolíticas, entonces se forma el complejo replicasa transcriptasa (RTC) y polimerasa viral dependiente de RNA. • Si la polimerasa viral dependiente de RNA interacciona con +ssRNA viral original, entonces éste es transcrito y se unen nucleótidos complementarios para sintetizar -ssRNA viral, también llamado intermediario de replicación. • 	<ul style="list-style-type: none"> • Si el +ssRNAm viral interacciona con el ribosoma activo, entonces ocurre la síntesis de las tempranas. • Si las proteínas tempranas interaccionan con factores de liberación, entonces se disocia el ribosoma y son liberadas. • Si las proteínas tempranas forman el complejo replicasa transcriptasa (RTC) y la polimerasa viral dependiente de RNA, entonces el +ssRNA viral original es transcrito a -ssRNA viral o intermediario de replicación.

Síntesis de la homogeneización y comparación entre los modelos:

- El MEI/ no presenta relaciones de causalidad para el ámbito traducción temprana.
- El MCu muestra las relaciones de causalidad generales para la síntesis de proteínas tempranas, pero sin especificar nombres detallados de las mismas.
- El MCi incluye alta especificidad para las relaciones causales acerca de la formación de las poliproteínas del SARS-CoV-2.
- No hay información del MEI/ que pueda ser retomadas en el MCEA.
- El MCEA se propone con base en el MCi, pero haciendo una adecuación del nivel para los estudiantes.

Ámbito 4. Replicación

MEI/	MCu	MCi	MCEA
<ul style="list-style-type: none"> • Virus se propagan como los tumores malignos ya que se extienden dentro del cuerpo. 	<ul style="list-style-type: none"> • Si el RNA viral original interacciona con las enzimas de la célula hospedadora y la RNA replicasa, entonces se elabora una réplica de RNA que será el RNA viral hijo. • Si el RNA viral hijo se ensambla con las proteínas tardías, formará al virus hijo. 	<ul style="list-style-type: none"> • Si el -ssRNA viral intermediario de replicación interacciona con el complejo transcriptasa replicasa (enzimas RNA replicasa, helicasa, exorribonucleasa, endorribonucleasa y metiltransferasa), entonces se sintetizan +ssRNA genómico (viral hijo), +ssRNA subgenómico para proteína N, +ssRNA subgenómico para proteína S, +ssRNA subgenómico para proteína E y +ssRNA subgenómico para proteína M. • Si cada RNA genómico y subgenómico es liberado, son envueltos individualmente por una vesícula que los protege y los transporta hacia el RE. • Si el +ssRNA genómico (viral hijo) interacciona con la proteína N, se forma la nucleocápside. 	<ul style="list-style-type: none"> • Si el -ssRNA viral intermediario de replicación interacciona con el complejo transcriptasa replicasa, entonces se sintetizan +ssRNA genómico (viral hijo), +ssRNA subgenómico para proteína N, +ssRNA subgenómico para proteína S, +ssRNA subgenómico para proteína E y +ssRNA subgenómico para proteína M. • Si cada RNA subgenómico interacciona con ribosomas, entonces se forman las proteínas estructurales S, E y M. • Si el +ssRNA genómico (viral hijo) interacciona con la proteína N, se forma la nucleocápside.

Síntesis de la homogeneización y comparación entre los modelos:

- El MEI/ incluye solo una vaga relación de causalidad al mostrar que los sujetos equiparan, en su forma pensamiento espontáneo, el crecimiento de los tumores con cierta extensión de los virus dentro del organismo. La relación con el ámbito de replicación se aleja de la explicación científica, pero denota que algo sucede dentro del cuerpo para que surjan más virus dentro del organismo infectado.
- El MCu contiene relaciones de causalidad muy básicas ya que remite a la formación de una copia de RNA viral original (+ssRNA) de manera directa, sin un RNA intermediario (-ssRNA) ni la formación de RNA subgenómicos para la posterior síntesis de proteínas estructurales. Esto es posible porque no todos los virus requieren de dicho intermediario.

- El MCi incluye relaciones de causa y efecto complejas y con alta especificidad con -ssRNA, +ssRNA genómico y cuatro RNA subgenómicos. Esto permite comprender de forma detallada el ámbito de replicación en particular para el SARS-CoV-2.
- No existen relaciones de causalidad en el MEI/ que puedan ser retomadas en el MCEA.
- El MCEA se propone con una adaptación de la profundidad del MCi.

Ámbito 5. Transcripción tardía

MEI/	MCu	MCi	MCEA
<p>----- -----</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Si el RNA viral original interacciona con los ribosomas, entonces se sintetizan las proteínas tardías. • Si las proteínas tardías interaccionan con la nucleocápside se forma el coronavirus nuevo. 	<ul style="list-style-type: none"> • Si el RNA subgenómico N interacciona con los ribosomas del RE , entonces se forman la proteína N dentro de una vesícula que la transporta hacia la nucleocápside. • Si el RNA subgenómico S interacciona con los ribosomas del RE, entonces se forman la proteína S dentro de una vesícula que la transporta hacia el complejo de Golgi para que las enzimas procesadoras la glucosiden. • Si la proteína S es glicosilada, entonces es transportada dentro de una vesícula hecha por el Golgi para encontrarse con la nucleocápside. • Si el RNA subgenómico E interacciona con los ribosomas del RE, entonces se forman la proteína E dentro de una vesícula que la transporta hacia el complejo de Golgi para que las enzimas procesadoras la glucosiden. • Si la proteína E es glicosilada, entonces es transportada dentro de una vesícula hecha por el Golgi para encontrarse con la nucleocápside. • Si el RNA subgenómico M interacciona con los ribosomas del RE, entonces se forman la proteína M dentro de una vesícula que la 	<ul style="list-style-type: none"> • Si el RNA subgenómico N interacciona con los ribosomas del RE, entonces se forman la proteína N dentro de una vesícula para transportarlo hacia la nucleocápside. • Si el RNA subgenómico S interacciona con los ribosomas del RE, entonces se forman la proteína S dentro de una vesícula que la transporta hacia el complejo de Golgi para que las enzimas procesadoras la glucosiden. • Si la proteína S es glicosilada, entonces es transportada dentro de una vesícula hecha por el Golgi para encontrarse con la nucleocápside. • Si el RNA subgenómico E interacciona con los ribosomas del RE, entonces se forman la proteína E dentro de una vesícula que la transporta hacia el complejo de Golgi para que las enzimas procesadoras la glucosiden. • Si la proteína E es glicosilada, entonces es transportada dentro de una vesícula hecha por el Golgi para encontrarse con la nucleocápside. • Si el RNA subgenómico M interacciona con los ribosomas del RE, entonces se forman la proteína M dentro de una vesícula que la

		transporta hacia el complejo de Golgi para que las enzimas procesadoras la glucosiden. <ul style="list-style-type: none"> • Si la proteína S es glicosilada, entonces es transportada dentro de una vesícula hecha por el Golgi para encontrarse con la nucleocápside. 	transporta hacia el complejo de Golgi para que las enzimas procesadoras la glucosiden. <ul style="list-style-type: none"> • Si la proteína S es glicosilada, entonces es transportada dentro de una vesícula hecha por el Golgi para encontrarse con la nucleocápside.
Síntesis de la homogeneización y comparación entre los modelos: <ul style="list-style-type: none"> - En el MEI/ no presenta relaciones de causalidad para el ámbito traducción tardía. - El MCu muestra escasas relaciones de causalidad acerca de la síntesis de las proteínas tardías y sus funciones estructurales. - El MCi incluye un nivel alto de detalle acerca de los RNA subgenómicos y su relación con la síntesis de las proteínas estructurales S, E, N y M virales para el caso de SARS-CoV-2. Se consideró, en este ámbito, elaborar el MCEA con base en el MCi. - No hay entidades del MEI/ que puedan ser retomadas en el MCEA. 			
Ámbito 6. Ensamblaje			
MEI/	MCu	MCi	MCEA
----- -----	<ul style="list-style-type: none"> • Si las proteínas tardías o estructurales se unen a la nucleocápside, se forma el coronavirus hijo, protegido por una vesícula que lo transporta hacia la membrana celular. 	<ul style="list-style-type: none"> • Si las proteínas S, E y M interaccionan con la nucleocápside (+ssRNA genómico con proteína N), entonces se forman las espículas, la membrana y la envoltura virales del SARS-CoV-2. Éste se encuentra en una vesícula protectora que lo transporta a la membrana celular. 	<ul style="list-style-type: none"> • Si las proteínas S, E y M interaccionan con la nucleocápside (+ssRNA genómico con proteína N), entonces se forman las espículas, la membrana y la envoltura virales del SARS-CoV-2. Se encuentra dentro de una vesícula protectora que lo lleva hacia la membrana celular.
Síntesis de la homogeneización y comparación entre los modelos: <ul style="list-style-type: none"> - El MEI/ no refiere entidades, por lo tanto, tampoco relaciones causales para el ámbito ensamblaje viral. - El MCu muestra relaciones de causalidad muy similares a las del MCi, pero sin especificar moléculas para el caso SARS-Cov-2. - No hay relación entre el MEI/ y el MCu ni el MCi. - No hay propiedades del MEI/ que puedan ser retomadas en el MCEA. - El MCEA se acerca más al MCi debido a la especificidad del caso SARS-CoV-2. 			

Tabla 2d

Dimensión epistemológica-Reglas de inferencia para la Etapa B (ámbitos 3, 4, 5 y 6)

Dimensión epistemológica-Reglas de inferencia para el ciclo lítico			
Etapa B) Replicación viral			
Ámbito 3. Transcripción temprana			
MEI	MCu	MCi	MCEA
<p>----- -----</p>	<p>Cuando el ácido nucleico viral (RNA) está libre en el citoplasma celular, entonces interacciona con los ribosomas y funciona como RNAm. Así, interacciona con los RNAt, y realiza la síntesis de las proteínas tempranas virales. Luego éstas tienen interacción con los factores de liberación y se disocia el ribosoma y se separan las proteínas tempranas. Éstas interaccionan con el RNA viral original y los ribosomas, pero para sintetizar las proteínas tardías. Otra interacción que ocurre es entre las proteínas tempranas y el RNA original viral, con lo cual se elabora una réplica de éste con intervención de la enzima RNA replicasa y los nucleótidos correspondientes para formar la nueva cadena de RNA viral.</p>	<p>Cuando el +ssRNAm viral interacciona con el ribosoma activo, entonces se sintetizan las poliproteínas pp1a y pp1ab al unirse los aminoácidos indicados por el mensaje. Cuando las poliproteínas pp1a y pp1ab ya formadas interaccionan con los factores de liberación, entonces se disocia el ribosoma y las poliproteínas son liberadas. Después, las poliproteínas interaccionan con las enzimas proteolíticas, entonces se forma el complejo replicasa transcriptasa (RTC) y la polimerasa viral dependiente de RNA. La polimerasa viral dependiente de RNA interacciona con +ssRNA viral original, entonces éste es transcrito y se unen nucleótidos complementarios para sintetizar -ssRNA viral, también llamado intermediario de replicación.</p>	<p>Cuando el +ssRNAm viral interacciona con el ribosoma activo, entonces ocurre la síntesis de las proteínas tempranas. Las proteínas tempranas interaccionan con factores de liberación, entonces se disocia el ribosoma y son liberadas. Así, las proteínas tempranas forman el complejo replicasa transcriptasa (RTC) y la polimerasa viral dependiente de RNA. Con ello el +ssRNA viral original es transcrito a -ssRNA viral o intermediario de replicación.</p>

<p>Síntesis de la homogeneización y comparación entre los modelos:</p> <ul style="list-style-type: none"> - El MEI/ no presenta reglas de inferencia para el ámbito traducción temprana. No hay información que pueda ser retomadas en el MCEA. - El MCu, si bien muestra una explicación general, sí representa la relevancia de las interacciones moleculares entre el material genético viral original, las enzimas que intervienen y que se produzca la síntesis de proteínas tempranas. Paso indispensable para la posterior replicación del RNA viral. El MCu se acerca al MCI - El MCI incluye alta especificidad para las interacciones moleculares indispensables en la formación de las poliproteínas pp1a y pp1ab sin las cuales no sería posible la replicación viral. <p>El MCEA muestra la consecución en la síntesis, tanto de las poliproteínas virales como de la replicación del material genético viral, y que se realiza gracias a la interacción bioquímica que se desarrolla para el caso SARS-CoV-2.</p>			
Ámbito 4. Replicación			
MEI/	MCu	MCI	MCEA
Los virus se extienden dentro del cuerpo porque se propagan como los tumores malignos.	La interacción de las enzimas de la célula hospedadora y la RNA replicasa producen la réplica de RNA viral original. La réplica de RNA viral se ensambla con las proteínas tardías y forma el RNA viral hijo.	Cuando el -ssRNA viral intermediario de replicación, interacciona con el complejo transcriptasa replicasa, entonces se sintetizan +ssRNA genómico, +ssRNA subgenómicos para proteínas N, S, E y M. Cuando el RNA genómico y los RNA subgenómicos son transportados (cada uno en una vesícula) hacia el RE. Cuando el +ssRNA genómico (viral hijo) interacciona con la proteína N, se forma la nucleocápside.	Cuando el -ssRNA viral intermediario de replicación, interacciona con el complejo transcriptasa replicasa, entonces se sintetizan +ssRNA genómico, (viral hijo), +ssRNA subgenómico para proteína N, +ssRNA subgenómico para proteína S, +ssRNA subgenómico para proteína E y +ssRNA subgenómico para proteína M. Cada RNA subgenómico interacciona con ribosomas para elaborar las proteínas estructurales S, E y M. Cuando el +ssRNA genómico (viral hijo) interacciona con la proteína N, se forma la nucleocápside.
<p>Síntesis de la homogeneización y comparación entre los modelos:</p> <ul style="list-style-type: none"> - El MEI/ relaciona la distribución del virus dentro del cuerpo como consecuencia de una propagación y no de una replicación. Esto es lejano con el proceso de replicación del MCu y el MCI al no incluir la interacción bioquímica necesaria para que ocurra la replicación. - El MCu sí muestra que la replicación del RNA viral original para formar el RNA viral hijo es resultado de una interacción bioquímica con intervención de enzimas. - El MCI pone en evidencia que la formación de los +ssRNA genómico y +ssRNA subgenómicos es producto de la interacción bioquímica de enzimas específicas para el caso SARS-Cov-2. - No existen reglas de inferencia en el MEI/ que puedan ser retomadas en el MCEA. <p>Las reglas de inferencia para el MCEA se proponen con una adaptación de la profundidad del MCI.</p>			

Ámbito 5. Transcripción tardía			
MEI/	MCu	MCI	MCEA
----- -----	Si el RNA viral original interacciona con los ribosomas, entonces se sintetizan las proteínas tardías. Si las proteínas tardías interaccionan con la nucleocápside se forma el coronavirus nuevo.	Si el RNA subgenómico N interacciona con los ribosomas se forma la proteína N que se unirá al material genético y entonces se forma la nucleocápside. Si los RNA subgenómicos S, E y M interaccionan con los ribosomas, entonces se forman las proteínas estructurales. Cada una de ellas estará protegida por una vesícula que también las transporta al complejo de Golgi para ser glucosidarlas. Cuando las proteínas virales ya están glucosiladas, entonces son transportadas hacia la nucleocápside y formarán la envoltura y membrana virales.	Si los RNA subgenómicos N, S, E y M interaccionan con los ribosomas, entonces se forman las proteínas estructurales correspondientes. Después, la proteína N se unirá al material genético y formará la nucleocápside. Las proteínas S, E y M son transportadas al complejo de Golgi para ser glucosiladas y posteriormente forman la envoltura y cubierta virales.
<p>Síntesis de la homogeneización y comparación entre los modelos:</p> <ul style="list-style-type: none"> - En el MEI/ no presenta reglas de inferencia ya que no existen elementos en la forma de pensar espontánea de los estudiantes que se refieran al ámbito de la traducción tardía viral. - El MCu incluye la interacción bioquímica como esencial para que se formen las proteínas tardías y la nucleocápside, pero no se aborda el caso específico para SARS-CoV-2. - El MCI expone la interacción bioquímica como indispensable para la síntesis de las proteínas estructurales virales necesarias en la formación de la nucleocápside, envoltura y membrana del nuevo virus SARS-CoV-2. <p>El MCEA retoma la interacción bioquímica, con una profundidad adecuada, para explicar su relación con la síntesis de las proteínas estructurales del SARS-CoV-2.</p>			
Ámbito 6. Ensamblaje			
MEI/	MCu	MCI	MCEA
----- -----	Cuando las proteínas tardías o estructurales se unen a la nucleocápside, se forma el coronavirus hijo dentro de una vesícula que lo transporta hacia la membrana celular.	Cuando las proteínas S, E y M interaccionan con la nucleocápside, entonces se forman las espículas, la membrana y la envoltura virales del SARS-CoV-2. Esta interacción ocurre en una vesícula protectora con	Si las proteínas S, E y M interaccionan con la nucleocápside (+ssRNA genómico con proteína N), entonces se forman las espículas, la membrana y la envoltura virales del SARS-CoV-2. La interacción b

		el virus nuevo ya ensamblado hacia la membrana celular.	ocurre en una vesícula protectora con el virus nuevo ya ensamblado hacia la membrana celular.
<p>Síntesis de la homogeneización y comparación entre los modelos:</p> <ul style="list-style-type: none"> - El MEI/ no incluye reglas de inferencia debido a que no está presente en el pensamiento espontáneo de los sujetos el ámbito de ensamblaje viral. El MEI/ está alejado del MCu y del MCI. - El MCu expone que el ensamblaje del nuevo virus resulta de la interacción bioquímica entre las proteínas estructurales y la nucleocápside recién formadas, pero sin especificar sobre el caso SARS-Cov-2. <p>El MCEA incluye las reglas de inferencia del MCI debido a la especificidad del caso SARS-CoV-2.</p>			

Tabla 3a

Dimensión ontológica-entidades para la Etapa C (ámbito 7)

Dimensión ontológica-entidades del ciclo lítico			
Etapa C) Nuevos virus			
Ámbito 7. Liberación			
MEI/	MCu	MCI	MCEA
<ol style="list-style-type: none"> 1. Célula 2. Virus = Bacteria 3. Sustancia que producen los virus 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Célula infectada original (célula respiratoria) <ol style="list-style-type: none"> 1.1 Vesícula que contiene al virus hijo 1.2 Citoplasma 1.3 Membrana plasmática 2. Coronavirus hijo libre 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Célula hospedadora original (con receptores de membrana ACE2) <ol style="list-style-type: none"> 1.1 Vesícula que contiene al SARS-CoV-2 hijo 1.2 Citoplasma 1.3 Membrana plasmática 2. Coronavirus SARS-CoV-2 hijo libre 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Célula hospedadora original (con receptores de membrana ACE2) <ol style="list-style-type: none"> 1.1 Vesícula que contiene al SARS-CoV-2 hijo 1.2 Citoplasma 1.3 Membrana plasmática 2. Coronavirus SARS-CoV-2 hijo libre
<p>Síntesis de la homogeneización y comparación entre los modelos:</p> <ul style="list-style-type: none"> - El MEI/ está formado por escasas entidades de significado muy general y con una forma de pensar intuitiva que se aleja del MCu y del MCI. 			

- El MCu contiene las entidades básicas necesarias para comprender la liberación de los nuevos virus y se acerca notoriamente al MCi, excepto en que se refiere de forma general a la liberación viral. Es conveniente recordar que el MCu incluye a los coronavirus como patógenos que infectan a células de las vías respiratorias exclusivamente.
- El MCi involucra a las entidades específicas para el ámbito de liberación del virus SARS-CoV-2. Además, incluye como células hospedadoras a todas aquellas que tienen receptor de membrana ACE2 y no solo a las células respiratorias.

Tabla 3b

Dimensión ontológica-propiedades para la Etapa C (ámbito 7)

Dimensión ontológica-propiedades del ciclo lítico			
Etapa C) Nuevos virus			
Ámbito 7. Liberación			
MEI	MCu	MCi	MCEA
1. Tienen núcleo y son alimento para los virus.	1. Es la célula dentro de la cual se lleva a cabo la replicación viral completa. 1.1 Es un saco de membrana que contiene al virus hijo ya ensamblado y preparado para ser liberado. 1.2 El citoplasma es un medio semilíquido que se encuentra en el interior de la célula y en el que se encuentran inmersos los organelos y el citoesqueleto. Necesario para que la célula realice numerosas reacciones bioquímicas metabólicas y además da sostén interno. 1.3 La membrana plasmática o celular está formada por una bicapa de fosfolípidos que tiene inmersas proteínas (de transporte, de reconocimiento, receptoras y estructurales) y moléculas de	1. Célula con receptores ACE2 y en la cual se realizó la replicación viral completa. 1.1 Saco membranoso que protege al virus SARS-CoV-2 hijo y potencialmente infeccioso. 1.2 El citoplasma es el medio coloidal e interno de la célula y en el que se encuentran inmersos los organelos y el citoesqueleto (microtúbulos). Contiene agua, moléculas orgánicas y iones. Necesario para que la célula realice reacciones bioquímicas metabólicas y además da sostén interno. 1.3 Bicapa de fosfolípidos con proteínas incrustadas (de transporte, de reconocimiento, receptoras y estructurales), además de moléculas de colesterol. Protege a la célula,	1. Es la célula con receptores de membrana ACE2 y en la cual se realizó la replicación viral completa. 1.1 Es un saco membranoso que protege al virus SARS-CoV-2 hijo y lo acerca a la membrana plasmática. 1.2 El citoplasma es el medio coloidal e interno de la célula y en el que se encuentran inmersos los organelos y el citoesqueleto (microtúbulos). Contiene agua, moléculas orgánicas y iones. Necesario para que la célula realice numerosas reacciones bioquímicas metabólicas y da sostén interno. 1.3 Bicapa de fosfolípidos con proteínas incrustadas (de transporte, de reconocimiento, receptoras y estructurales), además de moléculas

	colesterol. Protege a la célula y permite el intercambio selectivo de materia con el ambiente.	mantiene su forma y permite el intercambio selectivo de materia (líquida, sólida o gaseosa) con el ambiente mediante transporte pasivo y activo de sustancias y partículas.	de colesterol. Protege a la célula, mantiene su forma y permite el intercambio selectivo de materia (líquida, sólida o gaseosa) con el ambiente mediante transporte pasivo y activo de sustancias y partículas
2. Son células con núcleo. 2.1 Son bacterias, células; animales muy pequeños, como átomos; más grandes y agresivos que las bacterias; viscosos, antropomorfos (con dientes afilados).	2. Coronavirus nuevo con cápside, envoltura y espículas; se encuentra ya fuera de la célula.	2. Coronavirus SARS-CoV-2 fuera de la célula hospedadora con estructura completa: nucleocápside que contiene +ssRNA asociado a proteínas N, una envoltura membranosa con proteínas E y M y espículas de proteína S con (RBD).	2. Coronavirus SARS-CoV-2 fuera de la célula hospedadora con su estructura completa: nucleocápside que contiene +ssRNA asociado a proteínas N, una envoltura membranosa con proteínas E y M y espículas de proteína S con (RBD).
3. Sustancia producida por los virus y que los transfiere.			
<p>Síntesis de la homogeneización y comparación entre los modelos:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Las propiedades evidenciadas en el MEI reflejan confusión en los sujetos acerca de las características de los virus ya que los confunden con bacterias y células. No obstante, los virus causan daño a las células porque se alimentan de ellas y pueden transferirse por una sustancia que producen. El MEI/ no se acerca al MCu, ni al MCi. - El MCu involucra las propiedades generales para comprender cómo son liberados los virus (lo que incluye a los coronavirus) una vez que ya están formados o ensamblados. El MCu tiene concordancia con el MCi, pero sin la especificidad relacionada con el SARS-CoV-2. 			

Tabla 3c

Dimensión epistemológica-relaciones. Causa y efecto para la Etapa C (ámbito 7)

Dimensión epistemológica-relaciones. Causa y efecto del ciclo lítico			
Etapa C) Nuevos virus			
Ámbito 7. Liberación			
MEI	MCu	MCi	MCEA
<ul style="list-style-type: none"> • Si se tienen hábitos de higiene deficientes, entonces los 	<ul style="list-style-type: none"> • Si el virus hijo ya fue ensamblado dentro de una vesícula, 	<ul style="list-style-type: none"> • Si el coronavirus SARS-CoV-2 hijo ya fue ensamblado 	<ul style="list-style-type: none"> • Si el coronavirus SARS-CoV-2 hijo ya fue ensamblado

<p>virus tienen contacto con el cuerpo humano.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Si los virus producen una sustancia que los transfiere al cuerpo humano, entonces dañan a las células. • Si los virus están en el cuerpo humano se alimentan de las células, se la comen y contaminan la sangre. • Si los virus se multiplican dentro una célula, entonces pasan de una célula a otra. • Si los virus son como los tumores cancerígenos, entonces se dispersan dentro del cuerpo humano. 	<p>ésta se desplaza en el citoplasma y llega a la membrana celular.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Si la vesícula hace contacto con la membrana celular, entonces se fusiona con ella y el virus hijo queda fuera de la célula (libre) por medio de exocitosis. • Si el virus hijo encuentra otra célula hospedadora y reconoce a los receptores de membrana correspondientes, entonces inicia una nueva infección. • Si el ciclo lítico ocurre en células del sistema respiratorio, entonces se producen enfermedades respiratorias. 	<p>dentro de la vesícula que lo protege, entonces ya tiene su estructura completa: una nucleocápside que contiene +ssRNA asociado a proteínas N, una envoltura membranosa con proteínas E y M, así como espículas de proteína S (con RBD).</p> <ul style="list-style-type: none"> • Si ocurre la exocitosis, entonces las membranas de la vesícula y la plasmática se fusionan. • Al terminar la exocitosis el SARS-CoV-2 hijo sale de la célula hospedadora. • Si el coronavirus SARS-CoV-2 nuevo interacciona químicamente con otra célula que tenga el receptor de membrana ACE2, entonces se inicia un nuevo ciclo lítico. • Si ocurre el ciclo lítico del SARS-CoV-2 en la célula hospedadora, se produce daño o incluso muerte celular por las siguientes consecuencias: <ul style="list-style-type: none"> - Alteración de la fisiología y estructura celulares. - Ruptura de la membrana plasmática. - Agotamiento de recursos celulares. - Respuesta inmune. 	<p>dentro de la vesícula que lo protege, entonces ya tiene su estructura completa: una nucleocápside que contiene +ssRNA asociado a proteínas N, una envoltura membranosa con proteínas E y M, así como espículas de proteína S (con RBD).</p> <ul style="list-style-type: none"> • Si ocurre la exocitosis, entonces las membranas de la vesícula y la plasmática se fusionan. • Al terminar la exocitosis el SARS-CoV-2 hijo sale de la célula hospedadora. • Si el coronavirus SARS-CoV-2 nuevo interacciona químicamente con una célula que tenga el receptor de membrana ACE2, entonces se inicia un nuevo ciclo lítico. • En el caso de la transmisión de SARS-CoV-2, si se tienen hábitos de higiene deficientes (no lavarse las manos con frecuencia; tocar la nariz, boca y ojos con las manos sucias; estornudar sin cubrir la boca con un pañuelo; no usar cubrebocas), entonces es muy probable que la persona tenga contacto con gotículas de saliva o de mucosidad que contengan el virus. • Si el SARS-CoV-2 llega a las vías respiratorias, entonces tiene contacto con las células hospedadoras que tengan receptor de membrana ACE2 y se fija a ellas. • Si el SARS-CoV-2 se fija a las células hospedadoras, entonces realiza el ciclo de infección lítico y origina la enfermedad COVID-19.
--	--	--	---

Síntesis de la homogeneización y comparación entre los modelos:

- El MEI/ muestra relaciones de causa y efecto básicas, pero que pueden ser retomadas en el MCEA porque se reconoce que los virus dañan a las células y que su propagación se vincula con hábitos de higiene deficientes. El daño celular y su relación con las enfermedades es la base epistemológica básica que tienen en común el MEI, MCu y MCi.
- El MCu conlleva relaciones de causa y efecto el virus que se apegan al MCi. Esto porque explica la importancia de que el virus posea una estructura completa, como elemento necesario para que realice un nuevo ciclo lítico, potencialmente, al reconocer químicamente a una nueva célula hospedadora.
- El MCi incluye los detalles estructurales del SARS-CoV-2 hijo fundamentales para que lleve a cabo la fijación a la célula hospedadora e inicie un nuevo ciclo lítico.
- El MCEA retoma las características el MCi, pero agrega las situaciones de riesgo de contagio por SARS-CoV-2.

Tabla 3d

Dimensión epistemológica-Reglas de inferencia para la Etapa C (ámbito 7)

Dimensión epistemológica-Reglas de inferencia del ciclo lítico			
Etapa C) Virus SARS-CoV-2 nuevos			
Ámbito 7. Liberación			
MEI/	MCu	MCi	MCEA
Cuando los virus se multiplican dentro una célula, entonces pueden pasar de una célula a otra. También los virus son como los tumores cancerígenos, entonces se dispersan dentro del cuerpo humano.	Cuando el virus hijo ya está ensamblado dentro de una vesícula, ésta es transportado a la membrana celular. Entra en contacto con la membrana celular y ocurre la exocitosis (fusión de las membranas y expulsión del virus hijo). Cuando el virus hijo encuentra otra célula hospedadora y reconoce a los receptores de membrana correspondientes, entonces inicia una nueva infección. En el caso de que las células afectadas sean del sistema	Cuando el SARS-CoV-2 hijo ya está ensamblado dentro de la vesícula que lo protege, entonces ya tiene su estructura completa: una nucleocápside que contiene +ssRNA asociado a proteínas N, una envoltura membranosa con proteínas E y M, así como espículas de proteína S (con RBD). Al ocurrir la exocitosis el SARS-CoV-2 hijo sale de la célula hospedadora y está en condiciones de interactuar químicamente con otra célula que tenga el receptor de	Cuando el coronavirus SARS-CoV-2 hijo ya está ensamblado dentro de la vesícula que lo protege, ya tiene su estructura completa: una nucleocápside que contiene +ssRNA asociado a proteínas N, una envoltura membranosa con proteínas E y M, así como espículas de proteína S (con RBD). En ese momento ya está listo para salir de la célula mediante exocitosis. Esta es resultado de la fusión de la membrana de la vesícula y la plasmática. En consecuencia, el

	<p>respiratorio, entonces se producen enfermedades respiratorias.</p>	<p>membrana ACE2. Si reconoce a esta célula hospedadora entonces se inicia un nuevo ciclo lítico. El SARS-CoV-2 en la célula hospedadora produce daño o incluso muerte celular por las siguientes consecuencias:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Alteración de la fisiología y estructura celulares durante la infección. - Ruptura de la membrana plasmática, al momento de ser expulsados. - Agotamiento de recursos celulares. - Respuesta inmune. 	<p>nuevo SARS-CoV-2 sale de la célula hospedadora. El nuevo SARS-CoV-2 interacciona químicamente con sus espículas y reconoce al receptor de membrana ACE2 de una nueva célula hospedadora. Se inicia un nuevo ciclo lítico. El SARS-CoV-2 libre sale del cuerpo mediante los fluidos respiratorios en forma de aerosoles (gotículas de saliva y mucosidad) que pueden entrar vía respiratoria en otra persona o al tocar superficies contaminadas con los aerosoles. Con hábitos de higiene deficientes (no lavarse las manos con frecuencia; tocar la nariz, boca y ojos con las manos sucias; estornudar sin cubrir la boca con un pañuelo; no usar cubrebocas), entonces es muy probable que la persona tenga contacto con gotículas contaminadas con el virus. Cuando el SARS-CoV-2 llega a las vías respiratorias, por ejemplo, entonces tiene contacto con las células hospedadoras y se fija a ellas. Inicia la interacción bioquímica y el ciclo de infección lítico que origina la COVID-19.</p>
--	---	--	--

Síntesis de la homogeneización y comparación entre los modelos:

- El MEI/ está alejado del MCu y del MCi ya que solo reconoce algún modo de propagación viral por multiplicación dentro de las células y de propagación dentro el cuerpo humano, sin mayores detalles y con una analogía inadecuada como los tumores malignos. No hay evidencias relacionadas a nivel de interacciones moleculares virus/célula hospedadora.
- El MCu muestra los elementos necesarios para llevar a concluir que el virus ya ensamblado, libre por exocitosis, tiene una estructura que le permite iniciar un nuevo ciclo de infección si llega a tener interacción con una nueva célula hospedadora.
- El MCi explica que el SARS-CoV-2 ya ensamblado tiene su estructura completa y esto le confiere la capacidad de interacción bioquímica con una nueva célula hospedadora. En este caso se desarrollará la diversidad de síntomas de la enfermedad COVID-19.
- El MCEA retoma las reglas de inferencia del MCi y que le confieren especificidad a la explicación científica y evidencia algunos ejemplos de alto riesgo de contagio por SARS-CoV-2.

ANEXO 2
MODELO CIENTÍFICO ESCOLAR DE ARRIBO IDEAL
FENÓMENO: INFECCIÓN POR SARS-COV-2 EN CÉLULAS HUMANAS

Modelo Científico Escolar de Arribo ideal				
MCEA ideal	Fenómeno de referencia: Infección viral por SARS-CoV-2 en células humanas			
	Procesos involucrados: transcripción, replicación y traducción del +ssRNA viral original			
	Condiciones del fenómeno: - Presencia del SARS-CoV-2 al interior del cuerpo humano. - Interacción bioquímica del SARS-CoV-2 con las células humanas que tengan el receptor de membrana ACE2.			
	Dimensión ontológica		Dimensión epistemológica	
Entidades	Propiedades	Relaciones causa-efecto	Reglas de inferencia	
Etapa A) Reconocimiento virus SARS-CoV-2 / Célula hospedadora Ámbitos del fenómeno				
1. Fijación	1 Coronavirus 1.1 SARS-CoV-2 1.1.1.2.1 Envoltura externa y espículas 1.1.1.2.2 Nucleocápside 2. Célula hospedadora 2.1 Membrana plasmática 2.2 Citoplasma 2.3 Ribosomas 2.4 Retículo endoplásmico liso y rugoso 2. 5 Complejo de Golgi 3. Moléculas 3.1 Proteína S (con subunidades S1 y S2). 3.2 Enzima convertidora de angiotensina 2 (ACE2) 4. SARS-CoV-2 fijado o anclado a la célula del tracto respiratorio	1 Los coronavirus son microorganismos acelulares, tienen una envoltura membranosa en la cual presentan proyecciones en forma de espículas, además tienen una nucleocápside (material genético asociado a proteínas) Su material genético es RNA de una sola cadena (monocatenario) y con una estructura química de polaridad positiva (+). Esto significa que su RNA funciona directamente como mensajero en la traducción y síntesis de proteínas dentro de la célula hospedadora. 1.1 El virus SARS-CoV-2 es un coronavirus que mide 120 nanómetros. Tiene RNA monocatenario de polaridad	<ul style="list-style-type: none"> • Si los virus no tienen organelos, no llevan a cabo las funciones metabólicas y no se pueden reproducir. • Si el SARS-CoV-2 es un virus, necesita infectar a una célula huésped para replicarse. • Si la célula huésped es un sistema vivo, entonces tiene los organelos necesarios para llevar a cabo funciones metabólicas como la reproducción. Entre los organelos requeridos se encuentran los ribosomas, el RE y el complejo de Golgi, mismos que son esenciales para la replicación viral. 	Los virus son formas no celulares que carecen de organelos y funciones metabólicas, por lo que no se pueden replicar por sí solos. Un virus es considerado como una partícula que utiliza a la célula para elaborar réplicas de sí mismo, es decir, es un parásito obligado. Tal interacción es resultado de las características moleculares y estructurales que tienen los virus y las células. En particular, el virus SARS-CoV-2 es un coronavirus que infecta a células hospedadoras humanas que poseen receptores de membrana ACE2 (enzima convertidora de angiotensina 2). Tales células se encuentran en los tejidos del sistema respiratorio y de otros sistemas del cuerpo humano.

		<p>positiva (+ssRNA). Necesita de la enzima RNA-polimerasa dependiente de RNA para su replicación. Causa la enfermedad pandémica COVID-19 (<i>coronavirus disease 2019</i>). Las células hospedadoras son células humanas con receptores de membrana ACE2 (enzima convertidora de angiotensina 2), localizadas en los epitelios y membranas mucosas del sistema respiratorio (nariz, faringe, laringe), neumocitos tipo II en los alveolos pulmonares y también en células del cerebro, corazón, arterias, hígado, intestino, riñones y testículos. Afecta, por lo general, a las vías respiratorias superiores e inferiores y provoca, principalmente, fiebre, dificultad para respirar y lesiones infiltrativas en pulmones. Debido a la diversidad de células humanas que tienen el receptor ACE2, ocurren otros síntomas que se suman a los mencionados. En estados de gravedad causa dificultad respiratoria extrema y un cuadro de respuesta inflamatoria sistémica que ponen en riesgo la vida</p> <p>1.1.1.2.1 La envoltura externa tiene dos fosfolípidos y proteínas estructurales: Glicoproteína M, forma parte de la envoltura e interviene en el ensamblaje de los nuevos virus</p>	<p>Además, la célula aportará los aminoácidos, los nucleótidos y la energía química necesaria para la síntesis de proteínas y la replicación del genoma viral.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Si existe interacción química entre el virus y la célula, entonces se reconocen molecularmente • Si la proteína S de la espícula del SARS-CoV-2 identifica al receptor ACE2 de la célula hospedadora, entonces se une o fija a él. Esto activa a la enzima serina-proteasa transmembrana tipo II (TMPRSS2) para cortar o escindir la espícula viral y exponer otra parte de la proteína S. 	<p>Si la proteína S de la espícula del SARS-CoV-2 identifica al receptor ACE2 de la célula hospedadora, entonces se une o fija a él. Esto activa a la enzima serina-proteasa transmembrana tipo II (TMPRSS2) para cortar o escindir la espícula viral y exponer otra parte de la proteína S.</p>
--	--	--	--	--

		<p>dentro de la célula. Su masa es de 25 Kdal.</p> <p>Proteína E, pentamérica, función estructural y de ensamblaje. Con masa de 8 Kdal.</p> <p>Además, la envoltura tiene espículas formadas con la glicoproteína S, con dos subunidades (S1, reconoce al receptor de la célula hospedadora y S2, propicia la fusión de la envoltura viral con la membrana celular para la entrada del virus a la célula).</p> <p>1.1.1.2.2 Nucleocápside contiene el +ssRNA monocatenario (<i>single stranded</i>) y proteína N para darle estabilidad a la molécula.</p> <p>El +ssRNA está formado por 29 903 nucleótidos. Es de polaridad positiva porque funciona como RNAm debido a que tiene un capuchón metilado (cap) en el extremo 5' y una cola poliadenilada (poli-A) en el extremo 3'. Los nucleótidos forman los genes para la síntesis de las poliproteínas pp1a y pp1ab para formar las proteínas no estructurales y la RNA-polimerasa dependiente de RNA necesarios en la replicación del genoma viral y la transcripción de los RNAm subgenómicos (sgRNAs). También incluye genes para la síntesis de las proteínas estructurales S, M, E y</p>		
--	--	--	--	--

		<p>N, así como de las accesorias hemaglutinina esterasa (HE).</p> <p>2. La célula hospedadora del virus SARS-CoV-2 debe tener ACE2 en la membrana celular y es el sistema vivo que el virus necesita para replicarse. La célula hospedadora tiene estructuras que le permiten realizar funciones metabólicas para las funciones de nutrición, crecimiento, desarrollo y reproducción.</p> <p>2.1 La membrana plasmática o celular está formada por una bicapa de fosfolípidos con proteínas y moléculas de colesterol. Protege a la célula y regula el intercambio de materia con el ambiente. Algunas de las proteínas de la membrana celular son receptoras y tienen e identifican a otras moléculas químicas.</p> <p>2.2 El citoplasma es semilíquido y en el que se encuentran las estructuras celulares. Es el medio en el que ocurren numerosas reacciones bioquímicas metabólicas y también da sostén interno.</p> <p>2.3 Los ribosomas están formados por RNA ribosomal y proteínas ribosomales. Realizan la transcripción del RNAm para la síntesis de proteínas. Están en el citoplasma y en el retículo endoplásmico rugoso. Tienen</p>		
--	--	--	--	--

		<p>una subunidad pequeña y una grande.</p> <p>2.4 El retículo endoplásmico (RE) es un grupo de canales de membrana que están interconectados. Se localiza en el citoplasma y se une al núcleo celular. El liso (REI) no tiene ribosomas, realiza la síntesis y de macromoléculas como lípidos y fosfolípidos y los protege en sacos o vesículas; el rugoso (REr) contiene numerosos ribosomas, elabora y empaqueta proteínas en vesículas.</p> <p>2. 5 Complejo de Golgi El complejo de Golgi es un conjunto de sacos membranosos y aplanados. Se localiza en el citoplasma. Transforma las proteínas al agregarles sulfatos, carbohidratos o lípidos; protege dichas macromoléculas en vesículas para que se puedan transportar a otros sitios celulares.</p> <p>3. Conjuntos de átomos unidos por enlaces químicos, son la unidad mínima de una sustancia porque presentan las características de ésta. Proteínas, lípidos, carbohidratos y ácidos nucleicos son moléculas grandes (macromoléculas) y complejas.</p> <p>3.1 Las espigas virales están formadas por la proteína de espícula (S). Las espículas reconocen los receptores de membrana ACE2 y unen o fijan el virus a la célula hospedadora.</p>		
--	--	--	--	--

		<p>Esta reacción química hace que se active la enzima proteasa TMPRSS2 corte la espícula para dar paso a la penetración del virus en la célula.</p> <p>3.2 Enzima convertidora de angiotensina 2 (ACE2) Enzima convertidora de angiotensina 2 (ACE2) está en las membranas celulares que forman los tejidos de los pulmones, riñones e intestino, por ejemplo.</p> <p>4. La proteína S del SARS-CoV-2 reconoce al receptor de membrana ACE2 de la célula hospedadora y se unen químicamente y esto prepara la entrada del virus a la célula</p>		
<p>2. Penetración</p>	<p>1. Endosoma con nucleocápside viral (+ssRNA viral estabilizado con proteína N)</p> <p>2. Moléculas</p> <p>2.1 Enzima proteasa (TMPRSS2), producida por la célula</p> <p>2.2 Proteína S de la espícula</p> <p>2.3 +ssRNA viral desnudo en citoplasma</p> <p>2.4 Enzimas</p>	<p>1. El endosoma es un saco pequeño o vesícula formado por hundimiento de la membrana plasmática. Rodea a la nucleocápside viral (+ssRNA en asociación con proteína N). La formación del endosoma ocurre por efecto de la espícula viral cortada o escindida por la enzima proteasa TMPRSS2.</p> <p>2. Conjuntos de átomos unidos por enlaces químicos, son la unidad mínima de una sustancia porque presentan las características de ésta. Proteínas, lípidos, carbohidratos y ácidos nucleicos son moléculas grandes (macromoléculas) y complejas.</p> <p>2.1 La enzima serina-proteasa transmembrana tipo II (TMPRSS2), es una proteína de</p>	<ul style="list-style-type: none"> • La interacción virus/célula continúa para dar paso a la entrada del virus en el citoplasma. • La parte expuesta de la proteína S tiene las enzimas para fusionar la envoltura viral y la membrana celular. Con ello se propicia la endocitosis mediada por receptores. • Si ocurre la endocitosis, entonces el SARS-CoV-2 es introducido dentro de endosoma en el citoplasma celular. • Si las vesículas ácidas del citoplasma destruyen la membrana del endosoma, entonces el +ssRNA del SARS-CoV-2 queda libre en el citoplasma. 	<p>La penetración del virus ocurre por interacción química virus/célula hospedadora, con ayuda de enzimas, fusiona la cubierta viral con la membrana celular y se forma una vesícula endocítica. Esta endocitosis mediada por receptores, transporta la nucleocápside del SARS-CopV-2 hacia el citoplasma.</p> <p>Después las proteasas destruyen el endosoma y el +ssRNA del SARS-CoV-2 queda libre en el citoplasma. El +ssRNA puede tener interacción con los ribosomas para llevar a cabo su traducción y la síntesis de proteínas virales tempranas como pp1a y pp1ab.</p>

		<p>la superficie celular. Puede cortar enlaces de aminoácidos en las proteínas, como la proteína S. Con ello activa a las enzimas que fusionan la membrana celular con la envoltura viral y el SARS-CoV-2 entra en la célula hospedadora por endocitosis mediada por receptores.</p> <p>2.2 La proteína S forma las espículas virales. Permite la fijación y entrada del SARS-CoV-2 en la célula hospedadora.</p> <p>2.3 +ssRNA viral sin nucleocápside e inmerso en el citoplasma.</p> <p>2.4 Las enzimas rompen la membrana del endosoma y liberan el material genético viral en el citoplasma.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Si el +ssRNA está en el citoplasma puede tener interacción con los ribosomas para llevar a cabo su traducción y la síntesis de proteínas virales tempranas (pp1a y pp1ab). 	
--	--	---	--	--

Modelo Científico Escolar de Arriba

Etapa B) Replicación viral Ámbitos del fenómeno	Entidades	Propiedades	Relaciones causa-efecto	Reglas de inferencia
<p>3. Transcripción temprana</p>	<p>1. Ribosoma activo</p> <p>1.1 Subunidad pequeña</p> <p>1.2 Subunidad grande</p> <p>2. Ribosoma disociado</p> <p>3. Retículo endoplásmico (rugoso)</p> <p>4. Vesículas formadas por el retículo endoplásmico</p> <p>5. Complejo de iniciación</p> <p>6. +RNAm viral original</p> <p>7. RNAt iniciador</p> <p>8. RNAt's diversos</p> <p>9. Aminoácidos diversos</p> <p>10. Cadena peptídica viral nueva para proteínas pp1a o pp1ab</p> <p>11. Enzimas factores de liberación</p> <p>12. Poliproteínas pp1a o pp1ab</p>	<p>1. El ribosoma activo se forma cuando se unen las unidades pequeña y grande. El ribosoma activo libera factores de iniciación para la síntesis de proteínas.</p> <p>1.1 La subunidad pequeña interacciona con el +ssRNAm del virus.</p> <p>1.2 Subunidad grande tiene tres sitios de interacción para los RNAt que llevan los aminoácidos al ribosoma. Los sitios son P (peptidil o de polipéptido); A (aminoacil o de</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Si el +ssRNAm viral interacciona con el ribosoma activo, entonces ocurre la síntesis de las tempranas. • Si las proteínas tempranas interaccionan con factores de liberación, entonces se disocia el ribosoma y son liberadas. • Si las proteínas tempranas forman el complejo replicasa transcriptasa (RTC) y la polimerasa viral dependiente de RNA, entonces el +ssRNA viral original es 	<p>Cuando el +ssRNAm viral interacciona con el ribosoma activo, entonces ocurre la síntesis de las proteínas tempranas.</p> <p>Las proteínas tempranas interaccionan con factores de liberación, entonces se disocia el ribosoma y son liberadas. Así, las proteínas tempranas forman el complejo replicasa transcriptasa (RTC) y la polimerasa viral dependiente de RNA. Con ello el +ssRNA viral original es transcrito a -ssRNA viral o intermediario de replicación.</p>

	<p>13. Complejo replicasa transcriptasa (RTC) protegida en vesícula</p> <p>14. Polimerasa viral dependiente de RNA protegida en vesícula</p> <p>15. Nucleótidos diversos</p> <p>16. -RNA genómico viral intermediario de replicación</p>	<p>aminoácidos) y E (<i>exit</i>, salida de los RNAt).</p> <p>2. Las subunidades del ribosoma se separan cuando ha terminado la traducción del RNAm.</p> <p>3. El retículo endoplásmico rugoso (REr) contiene numerosos ribosomas, sintetiza y empaqueta proteínas en vesículas.</p> <p>4. Las vesículas formadas por el retículo endoplásmico envuelven y protegen a las proteínas sintetizadas para ser transportadas a otros sitios de la célula.</p> <p>5. El complejo de iniciación lo conforman el ribosoma, un RNAt iniciador, el RNAm y proteínas (factores de iniciación, IF) para el reconocimiento del codón de inicio del RNAm.</p> <p>6. El +ssRNAm viral original es un ácido ribonucleico que tiene una sola cadena (<i>single stranded</i>) de polaridad positiva compuesta de 29 903 nucleótidos. Es de polaridad positiva porque opera directamente como RNAm debido a su estructura química que tiene orientación 5'-3'. Tiene los genes para las proteínas estructurales, no estructurales, poliproteínas pp1a y pp1ab, y la RNA-polimerasa dependiente de RNA necesarios en la replicación del genoma viral y la transcripción del</p>	<p>transcrito a -ssRNA viral o intermediario de replicación.</p>	
--	--	---	--	--

		<p>RNAm subgenómicos (sgRNAs).</p> <p>7. El RNAt iniciador es el ácido ribonucleico que primero interacciona con el ribosoma activo para dar comienzo a la elaboración de la cadena peptídica.</p> <p>8. Los RNAt's o ácidos ribonucleicos de transferencia son las moléculas encargadas de llevar al ribosoma los diferentes aminoácidos necesarios para elongar la cadena polipeptídica de acuerdo con las instrucciones del RNAm.</p> <p>9. Los aminoácidos (a.a.) son moléculas que forman a las proteínas, es decir, son monómero de las proteínas.</p> <p>10. La cadena peptídica viral nueva para proteínas pp1a o pp1ab es la estructura primaria de cada proteína no estructural.</p> <p>11. Los factores de liberación son proteínas que identifican el codón de término o de parada del RNAm, al cual ya no se une ningún RNAt. Esto hace que el el último RNAt y la cadena peptídica ya formada se separen, así como la disociación del ribosoma.</p> <p>12. Las poliproteínas pp1a o pp1ab son las proteínas sintetizadas a partir de la información viral y que hacen posible la replicación viral y la formación de proteínas no estructurales.</p>		
--	--	--	--	--

		<p>13. El complejo replicasa transcriptasa (RTC) replica y sintetiza a los RNAm subgenómicos (sgRNA) necesarios para la síntesis de las proteínas estructurales S, M, E y N, así como para las proteínas accesorias</p> <p>14. La polimerasa viral dependiente de RNA protegida en vesícula es formada por el RTC e interacciona con el +ssRNAm viral original para usarlo como molde en la síntesis del -ssRNA genómico viral intermediario de replicación.</p> <p>15. Los nucleótidos son las unidades moleculares o monómeros de los ácidos nucleicos (en este caso, -ssRNA genómico viral intermediario de replicación). Cada nucleótido está formado por un azúcar ribosa, un grupo fosfato y una base nitrogenada que puede ser adenina, citosina, guanina o uracilo.</p> <p>16. El -ssRNA genómico viral intermediario de replicación es la cadena de nucleótidos complementarios del +ssRNAm viral original. Necesario para la síntesis de +ssRNAm genómico (viral hijo) y los +ssRNA subgenómicos para las proteínas estructurales y accesorias.</p>		
<p>4. Replicación</p>	<p>1. -ssRNA genómico viral intermediario de replicación 2. Complejo transcriptasa replicasa (RTC)</p>	<p>1. El -ssRNA genómico viral intermediario de replicación es la cadena de nucleótidos complementarios del +ssRNAm</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Si el -ssRNA viral intermediario de replicación interacciona con el complejo transcriptasa replicasa, 	<p>Cuando el -ssRNA viral intermediario de replicación interacciona con el complejo transcriptasa replicasa, entonces se sintetizan +ssRNA</p>

	<p>2.1 RNA replicasa o RNA polimerasa dependiente de RNA 3. +ssRNA genómico viral hijo protegido en vesícula 4. +RNA subgenómico viral para proteína N y protegido en vesícula 5. +RNA subgenómico viral para proteína S y protegido en vesícula 6. +RNA subgenómico viral para proteína E y protegido en vesícula 7. +RNA subgenómico viral para proteína M y protegido en vesícula</p>	<p>viral original. Necesario para la síntesis de +ssRNAm genómico (viral hijo) y los +ssRNA subgenómicos para las proteínas estructurales y accesorias. 2. El complejo transcriptasa replicasa (RTC) incluye enzimas virales para transcribir el ARNm original. 2.1 La RNA replicasa o RNA polimerasa dependiente de RNA es la encargada de unir los nucleótidos complementarios a la cadena de RNA original para hacer la copia correspondiente. 3. El +ssRNA genómico viral hijo protegido en vesícula es la réplica del material genético viral original y formará la nucleocápside del virus hijo. 4. El +RNA subgenómico viral se sintetiza a partir del -RNA intermediario y tiene los genes para elaborar proteína N. 5. +RNA subgenómico viral se sintetiza a partir del -RNA intermediario y tiene los genes para elaborar proteína S. 6. +RNA subgenómico viral se sintetiza a partir del -RNA intermediario y tiene los genes para elaborar proteína E. 7. +RNA subgenómico viral se sintetiza a partir del -RNA intermediario y tiene los genes para elaborar proteína M.</p>	<p>entonces se sintetizan +ssRNA genómico (viral hijo), +ssRNA subgenómico para proteína N, +ssRNA subgenómico para proteína S, +ssRNA subgenómico para proteína E y +ssRNA subgenómico para proteína M. • Si cada RNA subgenómico interacciona con ribosomas, entonces se forman las proteínas estructurales S, E y M. • Si el +ssRNA genómico (viral hijo) interacciona con la proteína N, se forma la nucleocápside.</p>	<p>genómico, (viral hijo), +ssRNA subgenómico para proteína N, +ssRNA subgenómico para proteína S, +ssRNA subgenómico para proteína E y +ssRNA subgenómico para proteína M. Cada RNA subgenómico interacciona con ribosomas para elaborar las proteínas estructurales S, E y M. Cuando el +ssRNA genómico (viral hijo) interacciona con la proteína N, se forma la nucleocápside.</p>
<p>5. Transcripción tardía</p>	<p>1. Ribosoma activo 1.1 Subunidad pequeña 1.2 Subunidad grande 2. Retículo endoplásmico</p>	<p>1. El ribosoma activo se forma cuando se unen las unidades pequeña y grande. El ribosoma activo libera factores</p>	<p>• Si el RNA subgenómico N interacciona con los ribosomas del RE, entonces se forman la</p>	<p>Si los RNA subgenómicos N, S, E y M interaccionan con los ribosomas, entonces se forman las proteínas estructurales correspondientes.</p>

	<p>2.1 Vesículas formadas por el retículo endoplásmico</p> <p>3. Complejo de Golgi</p> <p>3.1 Vesículas formadas por el complejo de Golgi</p> <p>Moléculas</p> <p>4. Proteína N en vesícula</p> <p>5. Proteína S en vesícula</p> <p>6. Proteína E en vesícula</p> <p>7. Proteína M en vesícula</p> <p>8. Enzimas glucosiltransferasas</p>	<p>de iniciación para la síntesis de proteínas.</p> <p>1.1 La subunidad pequeña interacciona con el +ssRNAm del virus.</p> <p>1.2 Subunidad grande tiene tres sitios de interacción para los RNAt que llevan los aminoácidos al ribosoma. Los sitios son P (peptidil o de polipéptido; A (aminoacil o de aminoácidos) y E (<i>exit</i>, salida de los RNAt).</p> <p>2. El retículo endoplásmico rugoso (REr) tiene los ribosomas, sintetiza y empaqueta proteínas en vesículas.</p> <p>2.1 Las vesículas son pequeños sacos formados por el retículo endoplásmico, envuelven y protegen a las proteínas sintetizadas para ser transportadas a otros sitios de la célula.</p> <p>3. El complejo de Golgi es un conjunto de cisternas (sacos membranosos aplanados apilados) que tienen un espacio interno (luz). Se encuentra en el citoplasma y recibe vesículas de transporte provenientes del RE. Procesa, clasifica y modifica proteínas para formar biomoléculas complejas; aporta membrana de las vesículas a la membrana plasmática; secreción de moléculas.</p> <p>3.1 Las vesículas formadas por el complejo de Golgi son</p>	<p>proteína N dentro de una vesícula para transportarlo hacia la nucleocápside.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Si el RNA subgenómico S interacciona con los ribosomas del RE, entonces se forman la proteína S dentro de una vesícula que la transporta hacia el complejo de Golgi para que las enzimas procesadoras la glucosiden. • Si la proteína S es glicosilada, entonces es transportada dentro de una vesícula hecha por el Golgi para encontrarse con la nucleocápside. • Si el RNA subgenómico E interacciona con los ribosomas del RE, entonces se forman la proteína E dentro de una vesícula que la transporta hacia el complejo de Golgi para que las enzimas procesadoras la glucosiden. • Si la proteína E es glicosilada, entonces es transportada dentro de una vesícula hecha por el Golgi para encontrarse con la nucleocápside. • Si el RNA subgenómico M interacciona con los ribosomas del RE, entonces se forman la proteína M dentro de una 	<p>Después, la proteína N se unirá al material genético y formará la nucleocápside.</p> <p>Las proteínas S, E y M son transportadas al complejo de Golgi para ser glucosiladas y posteriormente forman la envoltura y cubierta virales.</p>
--	---	---	---	---

		<p>pequeños sacos de membrana que protegen a las moléculas procesadas. Moléculas</p> <p>4. Proteína N sintetizada y protegida en vesícula de RE, se unirá con el +ssRNA genómico hijo para estabilizarlo. También forma parte estructural de la nucleocápside.</p> <p>5. La proteína S sintetizada y protegida en vesícula de RE es llevada hacia el complejo de Golgi para transformarla en glucoproteína.</p> <p>6. La proteína E sintetizada y protegida en vesícula de RE para ser transportada hacia el complejo de Golgi y ser glucosilada.</p> <p>7. Proteína M sintetizada y protegida en vesícula de RE para ser transportada hacia el complejo de Golgi y ser glucosilada.</p> <p>8. Las enzimas glucosiltransferasas son producidas en el complejo de Golgi y agregan moléculas de carbohidratos a las proteínas.</p>	<p>vesícula que la transporta hacia el complejo de Golgi para que las enzimas procesadoras la glucosiden.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Si la proteína S es glicosilada, entonces es transportada dentro de una vesícula hecha por el Golgi para encontrarse con la nucleocápside. 	
6. Ensamblaje	<p>Moléculas</p> <p>1. Proteína S glucosilada y en vesícula</p> <p>2. Proteína E glucosilada y en vesícula</p> <p>3. Proteína M glucosilada y en vesícula</p> <p>Estructuras virales</p>	<p>1. La proteína S glucosilada y en vesícula forma las espículas del virus hijo con las cuales reconoce los receptores ACE2 de las células hospedadoras</p> <p>2. Proteína E glucosilada y en vesícula, forma parte estructural de la envoltura viral nueva.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Si las proteínas S, E y M interaccionan con la nucleocápside (+ssRNA genómico con proteína N), entonces se forman las espículas, la membrana y la envoltura virales del SARS-CoV-2. Éste se encuentra dentro de una vesícula que lo protege y lo 	<p>Cuando las proteínas S, E y M interaccionan con la nucleocápside (+ssRNA genómico con proteína N), entonces se forman las espículas, la membrana y la envoltura virales del SARS-CoV-2. La interacción bioquímica requerida ocurre dentro de una vesícula protectora que transporta al virus nuevo ya ensamblado hacia la membrana celular.</p>

	<p>4. Nucleocápside con +ssRNA viral hijo estable con proteína N y contenido en vesícula</p> <p>5. Espigas (proteína estructural S)</p> <p>6. Envoltura membranosa (proteínas estructurales E y M)</p> <p>7. SARS-CoV-2 hijo protegido en vesícula membranosa</p>	<p>3. Proteína M glucosilada y en vesícula forma parte de la membrana viral.</p> <p>4. La nucleocápside contiene el +ssRNA viral hijo asociado con la proteína N que le da estabilidad molecular. Esta nucleocápside está protegida dentro de una vesícula.</p> <p>5. Las espículas virales tienen forma de espina y sobresalen de la cubierta viral. La estructura es de proteína S.</p> <p>6. La envoltura membranosa viral está hecha con proteínas estructurales E y M.</p> <p>7. El SARS-CoV-2 hijo ya ensamblado está protegido en una vesícula membranosa que lo transporta a través del citoplasma hacia la membrana plasmática para ser liberado por exocitosis.</p>	<p>transporta hacia la membrana celular.</p>	
--	---	---	--	--

Modelo Científico Escolar de Arriba

<p>Etapa C) Virus SARS-CoV-2 nuevos</p> <p>Ámbitos del fenómeno</p>	<p>Entidades</p>	<p>Propiedades</p>	<p>Relaciones causa-efecto</p>	<p>Reglas de inferencia</p>
<p>7. Liberación</p>	<p>1. Célula hospedadora original (con receptores de membrana ACE2)</p> <p>1.1 Vesícula que contiene al SARS-CoV-2 hijo</p> <p>1.2 Citoplasma</p> <p>1.3 Membrana plasmática</p> <p>2. Coronavirus SARS-CoV-2 hijo libre</p>	<p>1. Es la célula con receptores de membrana ACE2 y en la cual se realizó la replicación viral completa.</p> <p>1.2 Es un saco membranoso que protege al virus SARS-CoV-2 hijo y lo acerca a la membrana plasmática.</p> <p>1.2 El citoplasma es el medio coloidal e interno de la célula y en el que se encuentran</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Si el coronavirus SARS-CoV-2 hijo ya fue ensamblado dentro de la vesícula que lo protege, entonces ya tiene su estructura completa: una nucleocápside que contiene +ssRNA asociado a proteínas N, una envoltura membranosa con proteínas E y M, así como espículas de proteína S (con RBD). 	<p>Cuando el coronavirus SARS-CoV-2 hijo ya está ensamblado dentro de la vesícula que lo protege, ya tiene su estructura completa: una nucleocápside que contiene +ssRNA asociado a proteínas N, una envoltura membranosa con proteínas E y M, así como espículas de proteína S (con RBD). En ese momento ya está listo para salir de la célula mediante exocitosis. Esta es resultado de la fusión de la membrana de la vesícula y</p>

		<p>inmersos los organelos y el citoesqueleto (microtúbulos). Contiene agua, moléculas orgánicas y iones. Necesario para que la célula realice numerosas reacciones bioquímicas metabólicas y además da sostén interno.</p> <p>1.3 Bicapa de fosfolípidos con proteínas incrustadas (de transporte, de reconocimiento, receptoras y estructurales), además de moléculas de colesterol. Protege a la célula, mantiene su forma y permite el intercambio selectivo de materia (líquida, sólida o gaseosa) con el ambiente mediante transporte pasivo y activo de sustancias y partículas.</p> <p>2. Coronavirus SARS-CoV-2 fuera de la célula hospedadora ya con su estructura completa: nucleocápside que contiene +ssRNA asociado a proteínas N, una envoltura membranosa con proteínas E y M, así como espículas de proteína S con (RBD).</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Si ocurre la exocitosis, entonces las membranas de la vesícula y la plasmática se fusionan. • Al terminar la exocitosis el SARS-CoV-2 hijo sale de la célula hospedadora. • Si el coronavirus SARS-CoV-2 nuevo interacciona químicamente con una célula que tenga el receptor de membrana ACE2, entonces se inicia un nuevo ciclo lítico. • En la transmisión de SARS-CoV-2, si se tienen hábitos de higiene deficientes (no lavarse las manos con frecuencia; tocar la nariz, boca y ojos con las manos sucias; estornudar sin cubrir la boca con un pañuelo; no usar cubrebocas), entonces es muy probable que la persona tenga contacto con gotículas de saliva o de mucosidad que contengan el virus. • Si el SARS-CoV-2 llega a las vías respiratorias, entonces tiene contacto con las células hospedadoras con receptor de membrana ACE2 y se fija a ellas. • Si el SARS-CoV-2 se fija a las células hospedadoras, entonces realiza el ciclo de infección lítico y provoca COVID-19. 	<p>la plasmática. En consecuencia, el nuevo SARS-CoV-2 sale de la célula hospedadora.</p> <p>El nuevo SARS-CoV-2 puede interactuar químicamente con sus espículas y reconocer al receptor de membrana ACE2 de una nueva célula hospedadora. Entonces se inicia un nuevo ciclo lítico.</p> <p>El SARS-CoV-2 libre sale del cuerpo mediante los fluidos respiratorios en forma de aerosoles (gotículas de saliva y mucosidad) que pueden entrar vía respiratoria en otro cuerpo humano o al tocar superficies contaminadas con los aerosoles. Si se tienen hábitos de higiene deficientes (no lavarse las manos con frecuencia; tocar la nariz, boca y ojos con las manos sucias; estornudar sin cubrir la boca con un pañuelo; no usar cubrebocas), entonces es muy probable que la persona tenga contacto con gotículas contaminadas con el virus.</p> <p>Cuando el SARS-CoV-2 llega a las vías respiratorias, por ejemplo, entonces tiene contacto con las células hospedadoras y se fija a ellas. De esa forma inicia la interacción bioquímica y el ciclo de infección lítico que origina la enfermedad COVID-19.</p>
--	--	---	--	--

ANEXO 3
DECODIFICACIÓN / CODIFICACIÓN DE DATOS EMPÍRICOS (Casos estimados)
INFERENCIA DEL MEI*d* BÁSICO: ALUMNO CASO 12

Paso 1: Decodificación e interpretación

INSTRUMENTO: Tiempos de pandemia						
Cuestionario 1: Percepción de los estudiantes sobre cómo ocurre la infección viral por SARS-CoV-2						
Decodificación		Codificación				
Pregunta	Respuestas del alumno/Dato crudo	Interpretación	Dimensión ontológica		Dimensión epistemológica	
			Entidad	Propiedad	Relación entre entidades	Relación causal y funcional
1. Describe qué sucedió en la secuencia anterior:	<i>Al no estar usando las medidas de seguridad, en este caso el cubrebocas, se contagió.</i>	Identifica la condición de transmisión del virus de una persona enferma a otra: por contagio	NA	NA	NA	NA
2. En la silueta humana que se muestra a continuación dibuja lo que necesites para explicar en detalle cómo es que la joven llegó a la condición de la Escena B. Es muy importante que no consultes otras fuentes de información y no utilices imágenes prediseñadas, solo dibuja tu propia explicación. Sigue las instrucciones para hacer tu dibujo:		Reconoce que el virus entra al cuerpo humano por la boca y se desplaza al interior. La representación del virus corresponde a rayas.	[Virus]. Boca.	[Algo] entra al cuerpo por la boca	Si el virus llega al interior del cuerpo humano.	[Algo] que entra al cuerpo es contagioso y causa enfermedad.
4. Por último, describe DETALLADAMENTE lo que muestra el dibujo que realizaste:	<i>Entra el organismo al sistema y empieza a atacar el cuerpo haciéndonos enfermar</i>	Identifica que ocurre una agresión al cuerpo que produce una enfermedad.	Causa enfermedad.		NR	

Nota. NA: No aplica

NR: No responde

Continúa...

INSTRUMENTO: La pandemia y la salud						
Cuestionario 2: Identificación de entidades, propiedades, relaciones causa-efecto y reglas de inferencia						
Decodificación			Codificación			
Pregunta	Respuestas del alumno/Dato crudo	Interpretación	Dimensión ontológica		Dimensión epistemológica	
			Entidad	Propiedad	Relación entre entidades	Relación causal y funcional
1. a) ¿Qué muestra la imagen B?; b) ¿qué efecto puede producir esta entidad en el cuerpo humano?	<i>Un virus y puede llegar a ser muy peligroso por las afecciones que pueda provocar al cuerpo.</i>	a) Identifica un virus; b) causa afecciones al cuerpo humano.	Virus	Causa enfermedad.	NA	NA
2. a) ¿Qué elementos reconoces en la imagen B?; b) ¿qué características piensas que tiene cada uno de ellos?	<i>Es un virus.</i>	a) Identifica un virus; b) NR	Virus	NR	NA	NA
3. ¿Con qué interacciona directamente, en el interior del cuerpo humano, la entidad que identificaste en la pregunta 1?	<i>Con los pulmones y vías respiratorias.</i>	Identifica que el virus interacciona con las vías respiratorias, en particular los pulmones.	NA	NA	El virus interacciona con los pulmones.	NA
4. ¿Qué pasa en aquello que mencionaste del interior del cuerpo humano, ante la presencia de la entidad identificada en la pregunta 1?	<i>El sistema de defensa del cuerpo empieza a tratar de identificarlo y si no lo hace lo elimina.</i>	La respuesta no corresponde.	NA	NA	NA	NC

Paso 2: Depuración de datos codificados

INSTRUMENTO: Tiempos de pandemia						
Cuestionario 1: Percepción de los estudiantes sobre cómo ocurre la infección viral por SARS-CoV-2						
DATOS EMPÍRICOS OBTENIDOS (codificados)						
INFORMACIÓN ESPERADA	Condiciones del fenómeno		Dimensión ontológica		Dimensión epistemológica	
	Transmisión del virus de persona a persona	Presencia del virus dentro del cuerpo humano	Entidad	Propiedad	Relación entre entidades	Relación causal y funcional
Pregunta 1 - Condición 1 del fenómeno: infeccioso (transmisible) por coronavirus SARS-CoV-2 e ingreso al cuerpo humano	Si, por contagio de una persona a otra.	NA	NA	NA	NA	NA
Pregunta 2 (dibujo en silueta)- Condición 2 del fenómeno: interacción a nivel celular y/u órganos del cuerpo humano.	NA	Si, [el virus] entra al cuerpo humano por la boca, se desplaza hacia el interior.	Virus Boca.	El virus es muy peligroso.	Si el virus llega a los pulmones.	El [virus] es contagioso y causa enfermedad.
Pregunta 4 - Condición 2 del fenómeno: interacción a nivel celular y/u órganos del cuerpo humano.	NA	El virus ataca a las células.		El [virus] causa enfermedad.	NR	

Nota. NA: No aplica

NR: No responde

Continúa...

INSTRUMENTO: La pandemia y la salud

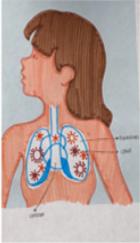
Cuestionario 2: Identificación de entidades, propiedades, relaciones causa-efecto y reglas de inferencia

INFORMACIÓN ESPERADA		DATOS EMPÍRICOS OBTENIDOS (codificados)			
		Dimensión ontológica		Dimensión epistemológica	
		Entidad	Propiedad	Relación entre entidades	Relación causal y funcional
Coronavirus SARS-CoV-2	Pregunta 1 - a) Identificar el tipo de virus: coronavirus SARS-CoV-2; b) Identificar el tipo de enfermedad: COVID-19 y síntomas principales.	a) Virus	b) Causa enfermedad en el cuerpo humano.	NA	NA
	Pregunta 2 - a) Identificar la estructura del SARS-CoV-2: espículas y cubierta; b) las espículas tienen proteína S y reconocen al receptor de membrana ACE2 celular para fijar el virus a la célula, la cubierta protege al el material genético del virus.	a) Virus	NR	NA	NA
Célula humana	Pregunta 3 - Con las células que tienen receptor de membrana ACE2, principalmente células respiratorias.	NA	NA	El virus interactúa con las vías respiratorias y los pulmones.	NA
Efectos del SARS-CoV-2 en las células humanas	Pregunta 4 - Ciclo lítico viral: fijación, penetración, transcripción temprana, replicación, transcripción tardía, ensamblaje y liberación.	NA	NA	NA	NC

DECODIFICACIÓN / CODIFICACIÓN DE DATOS EMPÍRICOS

INFERENCIA DEL MEI*d* INTERMEDIO: ALUMNO CASO 21

Paso 1: Decodificación e interpretación

INSTRUMENTO: Tiempos de pandemia						
Cuestionario 1: Percepción de los estudiantes sobre cómo ocurre la infección viral por SARS-CoV-2						
Decodificación		Codificación				
Pregunta	Respuestas del alumno/Dato crudo	Interpretación	Dimensión ontológica		Dimensión epistemológica	
			Entidad	Propiedad	Relación entre entidades	Relación causal y funcional
1. Describe qué sucedió en la secuencia anterior:	<p><i>Primero se les dijo que estábamos en pandemia y que teníamos que guardar sana distancia y hacer caso a las medidas que se dieron como el uso correcto de cubrebocas y no se respeto ninguna de las dos cosas, ni el uso del cubrebocas ni la sana distancia y días después por lo que se da a entender a una de las chavas le dio covid, por no seguir indicaciones</i></p>	<p>Identifica la condición de transmisión del virus de una persona enferma a otra: se infiere de la respuesta ya que el alumno no lo menciona de forma textual, pero de manera implícita sí debido a la falta de uso de cubrebocas y sana distancia.</p>	NA	NA	NA	NA
2. En la silueta humana que se muestra a continuación dibuja lo que necesites para explicar en detalle cómo es que la joven llegó a la condición de la Escena B. Es muy importante que no consultes otras fuentes de información y no utilices imágenes prediseñadas, solo dibuja tu propia explicación. Sigue las instrucciones para hacer tu dibujo:		<p>Reconoce que el virus entra al cuerpo humano, pero no indica las vías de acceso, se desplaza por los bronquios y llega a los pulmones. La representación del virus muestra una forma esférica con proyecciones alargadas. La presencia del virus provoca la enfermedad covid.</p>	<p>Virus COVID. Sistema respiratorio, pulmones</p>	<p>El virus es contagioso, tiene forma esférica con proyecciones, entra al cuerpo hasta llegar a los pulmones.</p>	<p>El virus COVID interacciona con los pulmones.</p>	<p>El virus COVID es contagioso y afecta a los pulmones.</p>
4. Por último, describe DETALLADAMENTE lo que muestra el dibujo que realizaste:	<p><i>Lo que quiero dar a entender con mi dibujo es que la niña después de no seguir las medidas que había para no contagiarse pues adquirió una cantidad de virus que ahora están en su cuerpo y más específicamente en los pulmones ya que ahí es donde principalmente se queda este virus</i></p>	<p>Identifica que el daño que produce el virus ocurre en los pulmones principalmente.</p>	<p>El virus COVID entra al cuerpo y se queda en los pulmones.</p>	<p>El virus COVID interacciona con los pulmones..</p>	<p>El virus COVID interacciona con los pulmones..</p>	<p>El virus COVID interacciona con los pulmones..</p>

Nota. NA: No aplica

NR: No responde

Continúa...

INSTRUMENTO: La pandemia y la salud						
Cuestionario 2: Identificación de entidades, propiedades, relaciones causa-efecto y reglas de inferencia						
Decodificación			Codificación			
Pregunta	Respuestas del alumno/Dato crudo	Interpretación	Dimensión ontológica		Dimensión epistemológica	
			Entidad	Propiedad	Relación entre entidades	Relación causal y funcional
1. a) ¿Qué muestra la imagen B?; b) ¿qué efecto puede producir esta entidad en el cuerpo humano?	<i>Por lo que hemos visto comunmente ahora creo que representa un virus, y los efectos más graves que puede producir esto en el cuerpo humano podría ser hasta la muerte, efectos comunes y no tan graves podría ser que si te contagias podrías tener síntomas como de gripa como, fiebre, dolor de cabeza, de garganta, tos, etc. Todo dependería de que tipo de virus obtuviste y en que cantidad.</i>	a) Identifica un virus; b) lo relaciona con síntomas como gripa, fiebre, dolor de cabeza, de garganta, tos e incluso la muerte.	Virus	Genera gripa, fiebre, dolor de cabeza, de garganta, tos e incluso la muerte.	NA	NA
2. a) ¿Qué elementos reconoces en la imagen B?; b) ¿qué características piensas que tiene cada uno de ellos?	<i>Glicoproteína, cápside, genoma</i>	a) Identifica como partes del virus cápside, genoma y glicoproteína; b) NR.	Cápside, genoma y glicoproteína.	NR	NA	NA
3. ¿Con qué interacciona directamente, en el interior del cuerpo humano, la entidad que identificaste en la pregunta 1?	<i>El virus podría atacar directamente a tu sistema inmunológico dentro de tu cuerpo</i>	Identifica que el virus interacciona con el sistema inmunológico, pero no reconoce el efecto en las células respiratorias.	NA	NA	El virus interacciona con el sistema inmunológico.	NA
4. ¿Qué pasa en aquello que mencionaste del interior del cuerpo humano, ante la presencia de la entidad identificada en la pregunta 1?	<i>Estos organismos entran al cuerpo y se adhieren a la superficie celular. Dependiendo del tipo de virus, buscan células en diferentes partes del cuerpo, por ejemplo, el hígado, el sistema respiratorio o la sangre. Una vez se haya adherido a la célula sana, entra a ella.</i>	Identifica que el virus tiene que adherirse a la superficie celular y que las células afectadas pueden ser de distintos tipos: del hígado, sistema respiratorio, sangre.	NA	NA	NA	El virus se adhiere y entra a la superficie de las células respiratorias y causa diversos síntomas.

Paso 2: Depuración de datos codificados

INSTRUMENTO: Tiempos de pandemia						
Cuestionario 1: Percepción de los estudiantes sobre cómo ocurre la infección viral por SARS-CoV-2						
INFORMACIÓN ESPERADA	DATOS EMPÍRICOS OBTENIDOS (codificados)					
	Condiciones del fenómeno		Dimensión ontológica		Dimensión epistemológica	
	Transmisión del virus de persona a persona	Presencia del virus dentro del cuerpo humano	Entidad	Propiedad	Relación entre entidades	Relación causal y funcional
Pregunta 1 - Condición 1 del fenómeno: infeccioso (transmisible) por coronavirus SARS-CoV-2 e ingreso al cuerpo humano	Sí, pero no menciona de manera explícita la vía de contagio.	NA	NA	NA	NA	NA
Pregunta 2 (dibujo en silueta)- Condición 2 del fenómeno: interacción a nivel celular y/u órganos del cuerpo humano.	NA	Sí, el virus entra al cuerpo humano y llega a los pulmones.	Virus COVID. Sistema respiratorio, pulmones, células.	El virus COVID es contagioso, tiene forma esférica con proyecciones alargadas.	El virus COVID interacciona con los pulmones.	El virus COVID es contagioso y afecta a las células de los pulmones.
Pregunta 4 - Condición 2 del fenómeno: interacción a nivel celular y/u órganos del cuerpo humano.	NA	Sí, con la células del sistema respiratorio.		El virus COVID entra al cuerpo y se queda en los pulmones.	El virus COVID interacciona con los pulmones..	

Nota. NA: No aplica

NC: No corresponde

Continúa...

INSTRUMENTO: La pandemia y la salud

Cuestionario 2: Identificación de entidades, propiedades, relaciones causa-efecto y reglas de inferencia

INFORMACIÓN ESPERADA		DATOS EMPÍRICOS OBTENIDOS (codificados)			
		Dimensión ontológica		Dimensión epistemológica	
		Entidad	Propiedad	Relación entre entidades	Relación causal y funcional
Coronavirus SARS-CoV-2	Pregunta 1 - a) Identificar el tipo de virus: coronavirus SARS-CoV-2; b) Identificar el tipo de enfermedad: COVID-19 y síntomas principales.	a) Virus	b) Genera gripa, fiebre, dolor de cabeza, de garganta, tos e incluso la muerte.	NA	NA
	Pregunta 2 - a) Identificar la estructura del SARS-CoV-2: espículas y cubierta; b) las espículas tienen proteína S y reconocen al receptor de membrana ACE2 celular para fijar el virus a la célula, la cubierta protege al el material genético del virus.	a) Cápside, genoma y glicoproteína.	NR	NA	NA
Célula humana	Pregunta 3 - Con las células que tienen receptor de membrana ACE2, principalmente células respiratorias.	NA	NA	El virus interactúa con el sistema inmunológico.	NA
Efectos del SARS-CoV-2 en las células humanas	Pregunta 4 - Ciclo lítico viral: fijación, penetración, transcripción temprana, replicación, transcripción tardía, ensamblaje y liberación.	NA	NA	NA	El virus se adhiere y entra a la superficie de las células respiratorias y causa diversos síntomas.

INSTRUMENTO: La pandemia y la salud						
Cuestionario 2: Identificación de entidades, propiedades, relaciones causa-efecto y reglas de inferencia						
Decodificación		Codificación				
Pregunta	Respuestas del alumno/Dato crudo	Interpretación	Dimensión ontológica		Dimensión epistemológica	
			Entidad	Propiedad	Relación entre entidades	Relación causal y funcional
1. a) ¿Qué muestra la imagen B?; b) ¿qué efecto puede producir esta entidad en el cuerpo humano?	A) SARS-CoV-2 o COVID-19 que es un virus que ha llegado a afectar mucho a la población mundial en los últimos años. B) Es depende del individuo que lo porte puede ser hasta un resfriado común o puede llegar a ser muy grave como enfermedades respiratorias que pueden provocar la muerte, si la persona tiene anticuerpos en el organismo contra el virus es menos probable que el COVID-19 afecte de forma grave a la persona.	a) Identifica al Virus SARS-Cov-2; b) lo relaciona con resfriado común o con enfermedades respiratorias que pueden provocar la muerte	Virus SARS-CoV-2 o COVID-19	Enfermedades respiratorias desde leves a graves.	NA	NA
2. a) ¿Qué elementos reconoces en la imagen B?; b) ¿qué características piensas que tiene cada uno de ellos?	A) Se puede observar el virus SARS-CoV-2, la envoltura que guarda el virus, las proteínas que lleva consigo el mismo virus y los picos que sobresalen del virus por eso fue nombrado corona se parece a una corona. B) Son muy contagiosos, muy pequeños que el ojo humano no puede ver y contienen ácido nucleico.	a) Identifica el virus SARS-CoV-2 y su estructura básica; b) reconoce características estructurales de las partes mencionadas.	Virus SARS-CoV-2, envoltura, proteínas, picos	El virus SARS-CoV-2, es pequeño, contiene ácido nucleico y es contagioso; la envoltura guarda el virus.	NA	NA
3. ¿Con qué interacciona directamente, en el interior del cuerpo humano, la entidad que identificaste en la pregunta 1?	Con sistema respiratorio y se dirige a los pulmones, ocasionando diferentes enfermedades pero depende del individuo como ya comente previamente. Puede entrar por medio de la nariz y boca.	Identifica que el virus interacciona con el sistema respiratorio y los pulmones en específico..	NA	NA	El virus interacciona con sistema respiratorio, los pulmones, las células.	NA
4. ¿Qué pasa en aquello que mencionaste del interior del cuerpo humano, ante la presencia de la entidad identificada en la pregunta 1?	Puede obstruir la respiración porque el virus se dirige a los pulmones, pero eso sucede en casos graves. El virus invade las células provocando que el sistema inmunológico se debilite.	Menciona el efecto del virus en los pulmones y menciona daño a las células, pero no explica el proceso.	NA	NA	NA	El virus SARS-CoV-2 es contagioso, daña los pulmones e invade a la células, lo que provoca síntomas de COVID-19

Paso 2: Depuración de datos codificados

INSTRUMENTO: Tiempos de pandemia						
Cuestionario 1: Percepción de los estudiantes sobre cómo ocurre la infección viral por SARS-CoV-2						
INFORMACIÓN ESPERADA	DATOS EMPÍRICOS OBTENIDOS (codificados)					
	Condiciones del fenómeno		Dimensión ontológica		Dimensión epistemológica	
	Transmisión del virus de persona a persona	Presencia del virus dentro del cuerpo humano	Entidad	Propiedad	Relación entre entidades	Relación causal y funcional
Pregunta 1 - Condición 1 del fenómeno: infeccioso (transmisible) por coronavirus SARS-CoV-2 e ingreso al cuerpo humano	Sí, por respirar el virus que se encuentra en el ambiente.	NA	NA	NA	NA	NA
Pregunta 2 (dibujo en silueta)- Condición 2 del fenómeno: interacción a nivel celular y/u órganos del cuerpo humano.	NA	Sí, el virus entra al cuerpo humano por nariz, se desplaza por las vías respiratorias y llega a los pulmones.	Virus. Nariz, vías respiratorias, pulmones, células	El virus entra al cuerpo por nariz y vías respiratorias hasta llegar a los pulmones.	Si el virus llega a los pulmones, causa temperatura alta, dolor de garganta.	La enfermedad COVID es contagioso, se debe a un virus que infecta los pulmones.
Pregunta 4 - Condición 2 del fenómeno: interacción a nivel celular y/u órganos del cuerpo humano.	NA	Sí, con los pulmones y las células.		El virus infecta a los pulmones.	El virus llega a los pulmones.	

Nota. NA: No aplica

Continúa...

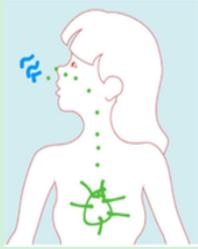
I N S T R U M E N T O: La pandemia y la salud

Cuestionario 2: Identificación de entidades, propiedades, relaciones causa-efecto y reglas de inferencia

INFORMACIÓN ESPERADA		DATOS EMPÍRICOS OBTENIDOS (codificados)			
		Dimensión ontológica		Dimensión epistemológica	
		Entidad	Propiedad	Relación entre entidades	Relación causal y funcional
Coronavirus SARS-CoV-2	Pregunta 1 - a) Identificar el tipo de virus: coronavirus SARS-CoV-2; b) Identificar el tipo de enfermedad: COVID-19 y síntomas principales.	a) <i>Virus SARS-CoV-2 o COVID-19</i>	b) Enfermedades respiratorias desde leves a graves.	NA	NA
	Pregunta 2 - a) Identificar la estructura del SARS-CoV-2: espículas y cubierta; b) las espículas tienen proteína S y reconocen al receptor de membrana ACE2 celular para fijar el virus a la célula, la cubierta protege al el material genético del virus.	Virus SARS-CoV-2, envoltura, proteínas, picos	El virus SARS-CoV-2, es pequeño, contiene ácido nucleico y es contagioso; la envoltura guarda el virus.	NA	NA
Célula humana	Pregunta 3 - Con las células que tienen receptor de membrana ACE2, principalmente células respiratorias.	NA	NA	El virus interacciona con sistema respiratorio, los pulmones y las células.	NA
Efectos del SARS-CoV-2 en las células humanas	Pregunta 4 - Ciclo lítico viral: fijación, penetración, transcripción temprana, replicación, transcripción tardía, ensamblaje y liberación.	NA	NA	NA	El virus SARS-CoV-2 es contagioso, daña los pulmones e invade a la células, lo que provoca síntomas de COVID-19

ANEXO 4
DECODIFICACIÓN / CODIFICACIÓN DE DATOS EMPÍRICOS (Casos-tipo)
INFERENCIA DEL MEI*d* BÁSICO: ALUMNO CASO-TIPO 19

Paso 1: Decodificación e interpretación

INSTRUMENTO: Tiempos de pandemia						
Cuestionario 1: Percepción de los estudiantes sobre cómo ocurre la infección viral por SARS-CoV-2						
Decodificación		Codificación				
Pregunta	Respuestas del alumno/Dato crudo	Interpretación	Dimensión ontológica		Dimensión epistemológica	
			Entidad	Propiedad	Relación entre entidades	Relación causal y funcional
1. Describe qué sucedió en la secuencia anterior:	<i>En las imagines veo a niños que traen su cubrebocas mal puesto por su irresponsabilidad el cual no solo les afecta a ellos sino también a su alrededor, la niña de la imagen no traía el cubrebocas y eso le afecto y pues se enfermo por ser irresponsable y no seguir las indicaciones correspondientes.</i>	Identifica la condición de transmisión del virus de una persona enferma a otra, de manera implícita.	NA	NA	NA	NA
2. En la silueta humana que se muestra a continuación dibuja lo que necesites para explicar en detalle cómo es que la joven llegó a la condición de la Escena B. Es muy importante que no consultes otras fuentes de información y no utilices imágenes prediseñadas, solo dibuja tu propia explicación. Sigue las instrucciones para hacer tu dibujo:		Reconoce que un virus entra al cuerpo humano por nariz. La representación del virus muestra una forma esférica con proyecciones alargadas en la superficie.	Virus. Nariz.	El virus tiene forma esférica con proyecciones alargadas, entra al cuerpo por nariz.	Si el virus se introduce en el cuerpo por la nariz	El virus es contagioso.
4. Por último, describe DETALLADAMENTE lo que muestra el dibujo que realizaste:	<i>Una persona que estornuda y esta enferma y esta niña sin cubrebocas y teniendo a la persona en contacto le paso el virus y entro en su cuerpo y empieza a hacer efecto.</i>	No corresponde la respuesta porque identifica que el el comntagio es por estornudo y cuando el virus están dentro del cuerpo, lo afecta. No explica detalles de cómo ocurre el proceso de afectación.		NC	NC	

Nota. NA: No aplica
 NC: No corresponde

Continúa...

INSTRUMENTO: La pandemia y la salud

Cuestionario 2: Identificación de entidades, propiedades, relaciones causa-efecto y reglas de inferencia

Decodificación		Codificación				
Pregunta	Respuestas del alumno/Dato crudo	Interpretación	Dimensión ontológica		Dimensión epistemológica	
			Entidad	Propiedad	Relación entre entidades	Relación causal y funcional
1. a) ¿Qué muestra la imagen B?; b) ¿qué efecto puede producir esta entidad en el cuerpo humano?	<i>Muestra el nuevo virus llamado coronavirus, puede producir enfermedad y la muerte también.</i>	a) Identifica el coronavirus; b) lo relaciona con enfermedad y muerte.	Coronavirus	Origina enfermedad y muerte.	NA	NA
2. a) ¿Qué elementos reconoces en la imagen B?; b) ¿qué características piensas que tiene cada uno de ellos?	<i>Las infecciones que va causando ese virus en las personas</i>	a) y b) no corresponden las respuestas con la pregunta.	NC	NC	NA	NA
3. ¿Con qué interactúa directamente, en el interior del cuerpo humano, la entidad que identificaste en la pregunta 1?	<i>Las manos, el aire, hablar cerca de una persona, tener contacto físico, compartir comida y materiales.</i>	No corresponden las respuestas con la pregunta.	NA	NA	NC	NA
4. ¿Qué pasa en aquello que mencionaste del interior del cuerpo humano, ante la presencia de la entidad identificada en la pregunta 1?	<i>Pues infecciones como calentura dolor de cabeza, de garganta, tener cuerpo cortado</i>	No corresponden las respuestas con la pregunta.	NA	NA	NA	NC

Paso 2: Depuración de datos codificados

INSTRUMENTO: Tiempos de pandemia						
Cuestionario 1: Percepción de los estudiantes sobre cómo ocurre la infección viral por SARS-CoV-2						
DATOS EMPÍRICOS CODIFICADOS						
INFORMACIÓN ESPERADA	Condiciones del fenómeno		Dimensión ontológica		Dimensión epistemológica	
	Transmisión del virus de persona a persona	Presencia del virus dentro del cuerpo humano	Entidad	Propiedad	Relación entre entidades	Relación causal y funcional
Pregunta 1 - Condición 1 del fenómeno: infeccioso (transmisible) por coronavirus SARS-CoV-2 e ingreso al cuerpo humano	Sí, por estornudo.	NA	NA	NA	NA	NA
Pregunta 2 (dibujo en silueta)- Condición 2 del fenómeno: interacción a nivel celular y/u órganos del cuerpo humano.	NA	Sí, el virus entra al cuerpo humano por nariz.	Virus. Nariz.	El virus tiene forma esférica con proyecciones alargadas, entra al cuerpo por nariz.	El virus entra al cuerpo por nariz.	El virus es contagioso.
Pregunta 4 - Condición 2 del fenómeno: interacción a nivel celular y/u órganos del cuerpo humano.	NA	NC		NC	NC	

Nota. NA: No aplica

NC: No corresponde

Continúa...

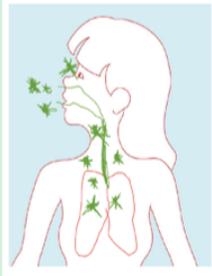
I N S T R U M E N T O: La pandemia y la salud

Cuestionario 2: Identificación de entidades, propiedades, relaciones causa-efecto y reglas de inferencia

INFORMACIÓN ESPERADA		DATOS EMPÍRICOS CODIFICADOS			
		Dimensión ontológica		Dimensión epistemológica	
		Entidad	Propiedad	Relación entre entidades	Relación causal y funcional
Coronavirus SARS-CoV-2	Pregunta 1 - a) Identificar el tipo de virus: coronavirus SARS-CoV-2; b) Identificar el tipo de enfermedad: COVID-19 y síntomas principales.	a) <i>Coronavirus</i>	b) Causa enfermedad y muerte.	NA	NA
	Pregunta 2 - a) Identificar la estructura del SARS-CoV-2: espículas y cubierta; b) las espículas tienen proteína S y reconocen al receptor de membrana ACE2 celular para fijar el virus a la célula, la cubierta protege al material genético del virus.	NC	NC	NA	NA
Célula humana	Pregunta 3 - Con las células que tienen receptor de membrana ACE2, principalmente células respiratorias.	NA	NA	NC	NA
Efectos del SARS-CoV-2 en las células humanas	Pregunta 4 - Ciclo lítico viral: fijación, penetración, transcripción temprana, replicación, transcripción tardía, ensamblaje y liberación.	NA	NA	NA	NC

DECODIFICACIÓN / CODIFICACIÓN DE DATOS EMPÍRICOS
INFERENCIA DEL MEI*d* INTERMEDIO: ALUMNO CASO-TIPO 3

Paso 1: Decodificación e interpretación

INSTRUMENTO: Tiempos de pandemia						
Cuestionario 1: Percepción de los estudiantes sobre cómo ocurre la infección viral por SARS-CoV-2						
Decodificación		Codificación				
Pregunta	Respuestas del alumno/Dato crudo	Interpretación	Dimensión ontológica		Dimensión epistemológica	
			Entidad	Propiedad	Relación entre entidades	Relación causal y funcional
1. Describe qué sucedió en la secuencia anterior:	<i>La chica días antes de enfermarse, convivió con una persona infectada, sin sana distancia y sin los cubrebocas puestos correctamente. Parece ser que la ventana no estaba abierta y el chico que estornudó salpicó a todos los alumnos que se ven en la imagen.</i>	Identifica la condición de transmisión de una persona a otra para que ocurra la infección: el chico que estornudó salpicó a todos los alumnos	NA	NA	NA	NA
2. En la silueta humana que se muestra a continuación dibuja lo que necesites para explicar en detalle cómo es que la joven llegó a la condición de la Escena B. Es muy importante que no consultes otras fuentes de información y no utilices imágenes prediseñadas, solo dibuja tu propia explicación. Sigue las instrucciones para hacer tu dibujo:		Muestra la entrada del virus que entra al cuerpo humano, vía ojos, nariz y boca, y llega hasta pulmones . El virus es dibujado con forma esferoide con proyecciones en la superficie.	Virus. Ojos, nariz, boca, vías respiratorias, pulmones	El virus entra al cuerpo humano por los ojos, nariz y la boca y llega a los pulmones. El virus tiene proyecciones alargadas.	Si el coronavirus entra al cuerpo humano, entonces afecta a los pulmones.	Una persona infectada transmite el virus a otra y éste provoca enfermedad.
4. Por último, describe DETALLADAMENTE lo que muestra el dibujo que realizaste:	<i>El virus entra por los ojos, nariz y boca, causándole enfermedad a la chica.</i>	Identifica un virus como causante de enfermedad.		El virus causa enfermedad.	La infección se transmite de una persona a otra.	

Nota. NA: No aplica
 NR: No responde

Continúa...

INSTRUMENTO: La pandemis y la salud

Cuestionario 2: Identificación de entidades, propiedades, relaciones entre entidades y relación causal-funcional

Decodificación		Codificación				
Pregunta	Respuestas del alumno/Dato crudo	Interpretación	Dimensión ontológica		Dimensión epistemológica	
			Entidad	Propiedad	Relación entre entidades	Relación causal y funcional
1. a) ¿Qué muestra la imagen B?; b) ¿qué efecto puede producir esta entidad en el cuerpo humano?	<i>Se puede ver al covid-19 amplificado. El covid-19 está siendo expulsado del cuerpo del infectado por medio de un estornudo.</i>	a) Identifica el Covid-19; b) La respuesta nos corresponde porque no refiere a los efectos, sino a la transmisión.	Covid-19	Se transmite por estornudo.	NA	NA
2. a) ¿Qué elementos reconoces en la imagen B?; b) ¿qué características piensas que tiene cada uno de ellos?	<i>Al covid-19, y a un grupo de personas platicando. Por la persona estornudando, se puede intuir que está infectada con covid-19 y al no estornudar de la manera adecuada, está propagando la enfermedad.</i>	No responde la pregunta debido a que se remite a los personajes y no a los elementos del virus.	NR	NR	NA	NA
3. ¿Con qué interacciona directamente, en el interior del cuerpo humano, la entidad que identificaste en la pregunta 1?	<i>con las células</i>	Identifica que el virus interacciona con las células. Esto indica que el informante reconoce un nivel fino de la interacción.	NA	NA	El virus interacciona con las células del cuerpo humano e introduce su material genético (ARN) en ellas.	NA
4. ¿Qué pasa en aquello que mencionaste del interior del cuerpo humano, ante la presencia de la entidad identificada en la pregunta 1?	<i>el virus entra en contacto con la célula para inyectar su arn</i>	Identifica que, el virus introduce su material genético (arn) en la célula. Sin embargo, no explica qué sucede con ésta.	NA	NA	NA	NR

Paso 2: Depuración de datos codificados

INSTRUMENTO: Tiempos de pandemia

Cuestionario 1: Percepción de los estudiantes sobre cómo ocurre la infección viral por SARS-CoV-2

DATOS EMPÍRICOS CODIFICADOS

INFORMACIÓN ESPERADA	Condiciones del fenómeno		Dimensión ontológica		Dimensión epistemológica	
	Transmisión del virus de persona a persona	Presencia del virus dentro del cuerpo humano	Entidad	Propiedad	Relación entre entidades	Relación causal y funcional
Pregunta 1 - Condición 1 del fenómeno: infeccioso (transmisible) por coronavirus SARS-CoV-2 e ingreso al cuerpo humano	Sí, por salpicaduras [de saliva].	NA	NA	NA	NA	NA
Pregunta 2 (dibujo en silueta)- Condición 2 del fenómeno: interacción a nivel celular y/u órganos del cuerpo humano.	NA	Sí, ingresa por los ojos, nariz, boca y llega a los pulmones.	Virus. Ojos, nariz, boca, vías respiratorias, pulmones	El virus tiene proyecciones alargadas.	El virus afecta a los pulmones.	Una persona infectada transmite el virus a otra y éste provoca enfermedad.
Pregunta 4 - Condición 2 del fenómeno: interacción a nivel celular y/u órganos del cuerpo humano.	NA	Sí, ingresa al cuerpo.		El virus causa enfermedad.	El virus pasa de una persona a otra.	

Nota. NA: No aplica
NR: No responde

Continúa...

I N S T R U M E N T O: La pandemia y la salud

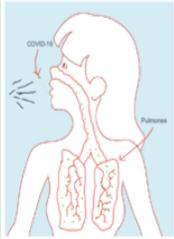
Cuestionario 2: Idetificación de entidades, propiedades, relaciones causa-efecto y reglas de inferencia

INFORMACIÓN ESPERADA		DATOS EMPÍRICOS OBTENIDOS (codificados)			
		Dimensión ontológica		Dimensión epistemológica	
		Entidad	Propiedad	Relación entre entidades	Relación causal y funcional
Coronavirus SARS-CoV-2	Pregunta 1 - a) Identificar el tipo de virus: coronavirus SARS-CoV-2; b) Identificar el tipo de enfermedad: COVID-19 y síntomas principales.	a) covid-19	b) El covid-19 provoca enfermedad.	NA	NA
	Pregunta 2 - a) Identificar la estructura del SARS-CoV-2: espículas y cubierta; b) las espículas tienen proteína S y reconocen al receptor de membrana ACE2 celular para fijar el virus a la célula, la cubierta protege al el material genético del virus.	NR	NR	NA	NA
Célula humana	Pregunta 3 - Con las células que tienen receptor de membrana ACE2, principalmente células respiratorias.	NA	NA	El virus interacciona con las células del cuerpo humano e introduce su material genético (ARN) en ellas.	NA
Efectos del SARS-CoV-2 en las células humanas	Pregunta 4 - Ciclo lítico viral: fijación, penetración, transcripción temprana, replicación, transcripción tardía, enmsamblaje y liberación.	NA	NA	NA	NR

DECODIFICACIÓN / CODIFICACIÓN DE DATOS EMPÍRICOS

INFERENCIA DEL MEI*d* AVANZADO: ALUMNO CASO-TIPO 31

Paso 1: Decodificación e interpretación

INSTRUMENTO: Tiempos de pandemia						
Cuestionario 1: Percepción de los estudiantes sobre cómo ocurre la infección viral por SARS-CoV-2						
Decodificación		Codificación				
Pregunta	Respuestas del alumno/Dato crudo	Interpretación	Dimensión ontológica		Dimensión epistemológica	
			Entidad	Propiedad	Relación entre entidades	Relación causal y funcional
1. Describe qué sucedió en la secuencia anterior:	<i>La compañera cometió el error de juntarse con una persona contagiada sin usar cubrebocas o aplicar la sana distancia y se contagió.</i>	Identifica la condición de transmisión del virus de una persona enferma a otra: el virus se contagia por medio del estornudo, aunque está de manera implícita. Aunque no menciona al SARS-CoV-2.	NA	NA	NA	NA
2. En la silueta humana que se muestra a continuación dibuja lo que necesites para explicar en detalle cómo es que la joven llegó a la condición de la Escena B. Es muy importante que no consultes otras fuentes de información y no utilices imágenes prediseñadas, solo dibuja tu propia explicación. Sigue las instrucciones para hacer tu dibujo:		Reconoce que el virus entra al cuerpo humano por nariz, se desplaza por las vías respiratorias y llega a los pulmones. La representación del virus muestra una forma esférica, a manera de puntos diminutos.	Virus de COVID-19. Nariz, vías respiratorias, pulmones, células del pulmón.	El virus de COVID-19 tiene forma esférica.	El virus de COVID-19 entra al cuerpo por la nariz, vías respiratorias hasta llegar a los pulmones.	El virus COVID-19 es contagioso y se reproduce en las células pulmonares, por lo que enferma al cuerpo humano.
4. Por último, describe DETALLADAMENTE lo que muestra el dibujo que realizaste:	<i>Tras el estornudo, miles de virus de COVID-19 salen disparados entrando a la nariz sin protección de nuestra amiga. Los coronavirus se empiezan a adherir a las células que tengan el receptor adecuado, esto con el fin de seguirse reproduciendo. Las células del pulmón se comienzan a ver en su mayoría afectadas por el coronavirus y se enferma de gravedad.</i>	Identifica que se trata de un coronavirus , en específico el virus de COVID-19, así como el proceso de infección que desemboca en enfermedad de gravedad. Reconoce el estornudo como vía de infección.		El virus de COVID-19 afecta a las células del pulmón, mismas que tienen el receptor para este virus y se reproduce en ellas.	El virus COVID-19 se adhiere a las células del pulmón.	

Nota. NA: No aplica

Continúa...

INSTRUMENTO: La pandemia y la salud

Cuestionario 2: Identificación de entidades, propiedades, relaciones causa-efecto y reglas de inferencia

Decodificación		Codificación				
Pregunta	Respuestas del alumno/Dato crudo	Interpretación	Dimensión ontológica		Dimensión epistemológica	
			Entidad	Propiedad	Relación entre entidades	Relación causal y funcional
1. a) ¿Qué muestra la imagen B?; b) ¿qué efecto puede producir esta entidad en el cuerpo humano?	<i>La imagen muestra lo que pareciera ser una molécula del virus COVID-19. Un coronavirus como este podría llegar a producir infecciones en las vías superiores y causar enfermedades como el catarro, si la gravedad de la infección es mayor podría llegar a generar una neumonía y, en el peor de los casos, la muerte.</i>	a) Identifica el coronavirus ; b) lo relaciona con complicaciones en el sistema respiratorio .	a) Coronavirus del COVID-19	Entra a los pulmones y genera complicaciones en el organismo.	NA	NA
2. a) ¿Qué elementos reconoces en la imagen B?; b) ¿qué características piensas que tiene cada uno de ellos?	<i>Lo primero que resalta en la imagen son las espículas que contienen las glicoproteínas Spike, características de los coronavirus. Estas glicoproteínas funcionan como la llave que les permite unirse a la célula huésped a la que vayan a infectar. Posteriormente, podemos observar la cápside del coronavirus, esta es un recubrimiento proteico que envuelve a la molécula. Adentro de la cápside podemos observar el material genético del virus, en el caso de los coronavirus su material genético sera un ARN viral; también podemos observar lo que sería la transcriptasa inversa propia de un virus ARN y quizás algunas nucleoproteínas más.</i>	a) Identifica como partes del coronavirus como espículas, cápside, el material genético (ARN); también podemos observar lo que sería la transcriptasa inversa propia de un virus ARN y quizás algunas nucleoproteínas más.; b) reconoce características estructurales de las partes mencionadas. En la imagen no se ven el ARN ni la transcriptasa.	b) Espículas, cápside, célula huésped	Las espículas contienen las glicoproteínas Spike y funcionan como la llave que les permite unirse a la célula huésped a la que infectan. La cápside esta es un recubrimiento proteico que envuelve a la molécula, dentro de ella se encuentra el material genético del virus (ARN).	NA	NA
3. ¿Con qué interacciona directamente, en el interior del cuerpo humano, la entidad que identificaste en la pregunta 1?	<i>El coronavirus al entrar interacciona principalmente con las vías respiratorias. Empezando por las fosas nasales, pasando por la laringe y la faringe, interaccionando también con la traquea y los bronquios hasta llegar a los pulmones.</i>	Identifica que el virus interacciona principalmente con las vías respiratorias .	NA	NA	El virus interacciona (arige, faringe, tráquea, pulmones y bronquios.	NA
4. ¿Qué pasa en aquello que mencionaste del interior del cuerpo humano, ante la presencia de la entidad identificada en la pregunta 1?	<i>Al inhalar las moléculas del COVID-19, el retrovirus empieza a buscar células huésped para poder infectar con el fin de reproducirse. El coronavirus seguirá generando copias sin control, que a su vez seguirán generando más copias. Ante esto el sistema inmunitario del cuerpo humano empezará a liberar anticuerpos que intenten acabar con la entidad invasora, esto provoca síntomas como fiebre, dolor garganta y/o tos.</i>	Reconoce que el virus de COVID-19 interacciona con células huésped para reproducirse. Esto genera síntomas de la enfermedad: fiebre, dolor de garganta y tos.	NA	NA	NA	El coronavirus de COVID-19 infecta células huésped para generar copias de sí mismo y esto provoca síntomas.

Paso 2: Depuración de datos codificados

INSTRUMENTO: Tiempos de pandemia

Cuestionario 1: Percepción de los estudiantes sobre cómo ocurre la infección viral por SARS-CoV-2

DATOS EMPÍRICOS CODIFICADOS						
INFORMACIÓN ESPERADA	Condiciones del fenómeno		Dimensión ontológica		Dimensión epistemológica	
	Transmisión del virus de persona a persona	Presencia del virus dentro del cuerpo humano	Entidad	Propiedad	Relación entre entidades	Relación causal y funcional
Pregunta 1 - Condición 1 del fenómeno: infeccioso (transmisible) por coronavirus SARS-CoV-2 e ingreso al cuerpo humano	Sí, por estornudo.	NA	NA	NA	NA	NA
Pregunta 2 (dibujo en silueta): Condición 2 del fenómeno: interacción a nivel celular y/u órganos del cuerpo humano.	NA	Sí, el virus entra al cuerpo humano por nariz y boca, se desplaza por las vías respiratorias y llega a los pulmones.	Virus de COVID-19. Nariz, vías respiratorias, pulmones, células del pulmón.	El virus de COVID-19 tiene forma esférica.	El virus de COVID-19 entra al cuerpo por la nariz, vías respiratorias hasta llegar a los pulmones.	El virus COVID-19 es contagioso y se reproduce en las células pulmonares, por lo que enferma al cuerpo humano.
Pregunta 4 - Condición 2 del fenómeno: interacción a nivel celular y/u órganos del cuerpo humano.	NA	Sí, invade el sistema respiratorio.		El virus de COVID-19 afecta a las células del pulmón, mismas que tienen el receptor para este virus y se reproduce en ellas.	El virus COVID-19 se adhiere a las células del pulmón.	

Continúa...

INSTRUMENTO: La pandemia y la salud					
Cuestionario 2: Identificación de entidades, propiedades, relaciones causa-efecto y reglas de inferencia					
INFORMACIÓN ESPERADA		DATOS EMPÍRICOS CODIFICADOS			
		Dimensión ontológica		Dimensión epistemológica	
		Entidad	Propiedad	Relación entre entidades	Relación causal y funcional
Coronavirus SARS-CoV-2	Pregunta 1 - a) Identificar el tipo de virus: coronavirus SARS-CoV-2; b) Identificar el tipo de enfermedad: COVID-19 y síntomas principales.	b) Coronavirus del COVID-19	b) Entra a los pulmones y genera complicaciones en el organismo.	NA	NA
	Pregunta 2 - a) Identificar la estructura del SARS-CoV-2: espículas y cubierta; b) las espículas tienen proteína S y reconocen al receptor de membrana ACE2 celular para fijar el virus a la célula, la cubierta protege al el material genético del virus.	a) Identifica como espículas, cápside, el material genético (ARN). <i>En la imagen no se ven el ARN ni la transcriptasa, aunque el alumno las menciona.</i>	b) Las espigas son picos que rodean al coronavirus y tienen glucoproteína Spike.	NA	NA
Célula humana	Pregunta 3 - Con las células que tienen receptor de membrana ACE2, principalmente células respiratorias.	NA	NA	El virus interactúa larige, faringe, tráquea, pulmones y bronquios, células huésped, células respiratorias.	NA
Efectos del SARS-CoV-2 en las células humanas	Pregunta 4 - Ciclo lítico viral: fijación, penetración, transcripción temprana, replicación, transcripción tardía, ensamblaje y liberación.	NA	NA	NA	El coronavirus de COVID-19 infecta células huésped para generar copias de sí mismo y esto provoca síntomas.

