



UNIVERSIDAD FEDERAL DE BAHIA
UNIVERSIDAD ESTATAL DE FEIRA DE SANTANA
PROGRAMA DE POSGRADO EN ENSEÑANZA,
FILOSOFÍA E HISTORIA DE LAS CIENCIAS



ERIKA PATRICIA DAZA PÉREZ

ENSEÑANDO SOBRE TERMORREGULACIÓN MEDIANTE
MODELIZACIÓN APOYADA EN EL VIDEOJUEGO CALANGOS: Diseño y
evaluación de una innovación educativa

SALVADOR

2018

ERIKA PATRICIA DAZA PÉREZ

ENSEÑANDO SOBRE TERMORREGULACIÓN MEDIANTE
MODELIZACIÓN APOYADA EN EL VIDEOJUEGO CALANGOS: Diseño y
evaluación de una innovación educativa

Tesis presentada al programa de posgrado en
Enseñanza, Filosofía e Historia de las Ciencias,
Universidad Federal de Bahía, Universidad
Estatad de Feira de Santana, para obtener el
grado de Doctora en Enseñanza, Filosofía e
Historia de las Ciencias, en la línea de
enseñanza de las ciencias.

Orientador: Prof. Dr. Charbel Niño-El Hani

SALVADOR
2018

ENSEÑANDO SOBRE TERMORREGULACIÓN MEDIANTE MODELIZACIÓN APOYADA EN EL VIDEOJUEGO CALANGOS: Diseño y evaluación de una innovación educativa

Tesis presentada como requisito parcial para obtener el grado de Doctora en Enseñanza, Filosofía e Historia de las Ciencias, en la línea de Enseñanza de las Ciencias, Universidad Federal de Bahía, Universidad Estatal de Feira de Santana, evaluada por:

Miembros del comité evaluador:

Charbel Niño-EI Hani – Orientador _____
Doctor en Educación por la Universidad de São Paulo
Universidad Federal de Bahia (UFBA)

Rosiléia Oliveira de Almeida _____
Doctora en Educación por la Universidad Estatal de Campinas
Universidad Federal de Bahia (UFBA)

Amanda Amantes Neiva Ribeiro _____
Doctora en Educación por la Universidad Federal de Minas Gerais
Universidad Federal de Bahia (UFBA)

Rosaria da Silva Justi _____
Doctora en Educación en Ciencias por la Universidad Reading, Inglaterra
Universidad Federal de Minas Gerais (UFMG)

Orlando Gomes de Aguiar Júnior _____
Doctor en Educación por la Universidad Federal de Minas Gerais
Universidad Federal de Minas Gerais (UFMG)

Salvador, junio de 2017

A todos los niños, fundamentalmente, a mis hijos Juliana y Mateo, ansiosos de oportunidades para aprender más; de buenas orientaciones y ganas de contagiar el mundo con un poco de curiosidad. Ellos, mi mejor definición de amor, complicidad, alegría, ilusión y valentía.

A los maestros que hacen de su profesión su mayor pasión, en especial a la mejor maestra, mi más grande ejemplo, a la profesora Margarita, mi mamá.

A mi papá, quien sin ser maestro tiene la humildad, la sabiduría y la entrega necesaria para transformar la vida, llenar de fortaleza e ilusiones a quienes le rodean.

A ti Fernando, por permitirme volver creer, alentarme, perseverar, creer y esperar.

Daza Pérez, Erika Patricia
ENSEÑANDO SOBRE TERMORREGULACIÓN MEDIANTE
MODELIZACIÓN APOYADA EN EL VIDEOJUEGO CALANGOS: Diseño
y evaluación de una innovación educativa / Erika
Patricia Daza Pérez. -- Salvador, 2018.
253 f. : il

Orientador: Charbel Niño-ElHani.
(Mestrado - Programa de Pós-Graduação em Ensino,
Filosofia e História das Ciências (PPGEFHC) -
UFBA/UEFS) -- Universidade Federal da Bahia,
Instituto de Física, 2018.

1. Termorregulación. 2. Homeóstasis. 3. Serious game.
4. Modelos de mecanismos. 5. Videojuego calangos. I.
Niño-ElHani, Charbel. II. Título.

Agradecimientos

Gracias a todas las personas e instituciones que ofrecieron lo mejor de sí para que alcanzará otro propósito de formación que se hace tangible en este trabajo.

Al profesor Charbel por su comprensión, orientaciones, por apoyar mis ideas y sobre todo por ser un gran ejemplo de ser humano, profesor e investigador.

A mis hijos por su comprensión, por ser fuente de inspiración, apoyo, por su complicidad. Al resto de mi familia, padres, hermanos por creer y apoyarme, por su ejemplo de tenacidad, persistencia y pasión por cosas bien hechas.

A mi cómplice, amigos, amigas y colegas por estar prestos a oír, aportar y, sobre todo, animar en los momentos de dificultad.

Al profesor Angelo Conrado Loula por su apoyo en la adecuación y orientaciones para el uso del videojuego Calangos.

Al Programa de posgrado en Enseñanza, en Enseñanza, Filosofía e Historia de las Ciencias, Universidad Federal de Bahía, Universidad Estatal de Feira de Santana que me acogió y ofreció espacios de formación significativos.

A los profesores, estudiantes e instituciones educativas que aportaron y participaron en el estudio.

A las profesoras Nusa de Almeida Silveira y Rosaria Justi por sus contribuciones en la consolidación de la investigación.

A los demás evaluadores que siempre estuvieron dispuestos a cooperar en el proceso, presentaron aportes y orientaciones para fortalecer el trabajo.

A la Organización de los Estados Americanos (OEA) y el Grupo Coimbra de Universidades Brasileiras por el apoyo económico para el desarrollo del doctorado y la oportunidad para cualificarme.

Resumen

Hacer razonamientos sobre sistemas y entender mecanismos individuales que son parte de fenómenos globales es una dificultad frecuente en la enseñanza y aprendizaje de la biología. Para los estudiantes resulta difícil comprender fenómenos como la homeostasis porque varios mecanismos y submecanismos implicados no son percibidos mediante la observación de sus manifestaciones y los atributos en el exterior de los organismos vivos o involucran una apreciación dinámica. En relación con la regulación de la temperatura, los estudiantes identifican las consecuencias y respuestas ante la pérdida de la estabilidad, pero ignoran los procesos fisiológicos que producen el fenómeno. En ese sentido, considerando que un principio importante en la enseñanza y aprendizaje de la biología se refiere al reconocimiento de que, en ella, las estructuras y los procesos en los diversos niveles de organización, a menudo, se estudian y explican mediante modelos, conviene abordar la termorregulación como un modelo de mecanismo. Bajo esas consideraciones, desarrollamos una investigación de diseño educacional (*educational design research*) que se trata de un estudio sistemático de diseño, desarrollo, evaluación y mantenimiento de una intervención educativa. Tuvo como objetivo identificar y perfeccionar principios de diseño de una secuencia que, apoyada en el videojuego Calangos, pueda plantear elementos o condiciones favorables para que los estudiantes de noveno grado de educación básica secundaria comprendan la regulación de la temperatura en animales vertebrados terrestres como un mecanismo homeostático en el que participan de manera conjunta y coordinada varios órganos, sistemas, fenómenos físicos y comportamientos. Incluimos en la secuencia el videojuego Calangos porque es pertinente en el desarrollo de actividades de modelización, en vista de que se han reportado resultados favorables a partir de su uso en la enseñanza y el aprendizaje de termorregulación y porque sus características son consistentes con objetivos de aprendizaje centrados en el desarrollo de habilidades propias de la actividad científica. Elaboramos dos prototipos de la secuencia didáctica compuesta por nueve actividades (dos apoyadas en Calangos), los cuales fueron evaluados en dos ciclos de implementación que permitieron definir y consolidar ocho principios de diseño para una intervención educativa que tenga como objetivo: la elaboración de modelos sobre termorregulación en vertebrados terrestres desde una visión del fenómeno como un mecanismo homeostático, para, a partir de ello, promover habilidades para la actividad científica. Los principios son presentados en sus aspectos sustantivos y procedimentales, se centran en: a) Presentar explicaciones sobre aspectos centrales de un mecanismo biológico y cómo los científicos elaboran modelos de ellos. b) Abordar termorregulación en conexión con la homeóstasis. c) Seguir las etapas centrales del proceso de modelización propuestas por Justi (2006), y, d). Usar el videojuego Calangos como contexto para que los estudiantes puedan hacer observaciones básicas del fenómeno y desarrollar actividades experimentales para testear el modelo.

Palabras-clave: termorregulación, homeóstasis, modelización, videojuegos educativos, videojuego Calangos, mecanismos biológicos.

Resumo

Raciocinar sobre sistemas e entender mecanismos individuais que são parte de fenômenos globais é uma dificuldade frequente no ensino e aprendizagem da biologia. Para os estudantes, é difícil entender fenômenos como homeostase, porque vários mecanismos e submecanismos envolvidos não são percebidos pela observação de suas manifestações e atributos do lado de fora dos organismos vivos ou envolvem uma apreciação dinâmica. Em relação à regulação da temperatura, os alunos identificam as consequências e respostas à perda de estabilidade, mas ignoram os processos fisiológicos que produzem o fenômeno. Neste sentido, considerando que um princípio importante no ensino e aprendizagem da biologia refere-se ao reconhecimento de que, nela, as estruturas e processos nos vários níveis de organização são frequentemente estudados e explicados através de modelos, é conveniente abordar a termorregulação como um modelo de mecanismo. Neste contexto, realizamos uma pesquisa de design educacional (*educational design research*) que é um estudo sistemático de design, desenvolvimento, avaliação e manutenção de uma intervenção educativa. Seu objetivo era identificar e aperfeiçoar princípios de design de uma sequência, que inclui o jogo eletrônico Calangos em suas atividades, e possa levantar elementos ou condições favoráveis para que alunos do último ano do ensino fundamental compreendam regulação da temperatura em animais vertebrados terrestres como um mecanismo homeostático no qual vários órgãos, sistemas, fenômenos físicos e comportamentos participam de maneira coordenada e conjunta. Incluímos o jogo eletrônico Calangos pois é relevante no desenvolvimento de atividades de modelagem, tendo em vista os resultados favoráveis na aprendizagem da termorregulação e porque suas características são consistentes com os objetivos de aprendizagem focados no desenvolvimento de habilidades específicas para a atividade científica. Desenvolvemos dois protótipos da sequência didática que possui nove atividades (duas incluem o jogo eletrônico Calangos). A sequência foi avaliada em dois ciclos de intervenção onde definimos e consolidamos oito princípios de design para uma intervenção educacional que visa: o desenvolvimento de modelos de termorregulação em vertebrados terrestres a partir de uma visão do fenômeno como mecanismo homeostático, para, a partir daí, promover habilidades para a atividade científica. Os princípios são apresentados em seus aspectos substantivos e procedimentais. Eles estão focados em: a) Apresentar explicações sobre os aspectos centrais de um mecanismo biológico e como os cientistas elaboram modelos deles. b) Abordar a termorregulação em relação à homeostase. c) Acompanhar os estágios centrais do processo de modelagem proposto por Justi (2006) e, d). Usar o jogo eletrônico Calangos como um contexto para que os alunos possam fazer observações básicas do fenômeno e desenvolver atividades experimentais para testar o modelo.

Palavras-chave: termorregulação, homeostase, modelagem, jogos eletrônicos educativos, Calangos, mecanismos biológicos.

Abstract

Making reasoning about systems and understanding individual mechanisms that are part of global phenomena is a frequent difficulty in the teaching and learning of biology. For students it is difficult to understand phenomena such as homeostasis because several mechanisms and sub-mechanisms involved are not perceived by observing their manifestations and attributes on the outside of living organisms or involve a dynamic appreciation. In relation to the regulation of temperature, students identify the consequences and responses to the loss of stability, but ignore the physiological processes that produce the phenomenon. In this sense, considering that an important principle in the teaching and learning of biology refers to the recognition that, in it, the structures and processes in the various levels of organization are often studied and explained through models, it is convenient study thermoregulation as a mechanism model. Under these considerations, we developed an educational design research that is a systematic study of design, development, evaluation and maintenance of an educational intervention. Its objective was to identify and refine the design principles of a sequence that, based on the Calangos videogame, could propose favorable elements or conditions so that the ninth grade students of secondary basic education understand the regulation of temperature in terrestrial vertebrate animals as a homeostatic mechanism in which several organs, systems, physical phenomena and behaviors participate in a coordinated and joint manner. We include the videogame Calangos in the sequence because it is relevant in the development of modeling activities, given that favorable results have been reported from its use in the teaching and learning of thermoregulation and because its characteristics are consistent with learning objectives focused on the development of skills specific to scientific activity. We developed two prototypes of the didactic sequence composed of nine activities (two supported in Calangos). The prototypes of sequence were evaluated in two implementation cycles that allowed to define and consolidate eight design principles for an educational intervention that aims to: the development of models on thermoregulation in terrestrial vertebrates from a vision of the phenomenon as a homeostatic mechanism, to, from this, promote skills for scientific activity. The principles are presented in their substantive and procedural aspects, focusing on: a) Presenting explanations about central aspects of a biological mechanism and how scientists elaborate models of them. b) Understand thermoregulation in connection with homeostasis. c) Follow the central stages of the modeling process proposed by Justi (2006), and, d). Use the video game Calangos as a context so that students can make basic observations of the phenomenon and develop experimental activities to test the model.

Key words: thermoregulation, homeostasis, modeling, serious games, Calangos video game, biological mechanisms.

Lista de figuras

Figura 1. Modelo integrado de termorregulación propuesto por Kuht y Farmery (2014)	35
Figura 2. Representación de interacción entre sistemas para alcanzar la homeóstasis.	42
Figura 3. Representación simplificada de un sistema de regulación homeostático centrado en la regulación de la temperatura.	49
Figura 4. Modelo didáctico del mecanismo de termorregulación en vertebrados terrestres.	48
Figura 5. Diagrama del proceso de elaboración de modelos (tomado de Justi, 2006; Justi y Gilbert, 2016).	63
Figura 6. Interfaz gráfica de usuario del videojuego Calangos.	76
Figura 7. Gráficas de dispersión generadas por el videojuego Calangos.	77
Figura 8. Diseño general de la metodología de la investigación.	83
Figura 9. Ejemplo modelo de los estudiantes sobre termorregulación en vertebrados previos a la implementación de la secuencia.	130
Figura 10. Imágenes utilizadas en libros universitarios (a) y en libros didácticos para básica secundaria (b) para ilustrar la termorregulación en animales.	152
Figura 11. Modelo sobre termorregulación en vertebrados expresado por uno de los grupos de estudiantes en la actividad “expresar un modelo mental”.	156
Figura 12. Ejemplos de modelos expresados por los estudiantes luego de la implementación de la secuencia.	180
Figura 13. Ejemplos de diagramas elaborados antes de la implementación del segundo prototipo la secuencia.	204
Figura 14. Diagrama elaborado por los estudiantes N110AF y N119AF en la actividad 7 del segundo prototipo.	207
Figura 15. Ejemplo de modelos tipo dibujo, elaborados por los estudiantes antes de implementar el segundo prototipo de la secuencia y en la actividad 7.	209

Figura 16. Ejemplo de modelos tipo dibujo que incluyen textos. Producidos antes de implementar el segundo prototipo de la secuencia la secuencia y en actividad 7.	209
Figura 17. Representaciones no coherentes con el objetivo del modelo.	209
Figura 18. Modelos en los que se hace explícita una referencia a la homeóstasis.	210
Figura 19. Esquema sobre aspectos básicos para comprender un mecanismo.	216
Figura 20. Esquema sobre aspectos básicos de un mecanismo explicado desde el ejemplo de la trampa de ratones propuesta por Craver y Betchel (2006).	217

Lista de tablas

Tabla 1. Aspectos sobre termorregulación citados en los libros de texto analizados.....	44
Tabla 2. Organización de componentes y actividades de un mecanismo para termorregulación en vertebrados terrestres.	47
Tabla 3. Habilidades relacionadas con cada etapa de modelización	66
Tabla 4. Etapas de implementación del primer prototipo de la secuencia.	94
Tabla 5. Etapas y actividades en el proceso de implementación del segundo prototipo de la secuencia.	96
Tabla 6. Relación entre las preguntas, instrumentos y métodos de análisis de la información recolectada.	100
Tabla 7. Matriz de análisis de modelos.	105
Tabla 8. Habilidades analizadas en el proceso de modelización y criterios de análisis empleados.....	101
Tabla 9. Criterios de justificación a priori de la secuencia didáctica	109
Tabla 10. Objetivos de la secuencia y su alcance de enseñanza y aprendizaje.	110
Tabla 11. Aspectos sustantivos y procedimentales de los principios de diseño.	116
Tabla 12. Etapas y actividades del primer prototipo de la secuencia.....	117
Tabla 13. Categorización de las definiciones de modelo presentadas por los estudiantes.	123
Tabla 14. Categorías de definición de termorregulación.	124
Tabla 15. Matriz de análisis de modelos previos.	128
Tabla 16. Comentarios registrados por los estudiantes en la actividad exploración de conceptos.....	136
Tabla 17. Explicaciones sobre la gráfica presentada en la actividad exploración de conceptos.....	139
Tabla 18. Elementos observados por los estudiantes en la interfaz del videojuego Calangos que, influyen en la regulación de la temperatura del lagarto..	140
Tabla 19. Situaciones del videojuego en las que los estudiantes evidencian pérdida y ganancia de energía térmica del lagarto a través de vías físicas.	142
Tabla 20. Observaciones de los estudiantes sobre las estrategias que puede desarrollar el lagarto en el videojuego Calangos para termorregular.....	142

Tabla 21. Niveles de análisis de gráficas manifestados por los estudiantes a partir de la revisión de las gráficas generadas por el videojuego Calangos.....	145
Tabla 22. Análisis de habilidades para identificar propiedades del fenómeno relevantes para la construcción del modelo.	150
Tabla 23. Matriz de análisis de modelos mentales consensuados expresados	153
Tabla 24. Habilidad para integrar ideas y datos previos en los modelos expresados. .	157
Tabla 25. Habilidad para formular preguntas hipotéticas que permitan evaluar el modelo.	160
Tabla 26. Fortalezas identificadas por los estudiantes en los modelos.	162
Tabla 27. Consideraciones de los estudiantes sobre los ajustes que deben hacer al modelo.	163
Tabla 28. Habilidad para planear experimentos adecuados	165
Tabla 29. Análisis de la participación en las diferentes acciones y cuestiones propuestas en la actividad ejecutar experimentos.....	167
Tabla 30. Habilidad para recolectar datos..	168
Tabla 31. Habilidad para representar datos..	169
Tabla 32. Modelos ajustados y socializados con todo el grupo de clase.	171
Tabla 33. Análisis de juicios emitidos por los grupos sobre los ajustes al modelo socializado.	173
Tabla 34. Percepción de los estudiantes sobre las actividades de la secuencia.	174
Tabla 35. Sugerencias hechas por los estudiantes sobre la secuencia.	175
Tabla 36. Matriz análisis general de los modelos elaborados individualmente después de implementar la secuencia.	177
Tabla 37. Síntesis de los principales logros de aprendizaje y habilidades evidenciados en cada actividad de la secuencia.	183
Tabla 38. Síntesis de resultados en relación con las habilidades manifestadas.	186
Tabla 39. Aspectos sustantivos y procedimentales de los principios de diseño para el segundo prototipo en relación con los objetivos de la secuencia.	198
Tabla 40. Actividades del segundo prototipo.	202
Tabla 41. Matriz de análisis parcial de los modelos expresados en el segundo ciclo..	205

Tabla de contenido

INTRODUCCIÓN	16
CAPÍTULO I: PROBLEMA Y OBJETIVO	20
1.1. Termorregulación, mecanismo homeostático no explícito	20
1.2. Modelos y modelización: modelos de mecanismos.	25
1.3. El videojuego Calangos	27
CAPÍTULO II. REFERENTES TEÓRICOS Y METODOLÓGICOS	31
1. Termorregulación en animales vertebrados terrestres	31
1.1. Termorregulación en la literatura en didáctica de las Ciencias Naturales, en las recomendaciones curriculares y en los libros de texto.....	36
1. 2. Termorregulación como mecanismo de regulación homeostática.....	45
2. Modelos de mecanismos y modelización	54
2.1. Modelos de mecanismos	54
2.2. Modelos de mecanismos y modelización	61
2.3. Videojuegos educativos y Calangos como recurso para modelización	66
3. La investigación de diseño como referencial metodológico	78
CAPÍTULO III. METODOLOGÍA	83
1. Investigación preliminar:	83
2. Fase de prototipado:	88
2.1 Contexto de aplicación de la secuencia y participantes:	88
2.2. Implementación de la secuencia.	93
2.3. Recolecta de datos	97
3. Fase de evaluación.	99
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y ANÁLISIS	107
1. Primer ciclo. Prototipo 1:	107
1.1. Criterios de justificación y objetivos del primer prototipo de la secuencia.	107
1.2. Principios de diseño del primer prototipo de la secuencia:	111
1.3. Actividades de la secuencia:	117
1.4. Resultados de la implementación del primer prototipo de la secuencia:	122
1.5. Evaluación del primer prototipo.....	173
1.6. Consideraciones finales sobre el primer ciclo de la implementación de la secuencia didáctica:.....	194

2. Segundo ciclo. Prototipo 2:	197
2.1 Principios de diseño y actividades:.....	197
2.3. Resultados parciales sobre la implementación del segundo prototipo:.....	203
CONSIDERACIONES FINALES	214
BIBLIOGRAFÍA	219
ANEXOS	235
ANEXO 1. Cuestionario en el aplicativo google drive® mediante el cual se consultó a los docentes sobre la enseñanza de termorregulación	235
ANEXO 2. Autorización rector y término de consentimiento de participación libre y voluntario de padres y estudiantes.	236
ANEXO 3. Cuestionario sobre modelos y termoregulación en animales previo a la implementación de la secuencia	238
ANEXO 4. Cuestionario aplicado luego de implementar el primer prototipo de la secuencia .	239
ANEXO 5. Actividades del primer prototipo de la secuencia.....	240
ANEXO 6. Segundo prototipo de la secuencia.....	249

INTRODUCCIÓN

Algunas ideas consolidadas en la presente investigación fueron gestadas en mi proyecto de grado de pregrado (Licenciatura en Biología y Química), fortalecidas en mi desempeño como profesora de Ciencias Naturales en educación Básica Secundaria y mediante el desarrollo de mi tesis de maestría. En el primer caso, mediante el estudio de una comunidad de lagartos en un ecosistema seco y la participación de algunos niños de las escuelas de la zona en actividades didácticas sobre el conocimiento de las especies identificadas, reconocí la necesidad de fortalecer contextos de enseñanza y aprendizaje que permitieran explicaciones para un fenómeno desde diferentes disciplinas científicas. Así en el ejercicio como docente y ante las propuestas del Ministerio de Educación Nacional sobre una enseñanza integradora de las Ciencias Naturales, fundamenté la idea de estructurar una propuesta que atendiera estas perspectivas a la vez que me permitiera articular en un solo estudio las temáticas que más llaman mi atención: la investigación sobre la ecología de los lagartos y una enseñanza que permita a los estudiantes motivarse a aprender ciencias, promover diversas habilidades para la actividad científica y desarrollar pensamiento sistémico.

En la tesis de maestría centrada en caracterizar modelos sobre termorregulación en lagartos elaborados por profesores de ciencias en formación se generaron varias preguntas e ideas que fueron perfiladas, refinadas en los diferentes seminarios desarrollados en mi formación doctoral y de las observaciones sobre las propuestas curriculares en Colombia, la participación en diversos eventos académicos y mi ejercicio como docente.

La idea inicial era la desarrollar una propuesta interdisciplinar que abordara cuestiones relacionadas con el concepto de temperatura y energía térmica, que luego retorno al concepto de termorregulación. Así mediante la revisión del concepto logré identificar que podía ser estudiado desde la perspectiva de mecanismo y con ello, la modelización tomo fuerza y se consolido como la mejor herramienta para hacer objeto de trabajo el concepto en el aula.

Otro de los elementos que integra esta tesis, el videojuego Calangos, llamó mi atención no sólo por su estrecha relación con la ecología de los lagartos sino porque, con el auge de los videojuegos en el contexto educativo, surgieron varias preguntas en relación con su influencia en el aprendizaje. Realmente, suponía que los videojuegos apenas lograban generar cierta adicción y unas pocas habilidades pero desconocía todas las oportunidades de aprendizaje asociadas a su ejecución. Así que, Calangos se convirtió en la otra pieza de esta propuesta que puede parecer muy ambiciosa pero que ha mostrado ser fructífera en cuanto a los aprendizajes, diversidad de espacios que fortalecen varias habilidades en los estudiantes.

La modelización o elaboración de modelos es una actividad fundamental en la ciencia y en la enseñanza de la misma; permite a los alumnos desarrollar argumentos acerca del poder explicativo de un modelo, cómo podría ser revisado, ampliado y mejorado en función de los objetivos para los cuales fue propuesto (SVOBODA & PASSMORE 2013) y desde una perspectiva meta científica permite también comprender el papel y la naturaleza de los modelos.

En Biología, gran parte de los fenómenos también son explicados usando modelos (LEE & KIM 2014) y muchos de los modelos desarrollados son modelos de mecanismos, asumidos en el presente estudio como un sistema complejo que produce un comportamiento o fenómeno determinado, por la interacción de un sin número de partes (GLENNAN 2005) Así por ejemplo, termorregulación explicada en términos de mecanismo, es un fenómeno que permite a los organismos termorreguladores mantener su temperatura corporal interna entre rangos de tolerancia o desempeño apropiados y específicos para cada especie por vías físicas, comportamientos y la acción conjunta de varios sistemas.

En consecuencia, desde el punto de vista didáctico conviene asumirla como un mecanismo homeostático asociado con otros conceptos fundamentales (energía térmica, temperatura, metabolismo) y fundamentar su enseñanza mediante el desarrollo de actividades de modelización para favorecer una visión integral de los fenómenos involucrados.

En este estudio investigamos sobre las características de una secuencia didáctica basada en actividades de modelización apoyadas en el videojuego Calangos (Disponible en inglés, español y portugués en <http://Calangos.sourceforge.net/>), que implementa un modelo computacional de un ecosistema real de dunas de arena ubicadas en el bioma semiárido Caatinga en Brasil y tiene por objetivo el que un lagarto (el jugador puede elegir una de las tres especies de lagartos endémicos de ese ecosistema *Tropidurus psammonastes*, *Cnemidophorus sp. nov.* y *Eurolophosaurus divaricatus*) consiga sobrevivir, desarrollarse y reproducirse.

Calangos ha evidenciado resultados favorables en el aprendizaje de termorregulación (LOULA et al. 2014) y presenta cuatro características consistentes con el proceso de elaboración de modelos: 1. Modela una situación ecológica real lo cual permite tener una aproximación cercana al fenómeno que será modelado. 2. La condición ectotérmica del protagonista facilita evidenciar mecanismos termorreguladores. 3. Presenta indicadores de estado (temperatura interna, nutrición, hidratación del lagarto; temperatura del suelo, humedad del aire, edad del animal), permiten identificar factores que influyen en el comportamiento del animal. 4. Genera gráficas de dispersión que relacionan variables descriptoras del comportamiento del animal en el tiempo pasado del juego, tornando posible analizar y mejorar la estrategia de juego.

Suponemos así que Calangos provee un contexto favorable para el aprendizaje de termorregulación en animales basado en la modelización, y mediante este proceso, los estudiantes podrán superar visiones fragmentadas de los sistemas biológicos y aproximarse a la actividad científica de manera que aprendan de y sobre la ciencia.

Bajo esas consideraciones, la investigación que detalla el presente documento, es una investigación de diseño educacional (*educational design research*) que se trata de un estudio sistemático de diseño, desarrollo, evaluación y mantenimiento de una intervención educativa. Nuestra investigación tuvo como objetivo identificar y perfeccionar principios de diseño de una secuencia que pueda

plantear elementos o condiciones favorables para que los estudiantes de noveno grado de educación básica secundaria comprendan la regulación de la temperatura en animales vertebrados terrestres como un mecanismo homeostático en el que participan de manera conjunta y coordinada varios órganos, sistemas, fenómenos físicos y comportamientos.

El presente documento se estructura en seis capítulos: el capítulo I, titulado problema y objetivo, discute sobre termorregulación, la elaboración de modelos y el videojuego Calangos como elementos que se integran y consolidan una problemática en el contexto de la didáctica de las Ciencias Naturales. El Capítulo II, Referentes teóricos, presenta resultados de una revisión sobre tratamiento que hacen algunos libros de texto, la literatura educativa y las orientaciones curriculares oficiales de Colombia sobre termorregulación en animales. Discute también sobre termorregulación como mecanismo homeostático y presenta un modelo didáctico para la enseñanza del concepto.

El capítulo III. Metodología, detalla sobre las etapas seguidas en la investigación: 1. Investigación preliminar: necesidades y análisis de contenido, revisión de la literatura, desarrollo de un marco conceptual. 2. Fase de prototipado que comprendió dos ciclos de diseño e implementación de la secuencia y, 3. Fase de evaluación retrospectiva.

En el capítulo IV. Resultados y discusión, describimos y analizamos resultados derivados de cada una de las etapas así: primero los criterios de justificación, principios de diseño, objetivos y primer prototipo de la secuencia, luego, los resultados de la implementación de dicho prototipo y la evaluación. Fundamentado en ello planteamos nuevos principios de diseño, el segundo prototipo de la secuencia didáctica y resultados parciales de la implementación del segundo prototipo. A partir de ello, como apartado final, presentamos las consideraciones finales.

CAPÍTULO I: PROBLEMA Y OBJETIVO

En el problema de la investigación se integran tres elementos: 1) El concepto de termorregulación como fenómeno que posibilita la integración de otras temáticas de química, física y la misma biología como energía térmica, metabolismo, adaptaciones, sistemas de órganos y explicaciones desde la perspectiva de los mecanismos, que contribuyen con la comprensión de la homeóstasis y el fortalecimiento de visiones sistémicas en el aprendizaje de la biología; 2) La elaboración de modelos o modelización, como proceso propio de la actividad científica a través del cual los estudiantes aprenden de y sobre ciencia y, 3) el videojuego educativo Calangos diseñado por investigadores de la Universidad Federal de Bahía (UFBA), Estatal de Feira de Santana (UEFS) y Mackenzie que simula un contexto ecológico real de dunas de arena ubicada en el bioma Caatinga en Brasil. El juego no hace una exposición directa de contenidos sino que involucra al jugador (estudiante) en una situación ecológica auténtica, en la que actúa como un lagarto macho que debe sobrevivir, desarrollarse y reproducirse. Así, el estudiante podrá observar diferentes atributos de termorregulación que son básicos en la elaboración de modelos de este fenómeno.

Desde esa perspectiva, a continuación describimos problemáticas específicas de cada elemento que finalmente se integrarán consolidando el problema de la investigación.

1.1 Termorregulación, mecanismo homeostático no explícito

Superar visiones aisladas y fragmentadas de fenómenos biológicos para promover una comprensión integral de los mismos (CASTRO & VALBUENA, 2007; VERHOEFF et al., 2008), coherente con perspectivas sistémicas (SVOBODA &

PASSMORE, 2013), es uno de los desafíos en el aprendizaje de la biología dado que con frecuencia, los estudiantes presentan dificultad para hacer razonamientos sobre sistemas (TRUJILLO et al. 2015) y entender los mecanismos individuales que son parte de fenómenos globales.

Existe tendencia a explicar los fenómenos complejos como una serie de fenómenos no relacionados que comparten algunos principios subyacentes (MODELL 2000), mediante reglas simples o como fenómenos simples, apelando al razonamiento causal lineal como si se tratara de cadenas secuenciales de causas y efectos cuando se trata patrones sistémicos, de relaciones causales más intrincadas, es decir, una causalidad compleja (GROTZER 2003).

Para los estudiantes resulta difícil comprender fenómenos como la homeostasis porque, además de las limitaciones citadas, varios mecanismos y submecanismos implicados no son percibidos mediante la observación de sus manifestaciones y los atributos en el exterior de los organismos vivos o involucran una apreciación dinámica (JUNGWIRTH & DREYFUS, 1992; WESTBROOK & MAREK, 1992; ASSARAF et al. 2013) e interdisciplinaria (ÇIMER 2012). Particularmente, en la regulación de la temperatura, los estudiantes identifican las consecuencias y respuestas ante la pérdida de la estabilidad, es decir, la razón próxima que conduce al cambio, pero ignoran los procesos fisiológicos que producen el fenómeno (BUDDING 1996; ASSARAF et al. 2013)

Desde esa perspectiva, termorregulación constituye un concepto de gran interés didáctico en la educación básica secundaria como contexto para explicar la homeóstasis y establecer relaciones con conceptos definidos en el currículo de la educación básica en Colombia (MEN estándares básicos de competencia) y en otros países (NCR 2009) como fundamentales en el aprendizaje de las Ciencias Naturales (adaptación, evolución, mecanismos de intercambio de energía, calor, temperatura etc.)

Pese a lo anterior, en el contexto de la educación básica de Colombia su enseñanza no es explícita y se centra en la simple mención del término sin coherencia o conexión didáctica lógica como evidenciamos mediante consulta a

través de un cuestionario resuelto por 16 profesores de Ciencias Naturales de básica secundaria en 11 municipios de Colombia. Cuatro de ellos (25%) no hacen objeto de enseñanza el concepto mientras que los demás apenas citan ejemplos de animales ectotermos y endotermos en los diferentes grados, según el tema que traten: respiración, circulación, adaptaciones, evolución, homeóstasis, sistema nervioso o flujo de energía en los ecosistemas(DAZA et al. 2015). Según, Modell et al. (2015), esta situación también se presenta en el nivel universitario, en los Estados Unidos, donde termorregulación a menudo es tratado con superficialidad en la mayoría de los cursos básicos de fisiología para medicina, biología o carreras afines.

En los libros de texto reportados por los profesores consultados como los más utilizados (ÁRBELAEZ et. al., 2004; CARRILLO et. al., 2010; RODRIGUEZ et. al., 2013; LÓPEZ et. al., 2013) evidenciamos que la termorregulación en animales es tratada solamente de modo superficial, en conexión con contenidos sobre evolución y funciones (DAZA & EL HANI en preparación) Dificultades similares asociadas al concepto de homeóstasis, han sido encontradas también en textos de fisiología. Por ejemplo, para Modell et al. (2015), las explicaciones presentadas en cerca de 11 textos universitarios utilizados en los Estados Unidos no citan de forma coherente términos relacionados con la regulación homeostática. Varios textos no utilizan representaciones visuales coherentes con el concepto y la explicación del concepto a menudo entra en conflicto con el conocimiento actual de los mecanismos reguladores homeostáticos.

A lo anterior se suma la escasez de investigaciones sobre termorregulación en animales en el contexto educativo. En la literatura sobre didáctica de las ciencias disponible en las bases de datos ERIC, Scielo, Redalyc, Dialnet, Latindex e Google Acadêmico®, consultadas hasta 29 de marzo de 2018, empleando los términos 'thermoregulation', 'temperature regulation', "thermal regulation", 'termorregulación', 'regulación de la temperatura', 'termorregulação', 'regulação da temperatura', 'homeostasis' 'homeóstasis' y 'homeostase', se encontraron 20 artículos con una perspectiva didáctica; 11 que tratan el concepto de termorregulación (STEVENSON

1979; KINGSBURY 1999; CLOPTON, 2007; DIBLEY & PARISH 2007; HIEBERT & NOVERAL, 2007; BARAK et al. 2010; DAZA-PÉREZ & PÉREZ-MIRANDA, 2011; MULLIGAN et al. 2011; REINARTZ-ESTRADA 2012; DEAN, BRESLIN & ROSS, 2014; TANSEY, ROE & JOHNSON, 2014) y 9 se centran en la homeóstasis (MODELL, 2000; CHANG 2007; GALVAO 2009; ASSARAF et al. 2013; WESTBROOK & MAREK, 1992; MODELL et al., 2015; CHABALENGULA 2016; MCFARLAND et al. 2016; MCFARLAND et al. 2017).

Entre los artículos que se refieren directamente a termorregulación, dos publicaciones se centran en la enseñanza media y abordan termorregulación desde la homeóstasis. Dibley y Parish (2007) describen una experiencia sobre el uso de un videojuego llamado *control de la criatura: la búsqueda de la homeóstasis*, concluyendo de manera general que el uso del juego en el aula motivó y facilitó el aprendizaje de la termorregulación. Buddingh (1993), indagó por el conocimiento de los estudiantes sobre homeóstasis y regulación, mostrando que ellos consideran que la constancia de la temperatura corporal es dada por el cuerpo, que un cambio en la temperatura corporal es una patología o se asocia con fiebre. Ninguno se refirió a partes internas o procesos del cuerpo involucrados en la regulación de la temperatura.

Para Buddingh las ideas de los estudiantes comprenden solo fenómenos externos y por tanto, la constancia de la temperatura corporal se atribuye al cuerpo como un todo. Además, el desconocimiento de la producción continua de calor en los animales, causada por el metabolismo celular, implica que no reconocen la regulación de la temperatura como un proceso continuo y, el uso persistente de los términos 'sangre caliente' y 'sangre fría', obstaculiza razonamientos sobre termorregulación como estrategia de supervivencia.

Otros estudios focalizados en la educación superior señalan limitaciones para los modelos puramente físicos de equilibrio térmico en los animales (STEVENSON 1979) o dificultades para elaborar explicaciones que trasciendan el sentido común e involucren abordajes integrales (DAZA-PÉREZ & PÉREZ-MIRANDA, 2011) También proponen actividades para el aprendizaje de diferentes aspectos de la

termorregulación basadas en la experimentación y un abordaje que promueva visiones sistémicas a la vez que se fortalecen habilidades como la toma, organización y análisis de datos (DEAN, BRESLIN & ROSS, 2014); plantean objetivos de aprendizaje específicos para la educación superior, como examinar valores de tolerancia térmica o puntos de referencia para definir el gradiente térmico y estimar la temperatura corporal en lagartos (KINGSBURY 1999), analizar la relación entre metabolismo y temperatura, consumo de oxígeno y tasa metabólica en endotermos y ectotermos (HIEBERT & NOVERAL, 2007) o describir la función de los nervios simpáticos vasoconstrictores en la regulación del flujo sanguíneo de la piel (TANSEY, ROE & JOHNSON, 2014).

También se proponen actividades como observar el efecto de la temperatura sobre el tiempo de viaje de hormigas en una distancia determinada para que los estudiantes recolecten datos, los organicen y analicen diferentes velocidades en función de la temperatura (CLOPTON, 2007). Otros trabajos que han estudiado termorregulación desde la homeóstasis reconocen a esta como una propiedad de los sistemas biológicos y han reportado varias dificultades en su comprensión y en el tratamiento en libros de texto y enseñanza (MODELL et al. 2015)

Esta revisión muestra la importancia de abordajes integradores, así como de la inclusión de situaciones problema y actividades propias del quehacer científico como elementos básicos para superar concepciones de sentido común y entender la interrelación entre la temperatura y las diferentes actividades desarrolladas por los animales.

De la revisión de literatura podemos concluir que es necesario fortalecer la investigación a nivel de básica secundaria sobre propuestas de enseñanza que favorezcan la comprensión del concepto de termorregulación, en conexión con la homeóstasis, reconociendo el mismo como un fenómeno producido por la interacción de diferentes entes y acciones.

Por lo anterior, en este estudio se reconoce como punto de partida la estructuración de un referente teórico sobre termorregulación coherente con las temáticas definidas en los lineamientos curriculares a nivel de la educación básica

secundaria para proponer una secuencia didáctica con objetivos de aprendizaje centrados en la comprensión del fenómeno desde una perspectiva sistémica que tome distancia de la causalidad lineal, a la vez que posibilita el establecimiento de conexiones con temáticas de otras disciplinas. Más allá de generar un recurso didáctico, se requiere identificar qué principios han de ser tenidos en cuenta en el diseño de este tipo de materiales para alcanzar los objetivos de aprendizaje mencionados.

1.2. Modelos y modelización: modelos de mecanismos.

Los conceptos fisiológicos como termorregulación han de ser abordados atendiendo a los niveles de complejidad que caracteriza este tipo de fenómeno, a las interrelaciones entre órganos, sistemas de órganos etc., así como a la conexión con otros fenómenos. Esto incluye la identificación de relaciones causales que van más allá de la descripción de acciones o estructuras involucradas.

En consecuencia, conviene abordar la termorregulación como un modelo de mecanismo, de manera que se propicien espacios de razonamiento básicos a nivel de relaciones causales entre entidades fisiológicas (MICHAEL & ROVICK, 1999; EVENS & MICHAEL, 2006), posibilitando la descripción del fenómeno en términos de los componentes involucrados, las actividades y la forma en que se organizan esos componentes y actividades.

Los estudiantes en diferentes niveles educativos presentan dificultades para explicar mecanismos biológicos (TRUJILLO et al. 2016); usan estructuras primitivas (fenomenológicas) de conocimiento básico para construir espontáneamente explicaciones más elaboradas, no están familiarizados con la distinción entre explicaciones mecanísticas y causales; generalmente acuden a explicaciones centradas en el por qué ocurren los fenómenos biológicos, desconociendo explicaciones sobre cómo ocurren los fenómenos (ABRAMS et al. 2001)

BARAK et al. (1999) señalan que comprender, representar y explicar

interrelaciones dentro y entre entidades es una dificultad para los estudiantes. Sus explicaciones se centran en descripciones o citas de aspectos macroscópicos. En el caso de la termorregulación, se atribuye la regulación de la temperatura corporal a las características fenomenológicas y concretas, como la piel o la grasa.

Así, un principio importante en la enseñanza y aprendizaje de la biología se refiere al reconocimiento de que, en esta ciencia, las estructuras y los procesos en los diversos niveles de organización, a menudo, se estudian y explican mediante modelos (TRUJILLO et al. 2015). Entre estos modelos, son muy utilizados en biología modelos de mecanismos¹ que son elaborados mediante una serie de actividades interconectadas.

Se trata de un proceso en el que, en una primera fase, los estudiantes deben tener claridad del objetivo para el cual van a construir el modelo, tener un conocimiento básico del fenómeno a modelar, esto es, identificar por lo menos componentes e interacciones relevantes. Para ello es importante conseguir información en diferentes fuentes o mediante trabajos prácticos y/o simulaciones, sobre todo cuando se modelan entidades abstractas que no son evidentes en situaciones ordinarias (GILBERT & JUSTI, 2016)

Estas acciones así como las demás actividades de modelización requieren una planeación, orientación y uso de recursos afines de manera que no se minimice la posibilidad de que los estudiantes se involucren en tareas propias de la práctica científica y así fortalezcan su conocimiento de la ciencia y sobre ella (BLANCO-ANAYA et al., 2017), a la vez que si promueven habilidades para comunicar ideas, observar, construir explicaciones, resolver problemas, analizar e interpretar datos (MAIA & JUSTI, 2009; GILBERT & JUSTI, 2016).

¹ De manera general un mecanismo es un sistema complejo, un conjunto de componentes que desempeñan funciones individuales y colectivas, organizadas e interrelacionadas para producir un fenómeno

1.3. El videojuego Calangos

Recursos como los videojuegos pueden ser un medio importante para la enseñanza y aprendizaje de conceptos científicos. Varios autores consideran que su uso orientado facilita procesos de aprendizaje, fortalece el pensamiento crítico, las habilidades para la toma de decisiones importantes, la colaboración, la resolución de problemas, y la comunicación (LARSEN et al. 2012, ARIFFIN et al. 2014). No obstante, ese potencial propuesto aún está siendo consolidado basado en evidencia empírica sobre su efectividad en el aprendizaje de conceptos científicos y el fortalecimiento de habilidades cognitivas (YOUNG et al. 2012; UNSWORTH et al. 2015).

También, se ha reportado que algunos videojuegos reflejan inconsistencias de diseño desde el punto de vista didáctico, en la medida en que, por ejemplo, solamente aíslan algunas temáticas para ser presentadas en entornos virtuales sin consistencia curricular lógica (LOULA et al. 2014) y usan como principal elemento motivador el estímulo-respuesta. Sumado a ello, la carencia de capacitación de los maestros y de materiales que orienten el uso de los videojuegos hace que los mismos se conviertan en un recurso menos aprovechado de lo que su potencial sugiere. Se requiere un uso orientado y contextualizado para que los estudiantes puedan promover habilidades científicas y desarrollar conocimientos específicos (ver segunda parte Capítulo 3).

En el caso particular de la termorregulación en animales, resulta pertinente emplear el videojuego Calangos en el desarrollo de actividades de modelización puesto que se han reportado resultados favorables a partir de su uso en la enseñanza y el aprendizaje de termorregulación (LOULA et al. 2014) y sus características son consistentes con objetivos de aprendizaje centrados en el desarrollo de habilidades propias de la actividad científica.

Calangos tiene características consistentes, desde el punto de vista didáctico, con el proceso de elaboración de modelos en el aula porque modela una situación ecológica real y la condición ectotérmica del protagonista, un lagarto

macho, facilita observar diferentes vías por las cuáles el animal puede perder o ganar energía térmica para termorregular. Los indicadores de estado² posibilitan identificar variables que influyen en el comportamiento del lagarto. Además, el juego también permite generar gráficas de dispersión que relacionan variables que describen el comportamiento del animal en el tiempo pasado del juego así el estudiante puede analizar su estrategia en función de esas variables y determine la mejor estrategia para alcanzar el objetivo del juego.

Entonces, Calangos tiene elementos pertinentes para el aprendizaje de termorregulación en animales basado en la modelización. Podemos suponer que utilizando el juego en una secuencia didáctica que sigue el proceso de modelización, los estudiantes podrían comprender aspectos básicos de termorregulación desde la construcción de modelos de mecanismos y aproximarse a los modos de proceder en ciencias para promover habilidades científicas.

La investigación sobre la enseñanza y aprendizaje sobre termorregulación utilizando el videojuego Calangos sigue los referentes de la investigación de diseño educacional (*educational design research*), que puede ser definida como: un proceso sistemático de análisis, diseño y evaluación de intervenciones en el contexto educativo que tiene como propósitos generar soluciones, basadas en la investigación, a problemas complejos en la práctica educativa, y avanzar en el conocimiento de las características de las intervenciones así como de los procesos de diseño y desarrollo (PLOMP 2013).

Se trata de un estudio de desarrollo, una modalidad de investigación de diseño que busca planear y desarrollar una intervención, en este caso una secuencia didáctica, e identificar aquellas características de la misma que son favorables en el proceso enseñanza y aprendizaje, en nuestro caso, sobre termorregulación en vertebrados terrestres por medio de la elaboración de modelos. Estas características son establecidas a partir de principios de diseño. Luego, la

² Los indicadores de estado son componentes gráficos de la interfaz de usuario que indican valores de variables ambientales como la temperatura del suelo, la humedad del aire, el paso del tiempo (día/noche). También informan sobre la temperatura interna del lagarto, nivel de energía, hidratación etc., mientras se ejecuta el juego.

pregunta de investigación fue: ¿Cuáles son los principios de diseño de una secuencia didáctica para la enseñanza y aprendizaje sobre termorregulación en animales vertebrados terrestres a través de la elaboración de modelos usando el videojuego Calangos?

Siendo una investigación de desarrollo, el objetivo se centró en identificar y perfeccionar principios de diseño de la secuencia y en describir elementos o condiciones favorables para que los estudiantes de noveno grado de educación básica secundaria elaboren modelos de termorregulación en vertebrados terrestres desde una visión de ese fenómeno como un mecanismo homeostático para que, a partir de ello, movilicen algunas habilidades propias de la actividad científica.

En la primera etapa (de investigación preliminar) analizamos la problemática ya discutida, los referentes teóricos y abordamos con los profesores cuestiones específicas como: ¿Qué aspectos del fenómeno han de ser abordados en la secuencia?; ¿En qué grado y momento de la planeación conviene abordar la temática?; ¿Qué conexiones pueden ser establecidas con otros conceptos?; ¿Cuáles son los componentes, estructura e interrelaciones de un modelo didáctico que aborde termorregulación como mecanismo homeostático?; ¿Qué características básicas debe seguir la secuencia? y, ¿Cómo y en qué actividades de la secuencia ha de emplearse el videojuego Calangos?. Desde reflexiones sobre estas cuestiones, emergieron principios de diseño (discutidos en el capítulo IV. Apartado 1.2) que fueron estudiados en dos ciclos de implementación (Etapa de prototipado).

En consecuencia, mediante un análisis guiado por las siguientes preguntas se buscó identificar qué otras características que emergieran en el trabajo de aula favorecerían el objetivo de la secuencia, así como los logros o limitaciones en términos de aprendizaje y/o de implementación de los principios propuestos. Las preguntas fueron:

1. ¿Cuáles actividades contribuyen con los objetivos de la secuencia?
2. ¿Qué dificultades en relación con la enseñanza son observadas durante la implementación de la secuencia?

3. ¿Cuáles son las características de los modelos construidos por los estudiantes?, y entre ellas, ¿Cuáles evidencian una comprensión de la termorregulación como mecanismo homeostático?, ¿Cuáles son consistentes con visiones integrales de los fenómenos biológicos?

4. ¿Qué habilidades asociadas con la elaboración de modelos son manifestadas?

5. ¿Qué niveles de análisis de gráficas son expresados?

7. ¿Qué indicaciones se derivan de los procesos de análisis de la enseñanza y aprendizaje para ajustar la secuencia? y a partir de ello, ¿qué otros principios de diseño emergen?

Desde esa perspectiva, en el siguiente capítulo se explicitan los argumentos teóricos que sustentan la investigación siguiendo la misma coherencia presentada en el problema. En la primera parte exponemos argumentos adicionales sobre el por qué la termorregulación es considerado como un fenómeno que ha de ser abordado de forma explícita en el aula, de manera que se generen espacios que contribuyan con la superación de visiones aisladas de los fenómenos biológicos. En conexión con ello, la segunda parte discutimos sobre los modelos de mecanismos y la perspectiva de termorregulación como mecanismo, así como sobre el aprendizaje basado en modelos y por qué los videojuegos, específicamente Calangos tiene características consistentes, desde el punto de vista didáctico, con la propuesta de Justi (2006)³ sobre elaboración de modelos en el aula. Pretendemos así explicitar cómo la integración de cada elemento configura una secuencia novedosa, no en sus elementos constitutivos, sino en la integración de los mismos. Por tanto, esa integración constituye en sí una especie de principio de diseño general del cual se derivan otros, como se detalla en el apartado 4.1.2. También indicamos por qué los referentes teóricos de la investigación de diseño constituyen una metodología coherente con la situación que aborda el estudio.

³ La propuesta de elaboración de modelos es coherente con el proceso de investigación en la ciencia; comprende una serie de actividades interconectadas en las que se manifiestan habilidades como la observación, la argumentación, la que son complementarios con las involucradas en la ejecución de un videojuego. El modelo es una propuesta que concibe la elaboración de modelos como una práctica epistémica.

CAPÍTULO II. REFERENTES TEÓRICOS Y METODOLÓGICOS

A continuación se discute sobre termorregulación como una temática que ha de ser enseñada de forma explícita, como contexto para mejorar la comprensión de la homeóstasis, estableciendo conexiones con otros fenómenos o contextualizarlos, y desde una perspectiva de termorregulación como mecanismo, contribuir con la superación de visiones aisladas de los fenómenos biológicos.

1. Termorregulación en animales vertebrados terrestres

El papel central de la temperatura y su regulación son reconocidos desde trabajos clásicos de la fisiología, en el siglo XIX. Por ejemplo, según Claude Bernard (1865), las condiciones que deben mantenerse constantes en la matriz fluida del cuerpo con el fin de favorecer una “independencia” de las limitaciones externas y alcanzar la homeóstasis son el agua, el oxígeno, la temperatura y la nutrición (incluyendo sales, grasa y azúcar).

La temperatura influye en las tasas a las cuales las reacciones químicas ocurren en el cuerpo de los animales, una vez que estas reacciones varían con los cambios en la temperatura. La temperatura es, por tanto, un determinante importante en la fisiología de los organismos vivos. Mantener la temperatura interna en rangos óptimos para desarrollar procesos vitales, es decir, termorregular es considerado desde el punto de vista fisiológico como un tipo de regulación, como una función (BURTON, 1939), una capacidad o una habilidad para modificar la temperatura (STEVENSON, 1979). La termorregulación involucra varios mecanismos, entre ellos, la detección periférica de un estímulo térmico procesado por una central ubicada en el cerebro y la consecuente coordinación de funciones de respuesta (SEEBACHER y CRAING, 2005) para mantener un equilibrio entre la producción y pérdida de energía térmica por el cuerpo del animal.

Así, la temperatura corporal interna del animal puede permanecer dentro de

rangos de tolerancia o desempeño específicos para cada especie, contribuyendo con la ya mencionada homeostasis, que es uno de los conceptos centrales en el conocimiento biológico y proporciona el marco conceptual dentro del cual puede ser interpretado un amplio espectro de datos fisiológicos (CANON, 1929; ZAMER y SCHEIMER, 2014).

La energía requerida para alcanzar esta homeóstasis térmica puede ser obtenida de fuentes externas al cuerpo del animal como el sol, o internas, como el metabolismo o la actividad muscular. Aquellos animales que dependen principalmente de una fuente externa como la energía del sol para regular su temperatura han sido denominados ectotermos, mientras que, cuando la principal fuente de energía es interna, los animales son considerados endotermos. Los animales endotermos tienen tasas metabólicas siete a diez veces mayores de que los ectotermos. En los endotermos la energía producida por el metabolismo y la actividad muscular es utilizada para mantener la temperatura corporal en rangos específicos (POUGH et al. 2012; RANDALL et al., 2001; SEEBACHER y FRANKLIN, 2005; VITT y CALDWELL, 2013).

Establecidas las diferencias principales en función de las relaciones térmicas nos enfocaremos en los mecanismos empleados por endotermos y ectotermos para regular su temperatura corporal interna.

La dependencia de fuentes externas en ectotermos hace que el comportamiento, principalmente la selección de hábitat, sea la respuesta principal ante las variaciones detectadas por el sistema nervioso. Contrario a lo que comúnmente se piensa, los ectotermos no emplean solamente mecanismos comportamentales para la termorregulación. Es por medio de la acción combinada de diferentes órganos y estructuras que logran regular la temperatura corporal, usando estrategias que permiten aprovechar la energía del ambiente, principalmente del sol (POUGH et al. 2012; VITT & CALDWELL 2013)

Entre los mecanismos comportamentales, el tiempo de actividad diaria estacional, los ajustes posturales y, principalmente la selección de microhábitat (POUGH, 1980; STEVENSON, 1985) son críticos en la determinación de la

temperatura corporal. Mientras que los mecanismos fisiológicos que facilitan pérdida o ganancia de energía térmica en anfibios y reptiles ocurren a nivel de la piel (modificación de la reflectancia por cambio de color), el sistema cardiovascular (actividad vasomotora, distribución de la sangre a través del cuerpo). En reptiles, por ejemplo, cambios en el flujo de sangre pueden aumentar la capacidad de mantener la temperatura del cuerpo en niveles óptimos (O'CONNOR 1999; SEEBACHER & FRANKLIN 2004).

Además, mediante el sistema excretor, a través de la orina, los ectotermos también pueden regular su temperatura corporal. En ellos, la producción de calor por actividad muscular es limitada y puede existir producción por incremento del metabolismo celular a través de estimulación hormonal (BARTHOLOMEW, 1982).

El control comportamental de la temperatura implica un alto grado de sensibilidad a cambios en las condiciones externas y es reconocida la existencia de una central de coordinación en la regulación comportamental de la temperatura: los anfibios exhiben termosensibilidad cutánea intra abdominal del cordón espinal, mientras lagartos y peces desarrollan termosensibilidad cutánea e hipotalámica (BICEGO et al., 2007). Además, los reptiles pueden regular la temperatura de su cuerpo con considerable precisión, siendo el rango de tolerancia propio de cada especie (COWLES & BOGERT 1944). Los lagartos, por ejemplo, tienen asombroso control sobre el nivel termal de su cuerpo (BOGERT, 1949).

A nivel celular la mayoría de los ectotermos regulan la capacidad metabólica de sus tejidos en respuesta a la variación térmica a largo plazo (días a semanas) (Seebacher, 2005). En ellos, contrario a lo que ocurre con endotermos, donde el metabolismo celular también genera la energía térmica que determina la temperatura corporal [termogénesis adaptativa (Morrison et al., 2008⁴)], la interacción entre la temperatura corporal y el metabolismo se invierte. La mayoría, no desarrollan termogénesis adaptativa y aclimatan el metabolismo celular para compensar la variación de temperatura ambiental.

⁴ Producción de calor por procesos metabólicos en respuesta a la temperatura ambiental con el fin de proteger al organismo de la exposición al frío y amortiguar la temperatura corporal de las fluctuaciones de temperatura ambiental.

Por ejemplo, la tasa metabólica de los lagartos es baja a temperaturas frías y alta a temperaturas cálidas. Esto significa por ejemplo, que las lagartijas no pueden ser muy activas en el frío porque no tienen energía para hacerlo, mientras que a altas temperaturas pueden moverse rápido pero deben consumir alimentos para alimentar el proceso metabólico. También, muchos peces ajustan la capacidad metabólica para compensar la variación estacional de la temperatura del agua, como consecuencia, su rendimiento metabólico permanece relativamente estable durante todo el año (SEEBACHER 2009).

Por su parte los endotermos mantienen una temperatura interna corporal en un rango estrecho (también específico para cada grupo o especie) de modo independiente del ambiente (CLARKE & PÖRTNER, 2007), mediante el equilibrio entre la producción y la pérdida de energía metabólica. Así, en temperaturas ambientales moderadas, el animal solamente necesita de la tasa basal de producción de energía térmica. En ese rango de temperatura, llamado zona termoneutral o zona de termorregulación física, los endotermos ajustan la tasa de pérdida de energía térmica mediante modificaciones de la conductancia térmica de la superficie corporal (vasoconstricción o vasodilatación, cambios de postura etc.)

Cuando la temperatura baja, excediendo el rango específico de tolerancia del individuo (hipotermia), este alcanzará una temperatura crítica inferior y su tasa metabólica será insuficiente para compensar la pérdida. Bajo esta temperatura se halla la llamada zona de termogénesis química. El animal debe entonces, generar energía térmica mediante locomoción o termogénesis (involucrando por ejemplo, contracciones musculares o activación de sistemas enzimáticos de metabolismo de las grasas). En contraste, cuando la temperatura supera el rango de tolerancia (hipertermia), ocurre la regulación contra el sobrecalentamiento por disminución de la producción de calor metabólico, evaporación de agua de los pulmones y de la piel, radiación directa y conducción del calor a la superficie del cuerpo (CLARKE y PÖRTNER, 2010; POUGH et al., 2012)

Kuht y Farmery (2014) proponen un modelo integrado que representa, en la especie humana, las funciones de termorregulación como un sistema de

retroalimentación (Figura 1). De acuerdo con el modelo, el hipotálamo es el punto de ajuste donde se integran las señales de variación de los receptores central y periférico y se generan las respuestas ejecutadas por los efectores. Este modelo constituyó la base para consolidar el modelo didáctico sobre termorregulación que se propone en esta tesis.

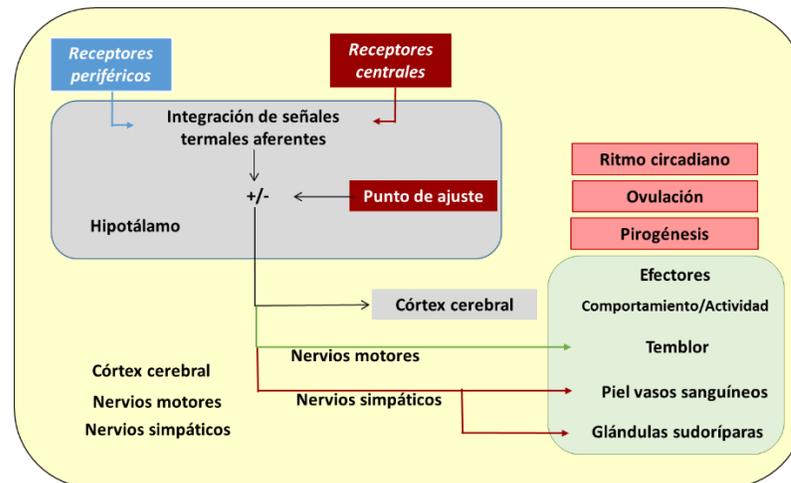


Figura 1. Modelo integrado de termorregulación propuesto por Kuht y Farmery (2014)

Aunque la explicación anterior se ha centrado en animales ectotermos y endotermos, es importante clarificar que en la biología termal de los animales, estos conceptos suponen extremos idealizados que no existen en la naturaleza: los animales no necesariamente han de ser clasificados como endotermos o ectotermos.

Hay animales que presentan diferentes relaciones térmicas en diferentes partes del cuerpo (heterotermia regional) o según la actividad (POUGH et al., 2012), como el pez espada (*Xiphias gladius*), que mantiene el cerebro y los ojos con una temperatura mayor que la del cuerpo cuando caza. También el atún (*Thunnus alalunga*) logra mantener la temperatura de la musculatura roja 10°C por encima de la temperatura del agua (GRAHAM & DICKSON, 1981).

Además, pese a que los insectos son considerados ectotermos, ellos pueden obtener energía térmica de fuentes externas o internas (KLOWDEN, 2007). Insectos de las órdenes Odonata, Diptera, Himenoptera, Coleoptera e Lepidoptera tienen la

capacidad de aumentar durante algunos periodos la temperatura corporal en valores superiores a los 30°C, lo que evidencia alta capacidad endotérmica. En estos animales, la energía térmica generada no es producto de la actividad metabólica sino de la actividad de los músculos de vuelo. Así, esta producción de energía interna está asociada de modo general solamente a actividades de vuelo. En las demás actividades ellos se comportan como ectotermos (MENA, 2000), aumentando su temperatura mediante selección de lugares cálidos, orientación de su cuerpo al sol y/o asumiendo posturas que eviten la pérdida de energía térmica.

Salvo en circunstancias especiales, como la hibernación, los mamíferos comúnmente mantienen su temperatura corporal dentro de límites bastante estrechos. Con los insectos, la situación es diferente. Cambios rápidos y considerables de temperatura se producen en respuesta a las cambiantes necesidades, como en el caso de la transición de un estado de reposo a un rápido movimiento en vuelo. Las abejas por ejemplo, pueden elevar su temperatura de 13 a 37 °C en apenas seis minutos (HEINRICH, 1995)

Lo discutido anteriormente permite evidenciar que en la regulación de la temperatura corporal interna actúan diversos mecanismos integrados. Por tanto, en su aprendizaje pueden ser asociados conceptos como homeostasis, energía térmica, temperatura, adaptaciones, entre otros, contribuyendo para un aprendizaje más integrada de la biología. Por ello, una acción base que facilitará la delimitación de cómo la termorregulación puede ser abordada en el aula con esta intención integrativa es examinar lo discutido en la literatura de didáctica de las Ciencias Naturales a su respecto, en las recomendaciones curriculares oficiales, en los libros de texto, así como las percepciones de profesores.

1.1. Termorregulación en la literatura en didáctica de las Ciencias Naturales, en las recomendaciones curriculares y en los libros de texto

En este apartado se dilucida sobre el tratamiento de la termorregulación en animales en la literatura en didáctica de las Ciencias Naturales, las orientaciones curriculares para las Ciencias Naturales de Colombia (Estándares básicos de competencias y documentos del Instituto Colombiano para el Fomento de la Educación Superior - ICFES sobre las Pruebas Saber⁵) y en algunos libros de texto usados por profesores de Colombia.

1.1.1. Literatura en didáctica de las Ciencias Naturales.

Como se indicó en el capítulo I, apartado 1.2, en la revisión hecha, la mayoría de los estudios encontrados que abordan termorregulación en el contexto didáctico están focalizados en la educación superior.

Por ejemplo, el módulo instruccional propuesto por Stevenson en 1979 señala las limitaciones de los modelos puramente físicos de equilibrio térmico en los animales puesto que, según las condiciones del ambiente físico y sus características fisiológicas, estos organismos, pueden emplear también mecanismos comportamentales, fisiológicos y morfológicos e integrar algunos de estos para alcanzar el equilibrio térmico.

Dean, Breslin y Ross (2014) proponen una actividad experimental que tiene como propósito demostrar cómo el cuerpo mantiene una temperatura interna constante a pesar de los cambios percibidos mediante la sensación térmica y generar discusiones sobre mecanismos termorreguladores, como la sudoración y vasodilatación. Esta es una actividad sencilla que puede ser usada en diferentes niveles educativos.

Otras actividades tienen objetivos de aprendizaje específicos para la educación superior, como examinar valores de tolerancia térmica o puntos de referencia para definir el gradiente térmico y estimar la temperatura corporal en

⁵ Son evaluaciones aplicadas periódicamente por el Ministerio de Educación Nacional de Colombia a través del ICFES para monitorear el desarrollo de las competencias básicas en los estudiantes de educación básica (grados 3,5,9 y 11), como seguimiento de calidad del sistema educativo.

lagartos (KINGSBURY 1999), analizar la relación entre metabolismo y temperatura, consumo de oxígeno y tasa metabólica en endotermos y ectotermos (HIEBERT & NOVERAL 2007) o describir la función de los nervios simpáticos vasoconstrictores en la regulación del flujo sanguíneo de la piel (TANSEY, ROE & JOHNSON, 2014).

A partir de ello pueden discutir sobre organismos termoconformes (aquellos organismos cuya temperatura corporal generalmente es semejante a la del ambiente ya que dependen únicamente de dicha temperatura para mantener la propia) y las diferencias entre diferentes grupos de animales termorreguladores (CLOPTON, 2007). Describen de forma detallada qué adaptaciones didácticas pueden hacerse según el propósito, y aunque que si bien no se ajustan por su profundidad a la educación secundaria, generan ideas metodológicas y reafirman la necesidad de usar actividades centradas en la experimentación, manejo y organización de datos, así como de abordajes que permitan establecer conexiones entre conceptos.

Un trabajo interdisciplinar ofrece elementos para que los estudiantes establezcan estas conexiones a partir de las interacciones y el diálogo desde diversas disciplinas. Mulligan et al. (2011), mediante una práctica de laboratorio con estudiantes de un curso de laboratorio de química analítica y un curso de fisiología del ejercicio, encontraron resultados favorables en relación con la percepción de los estudiantes sobre este tipo de actividades. La práctica les permitió contextualizar y comprender conceptos del plan de estudios de cada carrera desde otra perspectiva tras examinar el papel de los electrolitos y su importancia en las estrategias de reposición de líquidos para atletas. También les permitió analizar las variables asociadas con la termorregulación durante el ejercicio.

Al respecto, Reinartz-Estrada (2012) afirma que incluir referencias de otras ciencias en la explicación de un concepto fisiológico como termorregulación torna más probable que los estudiantes lo identifiquen como un fenómeno que puede ser tratado desde varias disciplinas. Mediante un enfoque problémico en la enseñanza de la fisiología animal con estudiantes de zootecnia, el autor alcanzó resultados positivos en la construcción, por ellos, de conceptos sobre termorregulación. Los

estudiantes reconocieron, por ejemplo, que la termorregulación contribuye con la homeóstasis. Contrario a lo anterior, un estudio con profesores en formación inicial desarrollado por la autora de la presente investigación, reflejó en ellos dificultades para elaborar explicaciones que trasciendan el sentido común e involucren abordajes integrales (DAZA-PÉREZ & PÉREZ-MIRANDA, 2011).

De manera general, los trabajos revisados evidencian la necesidad de fortalecer la investigación a nivel de básica secundaria sobre propuestas de enseñanza que favorezcan la comprensión del concepto de termorregulación y su relación con la homeóstasis, así como la necesidad de abordajes integrales, la inclusión de situaciones problema y la experimentación como elementos básicos para superar concepciones de sentido común, para entender la interrelación entre la temperatura y las diferentes actividades.

Otros trabajos que han estudiado termorregulación desde la homeóstasis la abordan como un concepto que facilitaría la comprensión de esta última, reconociéndola como una propiedad de los sistemas biológicos.

Modell et al. (2015) consideran que los problemas en el aprendizaje sobre termorregulación pueden deberse a la complejidad de los mecanismos de regulación homeostática, a que hay aspectos del fenómeno que son contra intuitivos, que el lenguaje o terminología utilizada en el contexto escolar para describir el fenómeno o concepto es inconsistente y a que la comprensión del fenómeno por la fisiología, es incierta o incompleta. Así, proponen adoptar cinco estrategias que proporcionarán a los estudiantes un marco coherente para la construcción de sus propios modelos mentales de los mecanismos homeostáticos específicos y ayudará a reconocer las similitudes funcionales entre los diferentes sistemas de regulación homeostática a nivel del organismo. Estas cinco estrategias son: emplear un conjunto estándar de términos relacionados con el fenómeno, capacitar a los profesores para su enseñanza, definir y usar un modelo estándar, usar de forma cuidadosa analogías ilustrativas y capacitar a los profesores para el uso de dichas analogías. Además, restringir el uso del término regulación homeostática, refiriéndose preferiblemente a los mecanismos relacionados con el

mantenimiento de la consistencia del medio interno.

1.1.2. Estándares de Ciencias Naturales, libros de texto, lineamientos de las Pruebas Saber – ICFES y comentarios de profesores.

En Colombia, en los estándares básicos de competencia en Ciencias Naturales para la educación básica propuestos por el MEN (Ministerio de Educación Nacional), que constituyen el documento de referencia curricular desde 2006, el concepto de termorregulación no es explícito. Sin embargo, por los principios de coherencia horizontal y vertical, expresados en los estándares, y por el carácter incluyente del concepto de termorregulación⁶, es posible asociarlo a diferentes estándares propuestos para los diferentes grados.

Así, en los grados sexto y séptimo puede ser abordado cuando se trabajen en el aula los siguientes procesos de pensamiento y acciones concretas citadas por los estándares básicos de competencia: comparación de mecanismos de obtención de energía en los seres vivos, identificación de condiciones de cambio y de equilibrio en los seres vivos y en los ecosistemas, y explicación de las condiciones de cambio y conservación en diversos sistemas teniendo en cuenta transferencia y transporte de energía y su interacción con la materia.

En los grados octavo y noveno: clasificación de organismos en grupos taxonómicos de acuerdo con sus características celulares y comparación de sistemas de órganos de diferentes grupos taxonómicos. En los grados décimo y undécimo: explicación y comparación de algunas adaptaciones de seres vivos en ecosistemas del mundo y de Colombia, y utilización de modelos biológicos, físicos y químicos para explicar la transformación y conservación de la energía.

⁶ La coherencia vertical hace referencia a que los estándares tienen una organización secuencial que atiende a grupos de grados, suponiendo que aquellos estándares de un grado involucran los del grupo anterior, con el fin de garantizar el desarrollo de las competencias, en afinidad con los procesos de desarrollo biológico y psicológico del estudiante. La coherencia horizontal por su parte, indica que han sido estructurados en desarrollos propios de las ciencias naturales y sus procesos de enseñanza, de manera que cada proceso para un determinado componente del saber de una disciplina específica, puede ser articulado con los que anteceden o le siguen, al leerlos horizontalmente (MEN 2006)

En las temáticas del componente biológico o entorno vivo evaluadas en las Pruebas Saber (ICFES 2013 y 2014), la homeóstasis constituye una temática central. La evaluación de este componente se centraliza en el organismo para entender sus procesos internos y sus relaciones con los medios físico y biótico. Considera, además, las relaciones ecológicas, la evolución y transformación de la vida en el planeta y la conservación de la energía.

No obstante, el MEN, en las nuevas propuestas curriculares, recientemente publicó los Derechos Básicos de Aprendizaje – DBA para Ciencias Naturales y en ese documento propone que a nivel del grado octavo de la educación básica los estudiantes deben “*analizar relaciones entre sistemas de órganos (excretor, inmune, nervioso, endocrino, óseo y muscular) con los procesos de regulación de las funciones en los seres vivos*” (MEN 2016, pág. 28).

Ello implica también que se puedan observar en los estudiantes las siguientes evidencias de aprendizaje:

“Relacionen los fenómenos homeostáticos de los organismos con el funcionamiento de órganos y sistemas. Interpreten modelos de equilibrio existente entre algunos de los sistemas (excretor, inmune, nervioso, endocrino, óseo y muscular). Relacionen el papel biológico de las hormonas y las neuronas ⁷ en la regulación y coordinación del funcionamiento de los sistemas del organismo y el mantenimiento de la homeostasis, dando ejemplos para funciones como la reproducción sexual, la digestión de los alimentos, la regulación de la presión sanguínea y la respuesta de ‘lucha o huida’. Expliquen, a través de ejemplos, los efectos de hábitos no saludables en el funcionamiento adecuado de los sistemas excretor, nervioso, inmune, endocrino, óseo y muscular” (MEN 2016, pág. 28).

Para el MEN estos aprendizajes pueden ser evidentes en una situación como la siguiente (MEN 2016, pág. 29):

Explica a partir de la imagen la interacción entre sistemas del cuerpo humano, al reconocer como el sistema endocrino interviene en el equilibrio homeostático del aparato excretor; predice además, lo que puede ocurrir con los músculos si se afecta el sistema circulatorio y cómo actúa el sistema inmune en el mantenimiento homeostático del cuerpo.

⁷ La referencia en esta evidencia de aprendizaje debe ser a los neurotransmisores y no a las neuronas para mantener la referencia al nivel molecular. En este caso está relacionando hormonas que son moléculas con neuronas que son células.

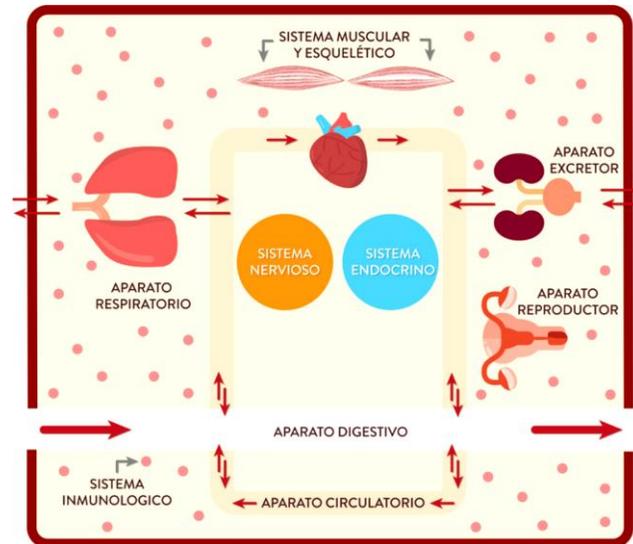


Figura 2. Representación de interacción entre sistemas para alcanzar la homeostasis.
 Imagen tomada de los DBA para Ciencias Naturales (MEN 2016, pág. 29)

Siendo esta propuesta un documento oficial que indica aquellos conocimientos básicos que un estudiante debe saber en cada grado, podemos concluir que la termorregulación en animales es una temática que provee un contexto pertinente para atender las metas de formación en ciencias que, en este caso, son coherentes con una comprensión integral de los fenómenos biológicos que contribuya con la superación de visiones aisladas de los fenómenos biológicos.

Adicional a la revisión de los documentos, mediante un cuestionario (Anexo 1) consultamos a 16 profesores de básica secundaria en instituciones educativas oficiales de los departamentos de Santander, Boyacá y Casanare, en Colombia (sobre el abordaje de la termorregulación y se identificó que cuatro de ellos (25%) no hacen objeto de enseñanza el concepto. Los demás profesores indican que citan ejemplos de animales ectotermos y endotermos en los diferentes grados según el tema que traten: respiración, circulación, adaptaciones, evolución, homeostasis, sistema nervioso o flujo de energía en los ecosistemas. Esta falta de unicidad frente a su tratamiento en el aula por parte de los profesores parece tener relación con lo plasmado en los estándares, puesto que allí el concepto no es citado directamente en un grado específico. Asociar el concepto con diversas temáticas es un indicador positivo en la medida de sus conexiones con otros conceptos. Sin embargo, la

simple mención del mismo en diferentes temáticas sin una conexión consistente es una limitación que favorece visiones fragmentadas de los fenómenos biológicos involucrados.

Los profesores también indicaron los libros didácticos que utilizan en su práctica. Los libros más utilizados (ÁRBELAEZ et. al., 2004; CARRILLO et. al., 2010; RODRIGUEZ et. al., 2013; LÓPEZ et. al., 2013) fueron analizados y verificamos que en ellos la termorregulación en animales es tratada solamente de modo superficial, en conexión con contenidos sobre evolución y funciones vitales (Tabla 1).

Las afirmaciones hechas en los libros, aunque de forma breve, fortalecen explicaciones de fenómenos y procesos en los animales de forma aislada, haciendo referencia a un solo órgano o sistema. La aseveración de que la endotermia es una ventaja en comparación con la ectotermia, por ejemplo, merece un tratamiento cuidadoso, que integre fisiología y evolución, puesto que la morfología y fisiología de ectotermos, como reptiles, es una adaptación para funcionar con bajas tasas de energía. Constituye un raciocinio evolutivamente incorrecto afirmar que ella es una desventaja en relación con la endotermia como si la evolución fuese progresiva, con los endotermos situados arriba de los ectotermos en una especie de escala de complejidad.

Otros autores también han identificado limitaciones de los libros de texto que inciden en el aula, debilitando el poder del concepto como una temática central que permite abordajes integrales. Para Tansey y Johnson (2015), en el nivel universitario el concepto de termorregulación a menudo es tratado con superficialidad en la mayoría de los cursos básicos de fisiología para medicina, biología o carreras afines, a pesar de que la investigación en este campo ha progresado a lo largo de las últimas décadas. Se ha profundizado particularmente el conocimiento de los circuitos centrales implicados en el control de termorregulación y de los mecanismos de transducción sensorial periférica de temperatura pero estos avances no son citados en los libros de texto usados en la enseñanza superior.

Tabla 1. Aspectos sobre termorregulación citados en los libros de texto analizados.

Libro de texto	Temáticas asociadas con termorregulación	Observaciones
Contextos Naturales 9 (ÁRBELAE Z et. al., 2004).	Unidad: "Caminos evolutivos y ecosistemas". Apartado: <i>Temperatura: Los organismos endotermos.</i>	<p>Describe la ectotermia e indica que dos grupos de animales lograron desarrollar una forma de mantener la temperatura corporal constante e independiente de la temperatura ambiental. Según el texto las aves y los mamíferos son endotermos... " (endo: dentro; termo: temperatura), ya que tienen capas de pelos y plumas que aíslan su temperatura corporal. Pueden tener un metabolismo alto sin mucha pérdida de energía debido al escape de calor hacia el ambiente"... (p. 115).</p> <p>Reconoce que ser endotermo tiene muchas ventajas y cita tres. 1. La actividad no está limitada a épocas del año u horas del día ya que se evita la pérdida de energía continua en forma de calor. 2. No corren riesgos derivados de situaciones prolongadas de letargo o hibernación. Como el metabolismo es elevado, pueden hacer esfuerzos constantes como correr o volar. 3. Pueden ocupar hábitats de bajas temperaturas permanentemente (p. 115).</p>
Hipertexto 9 (CARRILL O et. al., 2010).	Unidad: "los seres vivos evolucionan". Sección: <i>Reptiles. Control de la temperatura.</i>	Se refiere a la ectotermia como característica que dificultó la colonización de hábitats muy fríos. ..."La endotermia permitió a los animales mantenerse activos durante más tiempo, lo que les dio ventajas selectivas que con el paso del tiempo favorecieron la evolución de las aves y mamíferos"... (p. 101)
Los caminos del saber 6 (RODRIG UEZ et. al., 2013).	Unidad: "Funciones vitales". Apartado: <i>autorregulación – equilibrio interno u homeostasis.</i>	<p>En una tabla indica que la temperatura de los reptiles, peces y anfibios fluctúa de acuerdo con el medio.</p> <p>Cuando se refiere a organismos pluricelulares tratando del medio interno, cita homeostasis o equilibrio del medio interno, como una capacidad de la pluricelularidad. Esto incluye regulación de la temperatura.</p> <p>Subtítulo control de la temperatura interna: el control de la temperatura interna constituye otro atributo evolutivo importante propio de los endotermos, que les permite mantener una temperatura interna constante independiente del ambiente, gracias al calor generado en el metabolismo (p. 44).</p> <p>Presenta imagen con nota aclaratoria que dice: los peces, anfibios y reptiles son organismos ectotermos que obtienen el calor del ambiente y no de sus procesos metabólicos (p.44).</p>
Los caminos del saber 8 (López et. al., 2013).	No cita directamente el tema.	<p>Control y regulación: Sistema nervioso central en el ser humano. En tabla sobre función del hipotálamo, apunta que, entre otras funciones, participa en la regulación de la temperatura corporal. (p. 130).</p> <p>Al discutir adaptaciones fisiológicas afirma: "son modificaciones metabólicas que permiten a los individuos sobrevivir y que están relacionadas con procesos de transformación de energía y reacciones químicas entre otras. Por ejemplo, existen organismos euritermos, que toleran un amplio rango de temperaturas, y estenotermos, que sólo pueden vivir en rangos muy estrechos" (p 200).</p>

Dificultades similares asociadas al concepto de homeóstasis han sido

encontradas también en textos de fisiología. Para Modell et al. (2015), las explicaciones presentadas en cerca de 11 textos universitarios no citan de forma coherente términos relacionados con la regulación homeostática. Además, varios textos no utilizan representaciones visuales coherentes con el concepto y la explicación del concepto a menudo entra en conflicto con el conocimiento actual de los mecanismos reguladores homeostáticos.

La literatura consultada, los libros de texto y las respuestas de los profesores al cuestionario evidencian la necesidad de un tratamiento integrado y explícito sobre termorregulación como mecanismo homeostático en educación básica secundaria. Se requiere además que se supere la naturaleza puramente descriptiva de los fenómenos fisiológicos para que el estudiante logre adentrarse en relaciones causales que son necesarias para dar sentido a los mecanismos. Los estudiantes deben analizar el fenómeno desde varias perspectivas, acudir a conceptos de diferentes disciplinas para elegir un marco de referencia apropiado desde el cual analizar aspectos del mismo (MODELL 2007).

En coherencia con lo expuesto, a continuación se detalla sobre un abordaje de termorregulación que sigue planteamientos filosóficos centrales para la comprensión de mecanismos biológicos por medio de la construcción de modelos de mecanismos. La propuesta tiene fines didácticos y propone hacer objeto de estudio la termorregulación desde la homeóstasis como una alternativa para organizar sistemas integrados de pensamiento, que proporcionen a los estudiantes la posibilidad de integrar los diferentes componentes y procesos en los sistemas vivos, tener una visión más completa de los mismos, su complejidad e interacciones con el medio externo (ASSRAF et al. 2013).

1. 2 Termorregulación como mecanismo de regulación homeostática

En la filosofía de la biología, hoy la naturaleza de la explicación biológica es comprendida de manera más pluralista, en comparación con la énfasis en el pasado

sobre explicaciones deductivas basadas en leyes como las leyes físicas (de acuerdo con el llamado modelo deductivo-nomológico). Entre las diversas maneras de explicar en biología, hay una que ha recibido especial atención en las últimas tres décadas, las explicaciones por medio de la proposición de modelos de mecanismos (MACHAMER, DARDEN & CRAVER 2000; BECHTEL & RICHARDSON 2010; CRAVER & DARDEN 2013). Estas explicaciones tienen un papel central en el estudio de los fenómenos vivos. Sobre mecanismos se han propuesto varias definiciones (MACHAMER, DARDEN & CRAVER 2000; GLENNAN 2002; BECHTEL 2006) cuyos puntos de acuerdo fundamentan la propuesta que aquí se plantea. Se reconoce entonces que un mecanismo consta de varios componentes o partes que están organizadas y cada parte o componente desempeña una función e interactúa con las demás de forma coordinada para producir un fenómeno determinado. Sin embargo, siguiendo a Machamer, Darden y Craver (2000, p.3) la caracterización que se ajusta a las pretensiones didácticas de la presente investigación por su simplicidad es la de mecanismo como⁸: ... *"un conjunto de entidades y actividades organizadas de tal manera que producen cambios regulares desde las condiciones de inicio o de establecimiento hasta las condiciones de finalización o de terminación"*.

Desde esta perspectiva, primero identificamos el aspecto fenomenal del mecanismo de interés, es decir, el fenómeno que es producido por el mecanismo, que en este caso es: mantener la temperatura interna en rangos de tolerancia y desempeño que son específicos para las diferentes especies, esto es, mantener la homeóstasis en la temperatura interna. Seguidamente se identificamos las partes o los componentes del mecanismo, las actividades que realizan cada componente, cómo se organizan y conectan las diferentes actividades (Tabla 2).

Craver y Bechtel (2006) y, Illari y Williamson (2012) reconocen que en un mecanismo pueden estar anidados mecanismos en un nivel inferior

⁸ En la segunda parte de este capítulo, se detalla con mayor profundidad sobre la visión de mecanismo biológico que sustenta esta propuesta.

(submecanismos), constituyéndose en actividades y entidades organizadas de manera a exhibir el comportamiento del mecanismo como un todo.

Mediante la tabla 2, se identificaron componentes, las actividades que realizan y las relaciones que existen entre cada uno de ellos, lo cual fue básico para estructurar el modelo didáctico que representa y explica los elementos centrales que se consideran básicos en la comprensión de termorregulación como mecanismo.

Tabla 2. Organización de componentes y actividades de un mecanismo para termorregulación en vertebrados terrestres. Propuesta con fines didácticos basada en esquema propuesto por Darden (2008)

Componentes		Localización	Función	Conectividad	Orden
Termorreceptores	Sistema nervioso periférico	Piel, lengua, córnea, vejiga, sistema nervioso central	Sensitiva. Mide el valor de la temperatura y envía señales al centro de control para que detecte variaciones	Sistema nervioso central	1. Detección de la pérdida de la homeóstasis de la temperatura interna. 2. Información procesada en el Sistema Nervioso Central. 3. Se genera respuesta: 4. Aumento o disminución del metabolismo. Respuestas fisiológicas. Respuestas comportamentales
Centro de control - Punto de ajuste	Sistema nervioso central - termostato hipotalámico	Columna vertebral, cráneo	Centro de control - Punto de ajuste	Sistema endocrino, termorreceptores, efectores	
	Sistema endocrino	Diferentes glándulas distribuidas en los órganos	Estimula actividad nerviosa, la actividad metabólica. También la producción de sudor.	Sistema nervioso, termorreceptores, efectores	
Actividad metabólica	Vías catabólicas	A nivel celular	Transformar energía química en térmica y libre	Sistema endocrino, sistema nervioso	
Efectores	Músculos, vasos sanguíneos, piel	Todo el cuerpo	Ejecutan respuestas fisiológicas y comportamentales	Sistema endocrino y sistema nervioso	
Fenómenos físicos	Convección	No aplica	Ganar o perder energía en relación al ambiente externo	Está ligado con todos los componentes. Es una propiedad de todos los cuerpos el perder o ganar energía a través de estas vías físicas	
	Conducción				
	Radiación				
	Evaporación		Ceder energía al ambiente externo		

Los componentes del mecanismo son básicamente los de un sistema de regulación homeostático (termorreceptores, punto de ajuste y efectores).

La actividad metabólica, específicamente el catabolismo, es resaltado como otro componente cuya actividad de transformación de la energía determina diferencias en la termorregulación de los animales y está regulada por los sistemas endocrino y nervioso. El calor metabólico, como se le llama con frecuencia, es otra vía por la cual un animal puede ganar energía térmica.

En los ectotermos, la energía térmica generada en procesos metabólicos no es significativa en comparación con la que el animal puede ganar directa o indirectamente de la energía solar y ante las variaciones del clima. La mayoría, no desarrollan termogénesis adaptativa y aclimatan el metabolismo celular para compensar la variación de temperatura ambiental.

Los endotermos por su parte, tienen tasas metabólicas que son siete a diez veces mayores que la de ectotermos del mismo tamaño. Además, disminuyen la producción de energía térmica en situaciones donde la temperatura externa está en valores muy por encima de los rangos específicos de cada especie o pueden aumentarla en el caso contrario.

Durante el metabolismo celular, los enlaces químicos de moléculas como la glucosa son rotos, y la energía de esos enlaces es capturada en los enlaces de otras moléculas como el ATP. Una porción de la energía liberada cuando se rompen los enlaces es capturada, en otros enlaces o utilizada para la realización de trabajo, mientras el resto es liberada en forma de energía térmica. Esta energía no aprovechada es la energía térmica que los endotermos utilizan para mantener su temperatura en niveles relativamente estables y óptimos de manera que exista un equilibrio interno u homeóstasis. Cuando dicho equilibrio es alterado debido a un desbalance entre la energía ganada y la energía perdida, se produce la regulación de la temperatura.

A partir del análisis anterior, la propuesta de modelo didáctico sobre termorregulación que se elaboró sigue el modelo simplificado (Figura 3) de homeóstasis propuesto por Modell et al. (2015) y se centra en la termorregulación como un mecanismo asociado con el mantenimiento de la homeóstasis.

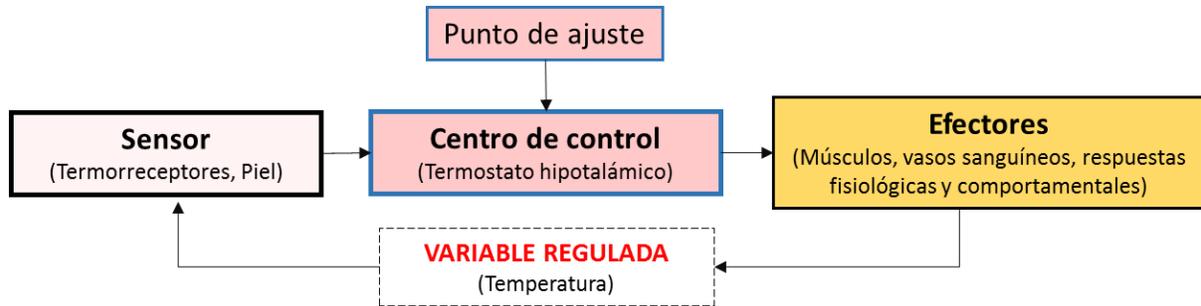


Figura 3. Representación simplificada de un sistema de regulación homeostático centrado en la regulación de la temperatura. Basado en esquema teórico propuesto por Modell et al. (2015).

El modelo comprende los siguientes elementos:

Punto de ajuste: el rango de valores (rango de magnitudes) de la variable regulada que el sistema intenta mantener. Se refiere al "valor deseado", que generalmente no es un valor único; sino es un rango de valores.

Centro de control (o integrador): el centro de control consta de un detector de errores y un controlador. Recibe señales (información) de sensores, compara información (valor de variable regulada) con el punto establecido, integra información de todos los sensores y envía señales de salida (envía instrucciones o comandos) para aumentar o disminuir la actividad de los efectores. El centro de control determina e inicia la respuesta fisiológica apropiada a cualquier cambio o perturbación del ambiente interno.

Efector: Un componente cuya actividad o acción contribuye a determinar el valor de cualquier variable del sistema. En este modelo, los efectores determinan el valor de la variable regulada (detectada).

Variable regulada (variable detectada): Cualquier variable para la cual los sensores están presentes en el sistema y cuyo valor se mantiene dentro de los límites de un sistema de retroalimentación negativa frente a las perturbaciones en el sistema.

Sensor (Receptor): Un "dispositivo" que mide la magnitud de alguna variable al generar una señal de salida (neuronal u hormonal) que es proporcional a la magnitud del estímulo. Un sensor es un "dispositivo" de medición.

El modelo didáctico (Figura 4) también se apoya, en los trabajos de Modell et al. (2015); Bicego, Barros y Branco (2007); Kuht y Farmery (2014); Pough et al. (2012) y Vitt y Caldwell (2013)

En la zona sombreada se representan los aspectos centrales del mecanismo. El fenómeno producido es el mantenimiento de la temperatura corporal entre rangos de tolerancia o desempeño óptimos y específicos para cada especie o grupo de especies (Cuadro rojo), es decir, asegurar homeóstasis en términos de temperatura.

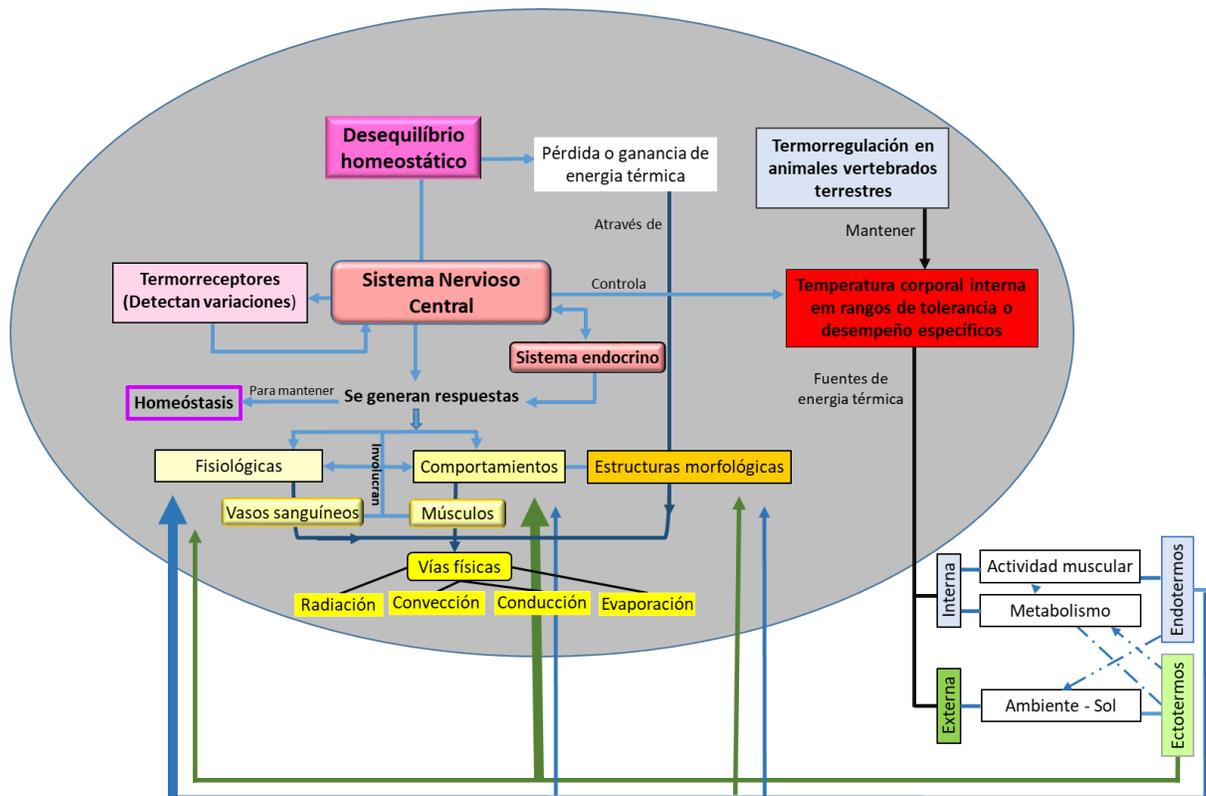


Figura 4. Modelo didáctico del mecanismo de termorregulación en vertebrados terrestres.

Elaborado por los autores.

El sistema nervioso central responde a un estímulo: la pérdida de la homeóstasis de la temperatura (desequilibrio homeostático), es decir, el hecho de que la temperatura corporal interna está por debajo o supera los rangos de tolerancia específicos para cada especie debido a la pérdida o ganancia de energía térmica. Este cambio es detectado a nivel del sistema nervioso central (medula

espinal, tronco encefálico, encéfalo) a partir de la información que ha sido generada por los termorreceptores. En el sistema nervioso central se procesa la información y generan respuestas básicamente fisiológicas, que se manifiestan en comportamientos del animal o ajustes fisiológicos en sí, que controlan la temperatura. El sistema endocrino no sólo complementa la función del sistema nervioso. Existe un control mutuo de sus acciones, en este caso el sistema endocrino actúa a nivel del metabolismo, la sudoración, la vasoconstricción o vasodilatación.

Las respuestas citadas en el diagrama son vías de pérdida y ganancia de energía térmica ligadas entre sí porque una no es independiente de la otra y no es la única respuesta. Es decir, un animal puede moverse a un lugar soleado o modificar el color de su piel para ganar energía térmica por radiación, o ampliar su superficie corporal para ganar o perder energía más rápidamente por conducción o radiación. En caso de estos mecanismos físicos, a diferencia de otros sistemas, esta transferencia no logra el equilibrio térmico entre los dos sistemas: la temperatura interna de los animales se mantiene entre rangos específicos.

La actividad física permite producir energía térmica por actividad muscular: correr, caminar o quedarse quieto son comportamientos ligados a producción de energía térmica.

Las respuestas de tipo fisiológico y comportamental están conectadas por una doble flecha en la figura 4 porque se asume que el comportamiento de los animales es producto en parte de diferentes procesos fisiológicos y cada comportamiento también genera las condiciones para que se lleven a cabo procesos fisiológicos.

En el modelo, fuera de la zona sombreada, también se indican diferencias entre los animales en función de la fuente de energía térmica: interna – endotermos; externa – ectotermos. Las flechas punteadas indican fuentes de energía secundarias para ambos.

Dada la dependencia térmica del ambiente externo en los ectotermos, su principal mecanismo de regulación de la temperatura es comportamental (flecha verde resaltada) mientras que en los endotermos es fisiológica (flecha azul

resaltada). Las fechas azul y verde no resaltadas también señalan otros mecanismos de pérdida y ganancia de energía por endotermos y ectotermos.

El modelo aquí presentado constituye una base para la consolidación de una propuesta para que el concepto de termorregulación pueda ser tratado con mayor profundidad en la enseñanza, estableciendo conexiones con otros conceptos centrales en el aprendizaje de biología. Con él se pretende abordar la termorregulación en los animales siguiendo un enfoque que favorezca la comprensión de la misma como mecanismo homeostático y pueda ser usado como recurso de aprendizaje a nivel de básica secundaria, principalmente en el grado noveno de tal forma que se consigan integrar conceptos de la física, biología y química definidos como básicos para este grado.

Además, siendo la termorregulación en animales el principal concepto objeto de aprendizaje, el esquema puede ser empleado en los diferentes grados tomando como punto de partida cualquiera de las siguientes situaciones de enseñanza y aprendizaje asociadas y en diferentes momentos de una sesión de aprendizaje: para introducir, desarrollar, o concluir. Por ejemplo:

1. Discusión de procesos evolutivos. La termorregulación en los diferentes animales tiene una historia evolutiva que implica discusión en el aula de los procesos selectivos que han actuado en ello así como las consecuencias de determinada condición (endotermia, ectotermia etc). Al respecto Elosa y Silva, (2011) consideran que, aunque las aves y los mamíferos tienen distinto origen filogenético, la endotermia asociada con estos grupos, tiene los mismos principios fisiológicos por lo que constituye un carácter convergente (homoplásico) que lleva a considerar que la endotermia evolucionó a partir de un mecanismo similar en los dos grupos, como una respuesta a presiones selectivas. En ese sentido, es posible abordar y discutir diversas hipótesis propuestas para explicar evolución de la endotermia por presiones selectivas como: a) la expansión térmica del nicho; b) la capacidad de mantener un ejercicio vigoroso; y c) una consecuencia del desarrollo de cuidado parental.

2. Abordar adaptaciones en conexión con los procesos evolutivos, dado que el concepto es utilizado frecuentemente con un significado funcional y no evolutivo.

3. Tratamiento de cuestiones termodinámicas, principalmente lo relacionado con los conceptos de energía térmica, temperatura y fenómenos físicos de pérdida o ganancia de energía en sistemas abiertos.

4. Análisis respuestas metabólicas, específicamente lo concerniente a vías catabólicas, así como de las causas y consecuencias de tales respuestas en diferentes organismos vivos.

5. Ejemplificación de mecanismos biológicos, juntamente con diagramas de representación de los mismos.

Presentada una propuesta base para abordar termorregulación en el aula, conviene sintetizar algunas ideas centrales. En primer lugar es necesario clarificar que el propósito central del presente estudio no es analizar si a partir de la elaboración de modelos sobre termorregulación usando el videojuego Calangos se superan visiones aisladas de los fenómenos biológicos. Esta sería una implicación a largo plazo, que requiere de la articulación de varias acciones didácticas por ello, los objetivos de aprendizaje para la secuencia que se detallan en el apartado (4.1.1) son más plausible a corto plazo y centrados específicamente en el fenómeno de termorregulación.

Las limitaciones en cuanto al tratamiento didáctico que hacen los libros y los profesores ponen de manifiesto la importancia de un abordaje explícito en conexión con la homeóstasis. Se trata de una de las propiedades de central importancia para los organismos vivos, es decir, cómo los organismos vivos alcanzan una estabilidad interna a pesar de los cambios en el ambiente externo, en este caso, una estabilidad de la temperatura entre rangos específicos.

Sumado a lo anterior y teniendo en cuenta que es un concepto fisiológico, en su comprensión están implicados conceptos explicados desde otras disciplinas como la física y la química (ya se han ejemplificado algunos) que al ser explorados y citados generan conexiones entre fenómenos y disciplinas.

Abordar termorregulación como mecanismo fisiológico, que contribuye con la homeóstasis, implica la puesta en juego de diversas habilidades como el identificar componentes, acciones, relaciones; organizar, categorizar y sobre todo establecer

relaciones e interrelaciones lo cual es básico en el desarrollo de visiones integrales, no aisladas de los fenómenos biológicos. Se trata también de comprender termorregulación como un mecanismo que hace parte de un fenómeno global y comprender los submecanismos responsables de regular la temperatura.

Si bien, abordar el fenómeno en el aula es un aspecto importante, las metodologías, la secuenciación de actividades y los recursos didácticos empleados también son elementos fundamentales. En el caso particular de esta investigación, cabe discutir la elaboración de modelos y los videojuegos como estrategias y recursos pertinentes para el abordaje del fenómeno, pertinentes con los fines de aprendizaje que se persiguen.

2. Modelos de mecanismos y modelización

2.1 Modelos de mecanismos

El término “modelo” es polisémico y con frecuencia resulta complejo explicar su significado. Sin embargo, en una aproximación general al término, es posible decir que son representaciones de fenómenos, sistemas y procesos naturales que buscan capturar sus elementos fundamentales a la luz de una cierta intención de explicación y una cierta comprensión teórica. No buscan retratar a la realidad en sí misma, ni a alguna forma de verdad absoluta o definitiva, sino que son construidos basado en procesos de abstracción e idealización de tal manera que el modelo nunca es un espejo o copia de la realidad. Un modelo deriva su poder de explicación, previsión y orientación de la investigación futura del hecho de que, no captura la realidad tal como ella es, sino que representa lo real de manera generalizada, según ciertos propósitos, y abarcando muchos casos de un mismo fenómeno (BLACK, 1966; MATTHEWS, 1998).

La palabra “representación” en este caso, no asume un significado estricto de hacer presente una imagen de algo dado que ello implicaría reproducir casi fotográficamente, o elaboración de una copia del fenómeno objeto de modelización.

Este término indica además que existe un amplio conocimiento del fenómeno en todas sus dimensiones así como de las formas en lo que se sabe del mismo puede ser expresado. En ese sentido, se comparte la idea de Gilbert & Justi (2016) sobre los modelos como artefactos externos para apoyar el pensamiento cuya construcción y manipulación benefician el desempeño de varias funciones epistémicas en las diferentes disciplinas científicas, así como en el aprendizaje de las mismas.

Los modelos son parcialmente dependientes tanto de las teorías como del mundo real, lo que les otorga autonomía y justifica su uso como herramientas para investigar y aprender sobre el mundo. Son autónomos en la medida que no son contruidos sólo de datos o de teoría, comúnmente incluyendo ambos. Además como se mencionó en el primer párrafo, son mediadores entre la teoría y el mundo, funcionan como una herramienta o instrumento porque tienen variedad de formas y cumplen funciones diferentes.

Generalmente, representan algún aspecto del mundo, o algún aspecto de una teoría sobre el mundo, o ambos a la vez. Ese poder representativo permite al modelo enseñarnos algo sobre lo que representa (FRIGG & HARTMANN 2009; MORRISON & MORGAN 1999) y, reconociendo que son artefactos elaborados por el ser humano, tienen otras funciones diferentes a las de representar. Ilustran, explican, predicen fenómenos, pueden apoyar nuestras ideas sobre cómo los fenómenos pueden ser, comportarse e interactuar juntos (GILBERT & JUSTI, 2016). Por ejemplo, los mapas y diagramas son tipos de modelos que ayudan a visualizar patrones, vías y relaciones (HARRISON & TREAGUST 1998).

La elección del modo de representación, del modelo apropiado depende del fenómeno y del objetivo que se pretende. En el caso de los fenómenos biológicos, la construcción de modelos de mecanismos es considerado como un método adecuado para estudiarlos (BRAILLARD & MALATERRE 2015) y, con ello, los modelos de mecanismos han adquirido un papel importante en la biología.

En ese sentido, luego de presentar los aspectos más relevantes sobre la visión de modelos asumida en la presente investigación, se discutirá con mayor

detenimiento lo relacionado con los mecanismos biológicos y modelos de mecanismos.

Un mecanismo es un sistema complejo, un conjunto de componentes (entes y actividades) que desempeñan funciones individuales y colectivas, organizadas e interrelacionadas para producir un fenómeno. Los componentes han de ser vistos como entidades en ellas mismas que constituyen el mecanismo como un todo, y no simplemente como una agregación aditiva de partes (GLENNAN 1996; BECHTEL & ABRAHAMSEN 2005; CRAVER & DARDEN 2013).

Los componentes del mecanismo son aquellos que tienen una función directa en la producción del fenómeno (BECHTEL & ABRAHAMSEN 2008), es decir, los entes que realizan diferentes actividades y están implicados en interacciones que resultan en la producción del fenómeno. Entes, actividades e interacciones tienen una organización espacial y temporal (MACHAMER, DARDEN, & CRAVER, 2000; CRAVER & DARDEN, 2013) de manera tal que permiten al mecanismo operar y producir el fenómeno del que es responsable.

Las entidades son reconocidas como objetos materiales concretos (es decir, son continuas), relativamente estables que se ubican en el espacio y el tiempo. Tienen ciertas formas y tamaños (Ejemplos: termorreceptores, central de procesamiento, hipotálamo), son portadoras de propiedades, lo que les permite participar activamente o pasivamente en actividades específicas (KAISER 2017) (por ejemplo, el “termostato” hipotalámico detecta la pérdida de la homeóstasis en la temperatura interna).

Las actividades son las acciones producidas por las entidades (para cada actividad debe haber al menos una entidad que participe activamente en ella) y como tal, tienen una extensión temporal, poseen duraciones, tasas y fases características. Han sido caracterizadas como las responsables de producir cambios y como los componentes causales del mecanismo (KAISER 2017).

Las interacciones han sido relacionadas con propiedades o distinguidas como actividades más complejas o subconjunto de actividades⁹. En este caso, las reconocemos como las acciones recíprocas que involucran no menos de dos entidades y constituyen un "complejo de acción conjunta". (FAGAN 2012, p. 464).

En correspondencia con lo anterior, el apartado 1.2 describe los componentes del mecanismo de termorregulación en vertebrados terrestres en función del fenómeno¹⁰ que produce: "mantener la temperatura en rangos de tolerancia y desempeño específico". Esa visión está asociada con una relación de mantenimiento, es decir el mantenimiento de puntos de ajuste de la temperatura corporal interna (CRAVER & DARDEN 2013). Procuramos identificar las partes operativas del mecanismo y determinar su organización con el fin de ir más allá de describir el fenómeno y mostrar cómo los entes causan y constituyen el fenómeno (HALINA 2017).

Un mecanismo causa que ocurra un fenómeno y, la operación del mecanismo, constituye o da cuenta del fenómeno. Por tanto, implica una explicación mecanicista etiológica y una explicación mecanicista constitutiva (GARSON 2017). Las explicaciones etiológicas son retrospectivas, revelando las porciones relevantes del nexo causal en el pasado del evento, mientras que el aspecto constitutivo revela la estructura causal del evento al dejar ver los mecanismos causales internos (SALMON 1984).

⁹KAISER (2017, pág. 117) dice: *...prefiero el término "actividad" sobre el término "interacción" porque las interacciones pueden verse plausiblemente como tipos especiales de actividades... hay casos de actividades únicas y que las interacciones constituyen así un mero subconjunto del conjunto de todas las actividades... Glennan (1996, 2002) supone que las interacciones son reducibles a las propiedades de las entidades y rechaza la tesis de irreductibilidad...*

¹⁰ Aunque el enfoque del mecanismo asumido en esta investigación está centrado en mecanismo en función del fenómeno, no desconoce la existencia de una visión de mecanismo en el sentido funcional. Según Garson (2017), desde esa perspectiva, los mecanismos se identifican por las funciones a las que sirven, y "función" es interpretada desde una connotación teleológica, o que suscita alguna intencionalidad o diseño que es motivo de varias controversias. La dimensión funcional podría ayudar a comprender, por ejemplo, que un mecanismo se rompe cuando no puede realizar la función que lo define y a distinguir entre el objetivo de un mecanismo y su subproducto. ... "El objetivo de un mecanismo es solo su función; un subproducto es cualquier efecto que es accesorio a su descarga de su función (en la literatura de funciones, un accidente)".(Garson, 2017, p. 108)

Un modelo de mecanismo ofrece una explicación o descripción paso a paso de la forma cómo interactúan los componentes de un mecanismo para producir un fenómeno. Sin embargo, atendiendo a su complejidad estructural y funcional, así como las múltiples interrelaciones que existen entre sus componentes, es imposible describir y explicar todas las relaciones causales necesarias para la producción de fenómenos en un modelo. Por tanto, cuando se explica cómo se lleva a cabo una función determinada dentro del organismo, por ejemplo, generalmente se seleccionan heurísticamente ciertos factores causales sobre otros factores causales no seleccionados, de manera que los mecanismos causales constituyen secciones espaciotemporales de los organismos (NICHOLSON 2012), elegidas atendiendo a criterios de procesos de abstracción e idealización.

Para Nicholson (2012), la organización aunque es un atributo sustancial de los mecanismos constituye un problema, dado que las explicaciones en términos de modelos de mecanismos se han centrado en indicar que existe y debe existir una organización, pero generalmente no explican cómo se organizan las entidades y las actividades de un mecanismo, u cómo se genera y mantiene esa organización. Pero, formular una explicación que satisfaga todos estos elementos resulta complejo porque se requiere tomar la descripción más allá del mecanismo al nivel del organismo en su conjunto. Las partes sub organísmicas no se organizan por sí solas, sino que dependen de la acción del organismo entero para su generación, organización y mantenimiento.

Si bien es complejo presentar una explicación de ese tipo, señalar la ubicación espaciotemporal de los componentes del sistema a nivel del organismo y del mismo mecanismo en sí, así como las interrelaciones entre cada componente, es una aproximación útil. No se trata de desconocer la complejidad en la organización o presentar una visión simplista que ignore los niveles de organización, sino de proponer alguno modelo heurísticamente útil, incluso para desarrollar la comprensión de su organización. Con ello, es factible también identificar otros mecanismos asociados para fortalecer una visión integral de los organismos vivos.

Bajo esas consideraciones, identificar y describir un mecanismo es dejar ver diversas relaciones. Implica descomponer una estructura en partes, identificando las localizaciones e interacciones de sus componentes, y describir las actividades de estos componentes como causas del fenómeno en juego, considerándose cierta organización espaciotemporal de los componentes y sus interacciones. En primer lugar, se ha de seguir una estrategia de descomposición que revela la relación entre las partes y con toda la estructura. Luego, desarrollar una estrategia de localización de las actividades de las partes, y, finalmente, identificar relaciones de causalidad entre partes y operaciones, así como entre estructura y función, dada cierta organización espaciotemporal.

Así, la caracterización de un mecanismo, en términos de un comportamiento y el mecanismo que lo produce, conduce a una descripción del comportamiento general del mecanismo y una descripción mecánica; es decir una descripción de las partes del mecanismo y su disposición funcional. La descripción del comportamiento dice lo que hace un mecanismo, mientras que la descripción mecánica expresa cómo lo hace (GLENAN 2005).

Atendiendo entonces a los aspectos centrales de un mecanismo, un modelo del mismo describe o representa aquello que es considerado como sus componentes (entes) y operaciones (actividades) relevantes, la organización de dichos entes (partes) y las operaciones dentro de un sistema, y la forma como se articulan y armonizan las operaciones para producir el fenómeno. Estos modelos guían en la comprensión e investigación de fenómenos, la formulación y prueba de explicaciones mecánicas (BECHTEL & ABRAHAMSEN 2008) Aunque pueden ser expresados a través de diferentes medios, generalmente se apela a los diagramas, dado que estos permiten seguir secuencias en paralelo y actividades dentro del mecanismo en una sola ojeada (CRAVER & BECHTEL 2006).

También se puede utilizar el espacio en el diagrama para relacionar o separar operaciones conceptualmente. Los diagramas representan los componentes, las actividades (frecuentemente representadas por flechas) y aspectos relevantes de la organización del mecanismo. Las relaciones temporales son simbolizadas en

términos espaciales mediante eventos rotulados conectados por flechas o en cuadros separados. Una operación procede, sigue o es simultánea con otra operación, y esto puede ser representado usando las dimensiones espaciales y haciendo uso estratégico de las flechas, de manera que se puedan superar limitaciones en cuanto al uso de las dimensiones del espacio del diagrama y se consiga representar el orden temporal (CRAVER & BECHTEL 2006).

Al observar las diferentes partes del diagrama y siguiendo el orden temporal, generalmente indicado por las flechas, se podrá simular las secuencias de operaciones, siempre que, por supuesto, el mecanismo sea lo suficientemente simple (ROUX 2017).

Sin embargo, una limitación de los diagramas es que son estáticos, lo que dificulta captar las relaciones dinámicas entre las partes con el comportamiento de todo el mecanismo. La información que se encuentra en ellos no puede ser transmitida verbalmente, o al menos no podría transmitirse tan fácilmente, y los procedimientos de inferencia son diferentes ya sea que uno comience con una proposición o con un diagrama. Así, quien estudia el diagrama debe imaginar las diferentes operaciones y, si el mecanismo es complejo, implicando múltiples componentes que interactúan y cambian mutuamente, esto resulta más complejo aún. De esta manera es importante elaborar versiones simplificadas de los diagramas y apoyarse en descripciones verbales, las constituyen un componente importante de los modelos de mecanismos y, por tanto, de las explicaciones expresadas a través de ellos (BECHTEL & ABRAHAMSEN, 2008).

Por consiguiente, la elaboración de un modelo no implica seguir estrictamente una serie de pasos, se trata de un proceso creativo que involucra varias acciones como identificar el fenómeno producido por el mecanismo, es decir, qué hace el mecanismo, así como determinar los límites del mismo y, si es necesario, subdividir el fenómeno en otros diferentes. En este proceso es necesario identificar los componentes del mecanismo a nivel estructural (separación en componentes, la descomposición) y funcional (actividades de partes del mecanismo, y lo que los componentes hacen, la localización), revisar si los

componentes específicos están relacionados con las actividades correspondientes y si las relaciones entre actividades y componentes son coherentes. Además, se requiere determinar cómo los componentes (entes) y las actividades están organizados en el mecanismo en términos espaciales y temporales en cuanto al mecanismo (GLENNAN 2005; CRAVER & BETCHEL 2006) y el organismo.

De manera general, en la elaboración de los modelos de mecanismos, así como de cualquier modelo, interviene un tejido de conceptos y proposiciones interrelacionados que permiten describir, explicar y prever fenómenos (HODSON 1998; JUSTI 2006). De este modo, la modelización, modelaje o elaboración de modelos es reconocida como una actividad fundamental en la ciencia y en el aprendizaje de la misma.

2.2. Modelos de mecanismos y modelización

La modelización es el proceso general de construcción, revisión y evaluación de modelos. No es simplemente un método en la ciencia, sino que comprende una serie de actividades interconectadas que impregnan todas las etapas del proceso de investigación, involucrando: organizar y comprender un problema; producir evidencias y evaluar modelos explicativos; desarrollar argumentos acerca del poder explicativo de un determinado modelo o sobre cómo este podría ser revisado, ampliado y/o mejorado en función de los objetivos para los cuales fue propuesto (SVOBODA & PASSMORE, 2013).

Para Odenbaugh (2005), la práctica de modelización es un conjunto de estrategias cognitivas que se pueden utilizar para perseguir objetivos particulares de la investigación científica. Mediante la modelización se organizan y articulan ideas acerca de cómo un fenómeno ocurre, cómo se comportará en determinadas situaciones y cómo se relaciona con otros fenómenos (CLEMENT 1989; NERSESSIAN 1992, 1999; OSBECK et al. 2010) Esta es una de las formas más creativas y generativas de razonamiento científico, por ende, una enseñanza basada en la elaboración de modelos podría permitir al alumno aprender sobre

modelos, su construcción, evaluación y validación para aproximarse a los modos de proceder en ciencias y desarrollar conocimientos específicos (SOUZA & JUSTI 2011).

Estudios empíricos mostraron que cuando los estudiantes se involucran en actividades de modelización, desarrollan una profunda comprensión de los conceptos y la capacidad de resolver problemas (WYNNE et al. 2001; LEHRER & SCHAUBLE 2005). Cada actividad del proceso de modelización constituye un contexto de aprendizaje y desarrollo de diversas habilidades. Por ejemplo, en actividades grupales propias del proceso de elaboración de modelos así como cuando se socializan los modelos, los estudiantes utilizan el razonamiento analógico para incorporar y modificar aspectos de los modelos de sus compañeros en los suyos, principalmente, cuando usan modelos bastante sencillos que tienen escasa similitud con datos empíricos tomados de la realidad (SVOBODA & PASSMORE, 2013).

De acuerdo con Gilbert y Justi (2016), la elaboración de modelos es un proceso complejo cíclico y no lineal de construcción del conocimiento que abarca cuatro etapas centrales relacionadas entre sí que no atienden a un orden específico: 1. Elaboración de un modelo mental inicial a partir del conocimiento previo y la experiencia con el objeto a modelar. 2. Expresar el modelo por cualquier forma de representación. 3. Testear el modelo propuesto. 4. Explicitar la validez y limitaciones del modelo.

El modelo cognitivo fundamentado en la construcción de modelos en el aula propuesto por Justi (2006) (Figura 5.) constituye un referente básico para las pretensiones de la presente investigación. Dicha propuesta para la modelización en el aula considera que comienzo es necesario tener claridad sobre el objetivo específico del modelo que ha de ser definido o explicitado por quien orienta el proceso. Es fundamental también reconocer que en ese primer momento se integran tres elementos: a. Propósito(s), es decir el objetivo que atiende el modelo; b. Experiencia(s): a partir del objetivo se examinan observaciones iniciales sobre de la entidad que está siendo modelada, es decir, experiencias que la persona ya tiene

o que pasa a tener con el «objeto» a modelar; y c. La fuente: se refiere a las formas de representación que serán usadas para expresar el modelo mental inicial.

En ese sentido, la aproximación al fenómeno para crear el modelo inicial se ha de apoyar en la revisión de la estructura cognitiva (es decir, de los conocimientos previos personales) de los estudiantes, el estudio de la literatura relacionada (es decir, el conocimiento previamente desarrollado por otras personas o comunidades) y/o el análisis de datos empíricos.

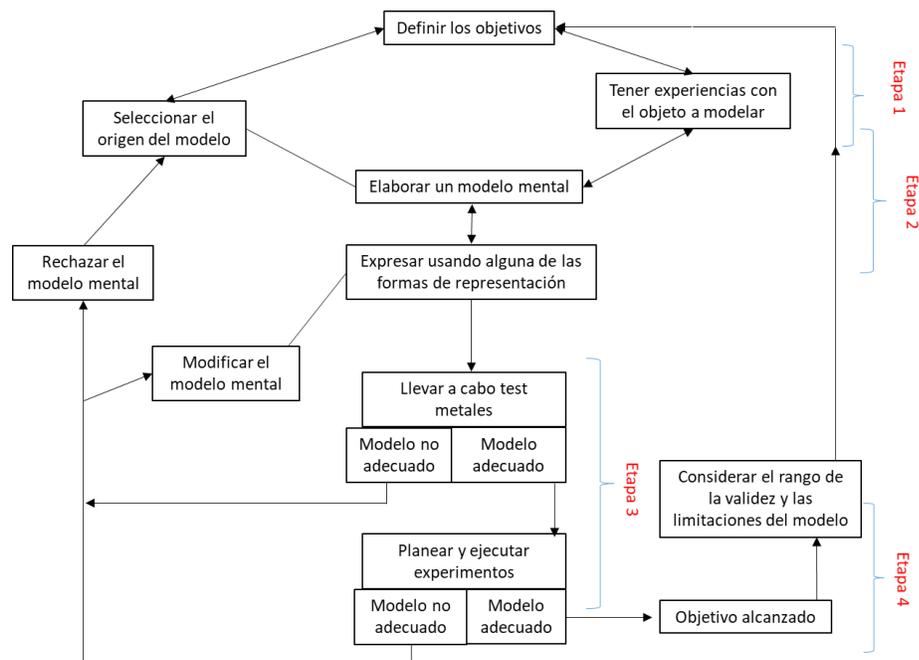


Figura 5. Diagrama del proceso de elaboración de modelos (tomado de Justi, 2006; Gilbert & Justi, 2016).

Esta es una etapa compleja, en la que existe gran interactividad entre cada uno de los elementos (Ver Figura 5), siendo incluso posible surgir un nuevo propósito o modificarse el modelo inicial. Un primer modelo es creado en la mente del estudiante, habitualmente siendo designado como un "modelo mental", que corresponde a la entidad creada en la mente para actuar como una herramienta epistémica (o para dirigir un propósito dado) (GILBERT & JUSTI 2016).

Como se indicó anteriormente, en el caso de los modelos de mecanismos, es importante seguir una estrategia de descomposición y localización (BECHTEL & RICHARDSON, 1993). La descomposición es una noción espacial, donde se

identifican partes de los mecanismos a través de sus ubicaciones, mientras que en la localización se identifican partes de los mecanismos por sus relaciones funcionales. En ese sentido, es necesaria una hipótesis de descomposición del sistema a modelar para identificar los componentes que serán incluidos en el modelo del mecanismo y una hipótesis de localización de funciones en los componentes del sistema, o sea, de las actividades de los componentes en el modelo que contribuyen con la ocurrencia (cumplen función para) del fenómeno que es objeto del mecanismo. Estas hipótesis serán testeadas cuando el estudiante realice experimentos mentales y empíricos para verificar previsiones originarias del modelo.

La siguiente etapa del proceso corresponde con la *expresión del modelo a través de cualquier forma de representación* (bidimensionales: dibujos, diagramas, mapas, bocetos, etc., tridimensionales: concretas, ya sea en escalas diferentes o analógicas; virtuales: simulaciones, gestuales, matemáticas y verbales). La selección del modo de representación es una acción clave guiada principalmente por el propósito o fines a tratar en el proceso, la naturaleza de los elementos a modelar (estáticos o dinámicos, concretos o abstractos), las prácticas epistémicas que se llevarán a cabo con la manipulación del modelo y su objetivo.

El modelador, es decir, el estudiante define también los códigos de representación y el significado de las características específicas del modelo resultante. En la modelización de un mecanismo, los diagramas son un medio de representación importante, que permite comprender la producción del fenómeno a partir del modelo de mecanismo (con los componentes, las actividades, la organización espacial y temporal propuesta en el modelo).

Una vez expresado el modelo mental, debe ser *testeado* a la luz de su consistencia teórica (conformidad con teorías científicas vigentes) y empírica (grado de apoyo por evidencias empíricas) para consolidar una segunda versión de un modelo que se muestre más capaz de satisfacer los objetivos de la modelización (por ejemplo, explicar el fenómeno)

El test puede implicar diseño y realización de experimentos mentales mediante los cuales se analicen cuestiones como la consistencia de la información respecto del fenómeno que presenta el modelo con el conocimiento consolidado en teorías científicas. También pueden diseñarse y ejecutarse experimentos empíricos según los recursos o condiciones disponibles, para producir evidencias necesarias para testar el modelo. Si un modelo falla en un test de uno u otro tipo debe ser rechazado o modificado. Modificarlo involucra la adición de nuevas experiencias, la reinterpretación o incluso ajuste en la selección de una fuente del modelo.

Por último, el modelo testado y ajustado o modificado a la luz de los resultados de los experimentos ha de ser *evaluado*. Esta actividad comprende la identificación del alcance y limitaciones del modelo a partir de su uso en diferentes contextos. En esta etapa, el autor o los autores del modelo, es decir, los estudiantes deben intentar convencer sobre la validez y utilidad del modelo. Tal vez, se identifique una limitación que restrinja el uso del modelo a contextos específicos o conlleve a la construcción de un nuevo modelo.

La ejecución de las etapas descritas ofrece a los estudiantes la posibilidad de experimentar diversas situaciones propias de la actividad científica, que ponen en juego un conjunto de habilidades identificadas y descritas por Maia (2009) y Justi y Gilbert (2016) (Tabla 3).

No obstante, para que las habilidades asociadas sean promovidas y la modelización alcance fines de aprendizaje coherentes con el quehacer científico, es fundamental planear, andamiar y orientar las actividades de manera tal que se motive, se involucre de forma activa al estudiante en el proceso y se le proporcionen los elementos adecuados para adelantar cada acción del proceso. En ese sentido, podemos postular que los videojuegos son elementos didácticos con alto potencial para apoyar el proceso de elaboración de modelos.

En los siguientes apartados se discute sobre los videojuegos educativos en el aprendizaje, se describe el videojuego Calangos y su potencial como herramienta para el aprendizaje de la termorregulación.

Tabla 3. Habilidades relacionadas con cada etapa de modelización (Tomado de Maia, 2009; Gilbert y Justi 2016)

Etapas de la modelización	Habilidades relacionadas
Creación del proto modelo (modelo mental inicial)	A. Definir los objetivos del modelo o comprender los objetivos propuestos por otra persona.
	B. Buscar información sobre la entidad que se va a modelar (en la estructura cognitiva del modelador y/o en las fuentes externas: bibliografía, actividades empíricas, etc.)
	C. Seleccionar y organizar la información disponible para atender el propósito del modelo en mente.
	D. Usar razonamiento analógico o herramientas matemáticas en las cuales basar el proto modelo
	E. Integrar toda la información y experiencias previas en la creación de un proto modelo.
Expresión del proto modelo – producción del artefacto (modelo)	F. Visualizar el proto modelo
	G. Usar algunos de los modos de representación (o combinación de ellos) para expresar el proto modelo
	H. Adaptar el modelo expresado al proto modelo mental (o viceversa) mediante comparaciones entre cada uno, entre ellos y con el propósito del modelo.
Test del modelo	I. Planear y conducir experimentos mentales.
	J. Planear y conducir experimentos empíricos.
	K. Analizar críticamente los resultados del test.
	L. Modificar o rechazar el modelo.
Evaluación del modelo	M. Identificar las limitaciones del modelo a través de su uso en diferentes contextos.
	N. Identificar el alcance del modelo tratando de usarlo en diferentes contextos.
	O. Convencer a otros de la validez del modelo.
	P. Persuadir a otros a usar un modelo dado.

2.3 Videojuegos educativos y Calangos como recurso para modelización

2.3.1 Videojuegos educativos

En el aula el juego constituye un género complejo de entornos de aprendizaje y ha sido reconocido como una actividad importante en el desarrollo cognitivo que no puede ser comprendido desde una única perspectiva de aprendizaje. Para Plass et al. (2015) muchos de los conceptos que son importantes en el contexto de los juegos, tienen aspectos relacionados con diferentes fundamentos teóricos: cognitivos, afectivos, motivacionales y socioculturales. Por ello, para que los juegos logren su potencial de aprendizaje, es fundamental considerar todas estas perspectivas, haciendo énfasis específico en una u otra, dependiendo de la intención y el diseño del juego en el contexto de enseñanza y aprendizaje.

Enfoques conductistas conceptualizaron el aprendizaje como un proceso de formar conexiones entre estímulos y respuestas. Donde se suponía que la motivación por aprender era estimulada principalmente por impulsos, como el hambre, y la disponibilidad de fuerzas externas, tales como recompensas y castigos (THORNDIKE, 1913; SKINNER, 1950) El estudio de fenómenos tales como la comprensión y razonamiento no fueron desarrollados.

Perspectivas más recientes, asociadas a diferentes corrientes del constructivismo, enfatizan la comprensión y se focalizan en los procesos de conocimiento (por ejemplo, Piaget, 1978; Vygotsky, 1978). Los estudiantes son considerados como entes activos en el aprendizaje, que tienen una gama de conocimientos, habilidades, creencias y conceptos previos, los cuales influyen en lo que observan, en sus habilidades para recordar, razonar, resolver problemas, etc. (BRANSFORD et al, 2000). Salen (2008), por su parte, propone que las personas piensan y aprenden principalmente a través de experiencias que utilizan para ejecutar simulaciones en sus mentes para la resolución de problemas en situaciones nuevas. Desde estas perspectivas, el rol del juego en el aprendizaje gana mayor atención.

Teniendo en cuenta que existen diversos argumentos desde lo cognitivo y el sociocultural sobre por qué juegos propician entornos de aprendizaje efectivos, presentaré algunas consideraciones respecto del potencial de los videojuegos educativos en el aprendizaje, más específicamente de las ciencias, no sin antes precisar sobre lo que es un videojuego educativo, una modalidad de lo que más recientemente ha sido llamado juegos serios (MICHAEL & CHEN 2006; BREUER & BENTE 2010; CHARSKY 2010).

Los videojuegos son programas informáticos interactivos, hipertextuales, que integran audio y vídeo para narrar una historia, generar situaciones de competencia y de cooperación, simular ambientes y/o acontecimientos que permiten a los jugadores tener experiencias que, en la mayoría de los casos, sería difícil vivir en la realidad (GARCÍA 2005; CABAÑES 2012; KLOPFER et al., 2009). Como todos los juegos, tienen la finalidad de entretener y divertir a quien los ejecuta, de manera que

en ellos la diversión no es un ingrediente, sino un resultado. La diversión es una sensación que genera una retroalimentación positiva que motiva a jugar nuevamente (MICHAEL & CHEN, 2008). Así, es importante que, aunque un juego sea educativo, la diversión y motivación permanezcan como elementos presentes en el.

El poder instructivo de un juego se soporta en la adaptabilidad a diversas situaciones, objetivos de aprendizaje y capacidades de aprendizaje de los distintos jugadores, la existencia un sistema de reglas formales, el vínculo emocional entre el jugador y los resultados, incluso considerando la variabilidad de estos últimos, una vez que los resultados pueden tener diferentes valores y generar diversos tipos de retroalimentación (HAYS, 2005; JUUL 2005; KLOPFER, OSTERWEIL & SALEN, 2009).

Los videojuegos educativos no tienen el entretenimiento, el disfrute o la diversión como principal propósito. Esto no significa que no deban ser capaces de generar entretenimiento o ser divertidos (MICHAEL & CHEN, 2008). Es sólo que su objetivo principal es el aprendizaje de un tema, o el desarrollo o fortalecimiento de determinadas actitudes o competencias. Los videojuegos constituyen herramientas y contextos con múltiples características que apoyan objetivos educativos porque permiten a los estudiantes adoptar una nueva identidad, siendo interactivos, retroalimentando al jugador y tornando posible evaluar su estrategia de juego. Además, involucran resolución de problemas, motivan, desafían, divierten e integran otros atributos, como se expone a continuación:

1. Adopción de una nueva identidad: los videojuegos permiten al estudiante experimentar sensaciones de otros roles o personajes y, así, apropiarse de funciones o tareas por resolver que no son comunes en su diario vivir. Juegos asociados con temas de ciencia permiten al estudiante asumir papeles como científicos o tener una visión más cercana de fenómenos, puesto que están vinculados en forma evidente con algún aspecto del mundo real (hechos, objetos, organismos, fenómenos etc.) (MICHAEL & CHEN 2006)

2. *Interactividad*: el videojuego promueve interacciones con ambientes simulados y/o con otros jugadores. La interacción es un componente importante del aprendizaje, dado que proporciona espacios para que los estudiantes discutan ideas, evalúen y modifiquen o amplíen lo comprendido sobre cierto fenómeno. En el caso de los videojuegos, esta interactividad permite además sumergirse en un mundo virtual para experimentar sensaciones u observar fenómenos que el sujeto no puede apreciar en el mundo real.

3. *Evaluación de estrategias y retroalimentación*: de acuerdo con Gee (2005), los juegos no castigan por el error, sino que estimulan a mejorar la estrategia. En consecuencia, un buen juego incentiva a los estudiantes a prever situaciones y formular supuestos sobre ellas. Así, mientras juega, el estudiante puede evaluar esos supuestos, reelaborarlos y contrastarlos, en un proceso que ha sido llamado por McGonigal (2011) “*feedback*”. En él los jugadores pueden aprender de los errores siempre y, cuando el juego permite revisar sus estrategias de juego para analizarlas, trazar una nueva estrategia o entender por qué alcanzó éxito en su juego. Así, se puede en un videojuego estar involucrado en actividades de manera similar a la actividad científica de formular hipótesis o modelos para someterlos a test experimentales, ajustarlos o proponer nuevos modelos o hipótesis, cuando la evidencia indica que no alcanzan los objetivos para los cuales fueron propuestos.

4. *Resolución de problemas*: alcanzar el objetivo de un juego, ganarlo, o alcanzar éxito en el mismo implica resolver varias situaciones propias del juego que no tienen una solución inmediata. El juego en sí es un problema por resolver, lo que implica que el jugador reconozca cuál es la meta del juego y qué acciones debe ejecutar para alcanzarla, es decir, resolver pequeñas situaciones para solucionar una situación más general. En este proceso debe observar un fenómeno o situación desde diferentes perspectivas para ejecutar acciones pertinentes. De manera similar, cuando los estudiantes aprenden ciencias, se enfrentan a fenómenos que deben analizar desde diversas perspectivas, para explicarlos; crear significados a través de la relación entre las nuevas informaciones con las que se enfrenta y los

esquemas de conocimientos previos. Resolver problemas es una de las actividades propias de la ciencia y, como tal, una práctica inherente al aprendizaje de la misma.

5. *El reto, la competencia y el carácter lúdico*: una de las problemáticas que enfrenta la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias es la falta de interés por parte de los estudiantes. Así el desafío, el reto, la colaboración, la competencia y el carácter lúdico de los videojuegos pueden ser un elemento importante para motivar los estudiantes. Para ello, se requieren videojuegos con acciones desafiantes que generen estímulo, teniendo especial cuidado de que retos con alto grado de dificultad o un manejo no equilibrado de la competencia causen presión innecesaria que resulte en desmotivación (WHITTON, 2009). También es importante que el videojuego permita abordar contenidos que resultan poco interesantes y difíciles de entender en el abordaje usual en clase, sin perder la condición recreativa. Es decir, debe existir un equilibrio entre sus funciones lúdica y educativa (BLUMBERG et al. 2013).

Un videojuego educativo se apoya en el aprendizaje constante y dispone de alternativas con el fin de adaptarse a las capacidades de aprendizaje de los distintos jugadores, buscando ayudar en un aprendizaje más profundo. Gee (2008, p. 1028), por ejemplo, argumenta que "los buenos videojuegos hacen que los jugadores piensen como los científicos".

No todos los videojuegos con fines educativos consiguen ser buenos videojuegos, en la medida que no logran integrar y armonizar las características citadas anteriormente. Estas restricciones socavan los principios fundamentales necesarios para una comprensión de conceptos científicos y el trabajo en ciencia (YOUNG et al. 2012). A pesar de que el fin principal de los videojuegos educativos es el aprendizaje y su diseño atiende a la necesidad de explorar formas alternativas de enseñanza, existen tres situaciones centrales que constituyen una problemática para los videojuegos educativos:

1. La escasa evidencia sobre su influencia sobre el aprendizaje de las ciencias como se explicita en párrafos posteriores, más específicamente la biología (en vista de nuestro interés en este trabajo). Es necesario consolidar una base

empírica robusta que dé cuenta y permita aprovechar mejor las complejas interacciones entre los estudiantes, entornos virtuales, entornos reales, elementos narrativos y la mecánica del juego, y la naturaleza integrada de las ciencias.

2. Otra situación tiene que ver con los aspectos de diseño de los videojuegos, que con frecuencia sobrepasan los contenidos o el aspecto lúdico, no presentan coherencia curricular o siguen un formato similar a juegos tradicionales, solamente presentado en un entorno virtual.
3. La tercera es la inexistencia o la poca claridad de orientaciones sobre las formas como cada videojuego puede ser usado en el aula. Las actividades que se han usado para involucrar los videojuegos en la enseñanza de las ciencias enfocan principalmente un aprendizaje con un sesgo memorístico de conceptos específicos o la modificación de algunas actitudes, más no la comprensión de fenómenos y el desarrollo de habilidades científicas.

Tal vez una situación problema sea consecuencia de otra, es decir, que cierta relación entre las problemáticas es posible. Por ejemplo, que la falta de orientaciones en relación con el uso de los videojuegos como recurso de aprendizaje esté asociada con la poca evidencia empírica sobre los efectos en el aprendizaje, pero explorar puntos como este no es el propósito de esta discusión. Por ello, el propósito que se persigue a continuación es presentar algunas consideraciones y fuentes que sustentan las situaciones mencionadas.

Young et al. (2012) identificaron más de 300 artículos relacionados con videojuegos y rendimiento académico, y observaron que la mayor parte de los estudios se concentran en el aprendizaje del idioma, la historia y la educación física, con apenas 11 estudios sobre el aprendizaje de la ciencia y, entre ellos, solo 5 contenían algún dato empírico que tenía como variable dependiente primaria el rendimiento académico. Además, argumentan que las investigaciones publicadas no son consistentes en términos de las actividades que están siendo monitoreadas, los resultados de aprendizaje evaluados, o los tipos de juegos basados en la ciencia que son usados como variable de tratamiento. Para ellos, los resultados son

consistentes con el informe de 2011 presentado por el *National Research Council* de los Estados Unidos, donde se muestran resultados no concluyentes sobre los efectos de los videojuegos en los logros académicos.

En una revisión más reciente, centrada en los videojuegos usados para el aprendizaje de las ciencias, se señalan vacíos en la información suministrada por varios estudios, como tipo de juego, objetivo, duración de las intervenciones y ambientes de aprendizaje usados (RITZHAUPT et al. 2014).

Por su parte, Hoyos y Gomez (2013), mediante un análisis de trabajos publicados entre 2008 y 2010 sobre videojuegos elaborados para ser usados en contextos educativos diversos, identificaron logros en el aprendizaje de las matemáticas. Pese a que esos hallazgos no son específicos para las ciencias, aportan un elemento importante a tener en cuenta para su uso en el aula, que es coherente con lo que propuesto por Young et al. (2012), quienes destacan la importancia de un uso guiado del juego en el aula, que tome distancia de la simple transmisión de información en entornos virtuales, y establezca un equilibrio entre el contenido y las propiedades de jugabilidad y ludicidad del juego, entre otras.

En ese sentido, la utilización de videojuegos en los que se mezclan adecuadamente los contenidos conceptuales con la propia fantasía de juego tiene resultados de aprendizaje positivos (KLISCH, MILLER & CROOK, 2009). Por ejemplo, en una experiencia de aula con el juego "*Creature Control: The Quest for Homeostasis*", fue permitido a los estudiantes, en varias sesiones de juego, revisar, discutir ideas, y reformular esquemas y analizar cómo el juego ilustra funciones del sistema circulatorio, sistema nervioso, sistema tegumentario, y otros sistemas del cuerpo en la termorregulación (DIBLEY & PARISH 2007) A partir de estos resultados, los autores consideran que el juego motiva y facilita el aprendizaje de la termorregulación, siempre que el docente guie las actividades, motive y oriente a los estudiantes a formular preguntas y buscar respuestas en el videojuego.

En otros videojuegos, los resultados de experiencias con su uso parecen no ser significativos en términos de aprendizaje. Resultados con el videojuego "*Web Earth Online*", usado en la enseñanza de ecología, reflejaron efectos contrarios en

el grupo experimental. Aunque ambos grupos mostraron un avance general en el aprendizaje, el grupo experimental tuvo puntajes inferiores, lo que lleva a los investigadores a revisar la mecánica del juego y las interacciones que contribuyen a las ganancias en el aprendizaje (HARRIS, 2008). En el campo de la genética, Annetta et al. (2009) no encontraron diferencias significativas en el aprendizaje sobre herencia Mendeliana entre el grupo experimental y el control al evaluar el juego “MEGA”, aunque tengan observado resultados más favorables en aspectos motivacionales y relativos al compromiso (su estado de enfoque, concentración, inmersión y atención de los estudiantes)

Unsworth et al. (2015), en su estudio sobre las relaciones entre la experiencia de jugar videojuegos y las capacidades cognitivas con dos grupos extremos, observó que los jugadores experimentados en videojuegos superaron a los no jugadores en varias medidas de capacidad cognitiva. Sin embargo, cuando los análisis examinaron la gama completa de sujetos usando una muestra más grande y más representativa, así como una medida continua en vez de categórica de la experiencia del videojuego, casi todas las relaciones entre la experiencia de videojuegos y las capacidades cognitivas fueron cercanas a cero. Estos autores sugieren, así, que las relaciones entre la experiencia de videojuegos y las habilidades cognitivas fundamentales (memoria de trabajo, inteligencia fluida, control de atención y velocidad de procesamiento) es débil o inexistente.

En los trabajos citados anteriormente las actividades que se han usado para involucrar los videojuegos en la enseñanza de las ciencias enfocan principalmente un aprendizaje de conceptos específicos o la modificación de algunas actitudes, más no la comprensión de fenómenos y el desarrollo de habilidades científicas. Eso contrasta con el potencial de la elaboración de modelos, como un proceso que involucra etapas, dinámicas y procesos diferentes que implican una posibilidad de un abordaje más amplio y profundo en el aprendizaje de y sobre ciencia. Desde ahí, sigue la relevancia de investigar el papel que videojuegos pueden tener en la aprendizaje sobre modelización y haciendo uso de modelos, como se pretende con el videojuego Calangos. Más aún, cuando en la revisión de literatura no

identificamos un estudio o una propuesta en la que se emplee el juego o los videojuegos para la elaboración de modelos en biología.

2.3.2. El videojuego Calangos y su uso en actividades de modelización

Los siguientes párrafos tratan las características del videojuego Calangos, enfatizando aquellas que son útiles para el trabajo de elaboración de modelos en el aula.

El videojuego Calangos ha sido diseñado buscando superar algunas de las limitaciones de diseño de los videojuegos para la educación científica y ha evidenciado algunos logros positivos en relación con la termorregulación en animales ectotermos cuando fue usado en una secuencia didáctica para el aprendizaje del concepto de nicho en la educación básica secundaria (LOULA et al. 2014). Es un juego de uso libre y código abierto disponible en inglés, español y portugués en <http://Calangos.sourceforge.net/>, cuyos aspectos de programación y descripción son detallados en Loula et al. (2014).

Calangos simula un contexto ecológico real de dunas de arena ubicadas en el bioma semiárido Caatinga en Brasil (Figura 6), lo cual permite al jugador (el estudiante) visualizar factores ambientales que influyen en el comportamiento de los lagartos que viven en este ambiente, así como las interacciones del animal con el ambiente, incluyendo otros animales de la misma y de otras especies. Estos aspectos facilitan procesos de modelización, considerándose que los modelos se construyen a partir de una mezcla de elementos tanto de la realidad modelada como de la teoría, y también de otros elementos externos a ellos (MORRISON & MORGAN, 1999). El ambiente simulado en el juego y los factores modelados permiten al estudiante hacer observaciones directas o indirectas, cualitativas o cuantitativas de la entidad a ser modelada de manera que tales observaciones apoyan en la construcción de un modelo mental inicial (JUSTI 2006)

El objetivo del juego es que un lagarto macho (de las especies *Tropidurus psammonastes*, *Cnemidophorus* sp. nov. e *Eurolophosaurus divaricatus*, que

pueden ser seleccionadas pelo jugador) logre sobrevivir, desarrollarse y reproducirse. Gracias a la simulación de aspectos climáticos y de respuestas de los lagartos a la temperatura del ambiente, el estudiante podrá, mientras juega, observar y analizar cómo la temperatura interna del animal es un factor determinante para el desarrollo y supervivencia del animal (Figura 6). En principio, podrá observar y evaluar comportamientos y factores que le permitirán mantener la temperatura en rangos de tolerancia y a partir de ello identificar los componentes del mecanismo a modelar para explicar el fenómeno de termorregulación en animales ectotermos. También podrá formular preguntas sobre animales endotermos, animales endotermos – ectotermos, incluso termoconformes y así tomar decisiones sobre el aspecto del mecanismo que será modelado.

Otra característica destacada de Calangos es que permite al jugador generar gráficas de dispersión (Figura 7) que relacionan variables (temperatura interna del animal, temperatura del suelo, temperatura del aire, hidratación, energía del animal, tiempo de juego) las cuales describen el comportamiento pasado del lagarto y evidencian la influencia y relación de dichas variables con el progreso del animal durante el juego. A partir de ello, el jugador podrá analizar los resultados de su estrategia de juego, hacer predicciones sobre la supervivencia del animal, su desarrollo y reproducción. Así podrá replantear su estrategia de juego y, desde el punto de vista de la modelización, esto se convierte en un contexto auténtico para identificar aspectos del fenómeno que serán representados en el modelo, la organización de los comportamientos que serán representados, así como testear el modelo propuesto.



Figura 6. Interfaz gráfica de usuario del videojuego Calangos. Se observa un lagarto (*Tropidurus psammonastes*) macho, un depredador (gato salvaje, *Leopardus tigrinus*), algunas hormigas que forman parte de la dieta, vegetación propia de las dunas. En la derecha están los indicadores de estado: a. Reloj de tiempo (indicando que es día), b. Estado energético del animal, c. Hidratación, d. Temperatura corporal, e. Temperatura del suelo, f. Humedad relativa, g. Edad. h. Número de huevos. i. Generador de gráficas.

Evaluar un modelo implica el análisis de las variables representadas que permiten comprender mejor el fenómeno y por tanto, le confieren mayor poder explicativo. Se observa en esta característica del juego un elemento potencialmente muy poderoso en términos del desarrollo de habilidades científicas.

El análisis de las gráficas puede ser empleado como actividad que fortalece los experimentos mentales o como una actividad planeada que conduce a test experimentales tangibles. Justi (2006) reconoce que las actividades experimentales en clase no pueden ser de tipo ilustrativo sino de naturaleza investigadora, de manera que posibiliten a los estudiantes el uso de sus conocimientos previos y habilidades en la solución de problema. La experimentación va más allá de la recolección de datos e interpretación directa, siendo necesario que apoye el proceso de modelaje, principalmente en la etapa de evaluación. La naturaleza investigadora

de las actividades empleando el videojuego Calangos puede favorecer el aprendizaje de ciencias por medio de la modelización.

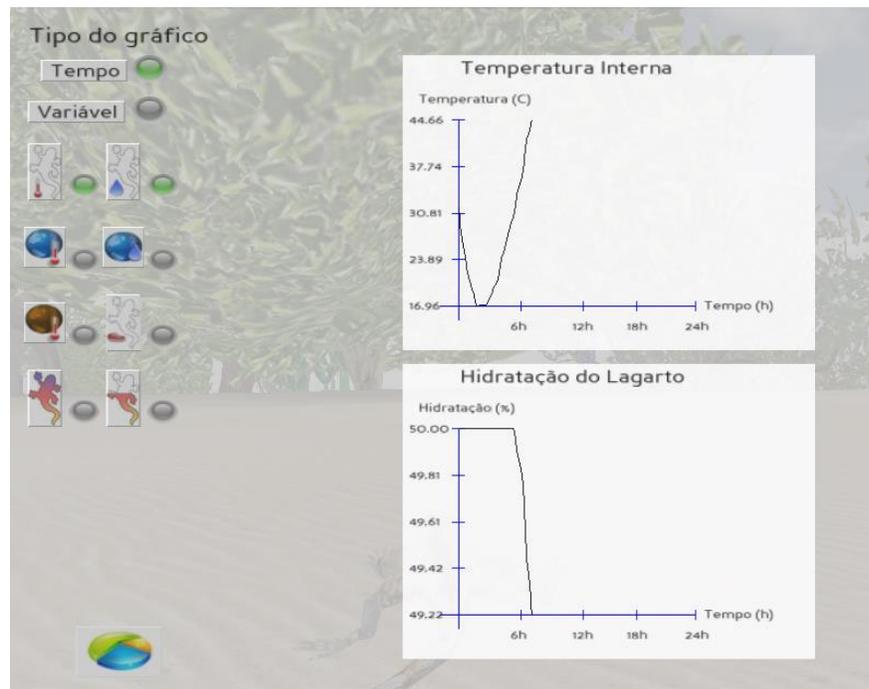


Figura 7. Gráficas de dispersión generadas por el videojuego Calangos. Durante la ejecución del videojuego, el jugador tiene acceso a valores instantáneos de las variables simuladas y a los cambios de esas variables a través del tiempo de juego, por medio de gráficas de dispersión originadas por el generador de gráficas.

Sumado a lo anterior, Calangos tiene un conjunto de atributos que pueden actuar como complemento en la elaboración de modelos, fortaleciendo habilidades promovidas por dicha actividad y generando sinergia entre estos dos recursos de aprendizaje. Para alcanzar el objetivo del juego, el estudiante necesita desarrollar una estrategia eficiente en la actividad diaria de un lagarto. Puede escoger los microhábitats que le proporcionarán las condiciones adecuadas de temperatura y humedad para regular su temperatura corporal, mediante estrategias comportamentales, debe ser capaz de evitar depredadores y encontrar comida para sobrevivir y crecer, y, después de alcanzar la edad adulta, encontrar pareja sexual y reproducirse después de la lucha contra otros machos, si es necesario.

El videojuego tiene un modelo climático basado en datos reales conectados con modelos de relaciones ecológicas entre individuos y el ambiente, con el fin de se refuerce el realismo y, también, la atmosfera lúdica de un buen juego, mejorando

el interés del jugador por descubrir cuál estrategia puede desarrollar para alcanzar el objetivo. Así, el estudiante debe enfrentar todos los desafíos que la trama del videojuego le presenta y, a partir de la resolución de situaciones problema planteadas por la experiencia de primera persona como lagarto en el juego y de la evaluación de estrategias utilizadas para resolver los problemas, el juego podrá promover, mediante la modelización, habilidades y actitudes propias de la actividad científica, que pueden facilitar el aprendizaje de las ciencias.

En este capítulo hemos dilucidado sobre la necesidad de un tratamiento explícito del concepto de termorregulación en la enseñanza y aprendizaje de la biología a nivel de la educación secundaria y discutimos sobre un tratamiento del mismo desde la perspectiva de un mecanismo biológico como acción base para promover la comprensión de la homeóstasis y superar visiones aisladas de los fenómenos biológicos. Con ello pusimos de manifiesto la importancia de estudiarlo mediante la elaboración de modelos y de incluir un videojuego, el videojuego Calangos, como un recurso que posibilita la observación de atributos relevantes de termorregulación y puede contribuir en el fortalecimiento de habilidades que son desarrolladas mediante actividades de modelización. En cada caso, expusimos elementos que constituyen una problemática educativa y a la vez propusimos algunas ideas que pueden ser materializadas en el aula y merecen ser exploradas con el fin de identificar elementos centrales para diseñar estrategias que aporten en la solución de la problemática.

3. La investigación de diseño como referencial metodológico

Desde esa perspectiva, la investigación se desarrolló siguiendo los referentes de la investigación de diseño educacional (*educational design research*), entendida como un estudio sistemático de diseño, desarrollo, evaluación y mantenimiento de intervenciones educativas como solución a problemas en la práctica educativa, así como para avanzar en el conocimiento de las características de estas intervenciones, y los procesos de diseño y desarrollo de las mismas, con el

propósito de desarrollar o validar teorías sobre enseñanza específicas para dominio bien demarcado de la práctica pedagógica (VAN DEN AKKER, 1999; PLOMP & NIEVEEN, 2009; MOLINA et al. 2011).

Como ha sido discutido en los apartados anteriores, el estudio aborda una temática de investigación que integra tres elementos importantes en el aprendizaje de la biología: termorregulación como mecanismo homeostático, la elaboración de modelos en el aula y Calangos como videojuego educativo. A partir del análisis de dichos elementos, se proponen principios de diseño de una secuencia didáctica que son analizados mediante su implementación a la vez que se exploran otros. Así, siendo la secuencia didáctica una unidad de intervención constituida por actividades no aditivas sino articuladas, inter-relacionadas que siguen un encadenamiento coherente con un objetivo de aprendizaje, su construcción y perfeccionamiento constituyen un proceso sistemático de discusión, revisión, evaluación y ajuste en función del objetivo de aprendizaje así como de las formas en que esta debe ser desarrollada en el aula (GUIMARÃES & GIORDAN, 2012).

La investigación de diseño educativo incluye dos tipos de estudio (NIEVEEN et al., 2006): estudios de desarrollo de innovaciones educativas y materiales didácticos asociados y estudios de validación de teorías de enseñanza dominio-específicas. En el caso de nuestro estudio, se sigue la línea de los estudios de desarrollo, buscando resolver un problema educativo a partir de la producción de principios de diseño que pueden tener carácter sustantivo cuando se refieren a características generales de la intervención, o procedimental, cuando se trata de las características la aplicación de la intervención en un aula específica.

Estos principios pueden ser transpuestos a nuevas aplicaciones de la intervención y, a partir de ellos, puede emerger una teoría de enseñanza dominio-específica para estudios de validación posteriores. Es importante enfatizar que no son las innovaciones en sí mismas que son consideradas generalizables en la investigación de diseño, sino los principios sustantivos usados en su planeamiento. Las innovaciones mismas son constructos adaptables a situaciones de enseñanza específicas y a la práctica docente de maestros particulares, orientados por

principios que son generalizables, de acuerdo con esta moldura teórico-metodológica.

En este estudio, más allá de solamente crear un diseño efectivo para la enseñanza y el aprendizaje, se persigue ampliar el conocimiento sobre los procesos de planeación e implementación en el aula y las características de la intervención que son favorables para alcanzar el objetivo de aprendizaje propuesto. Además, se busca explicar por qué el diseño funciona y sugerir formas en las cuales puede ser adaptado a nuevas circunstancias (MOLINA et al. 2011)

Así, la capacidad de generalización está relacionada con la replicabilidad, es decir, los aspectos del proceso de enseñanza y aprendizaje estudiado que pueden repetirse en otros contextos o situaciones. Implica que otros serán capaces de usar los productos para promover aprendizaje en contextos diferentes. A la luz de los mismos principios de diseño sustantivos, se tendrá la posibilidad de construir diversas innovaciones, con otra estructura, utilizando distintos principios procedimentales.

El énfasis sustantivo de un principio de diseño se refiere a características más generales de la intervención, es decir, se refiere a lo que se aconseja hacer de modo generalizado para alcanzar determinado objetivo educativo, pero no al cómo hacer en un contexto particular de aplicación. Por su parte, el énfasis procedimental se refiere a las características necesarias para la implementación y realización de una característica sustantiva en una innovación educativa; son específicas de los contextos educativos donde fueron implementadas las innovaciones o donde se implementarán, por lo que su generalización sólo sería posible mediante una descripción detallada del contexto de implementación, lo que incluye el plan de curso de la disciplina escolar, las clases dedicadas a la enseñanza del tema y otros aspectos que permitan el reconocimiento de semejanzas en relación con otros contextos educativos. Solamente de esa forma sería posible justificar la transferencia de los procedimientos utilizados, con las debidas adaptaciones, por otros educadores o investigadores (VAN DEN AKKER, 1999).

La investigación de *design educacional* tiene carácter cíclico: las actividades de análisis, diseño, evaluación y revisión se iteran hasta lograr un equilibrio adecuado entre lo que se pretende y la realización. A través de ciclos continuos de puesta en práctica, análisis y rediseño se producen, testan, y refinan conjeturas sobre el fenómeno de aprendizaje en estudio y los medios que lo sustentan. Las conjeturas se basan en las evidencias que se van consiguiendo y en los fundamentos teóricos de manera que ambas fuentes, teorías y evidencias, actúan de manera entrelazada. Los constructos teóricos son empleados en el diseño y en la interpretación de los datos recogidos y pueden ser modificados en su puesta en práctica. Por tanto, la investigación no pretende la confirmación de los constructos teóricos previamente elaborados, sino en la acomodación del modelo a la realidad observada (MOLINA & CASTRO 2011). En ese sentido, el proceso de investigación sigue tres fases principales:

1. Investigación preliminar, incluyendo el análisis de las necesidades y del contexto, la revisión de la literatura, la movilización del saber docente y la elaboración de un marco conceptual o teórico para el estudio.

2. Fase de desarrollo o prototipado que es una fase iterativa de diseño y test de las innovaciones, constituyendo una serie de micro ciclos de investigación con evaluación formativa, como actividad de investigación dirigida a mejorar y refinar la intervención. Se trata de reflexionar sobre resultados parciales obtenidos, con el fin de reconocer avances y fallas importantes. Más allá de concentrarse en ubicar las deficiencias de la intervención en su versión actual (borrador), la evaluación formativa se centra en generar sugerencias sobre cómo mejorar esos puntos débiles, cómo fortalecer una intervención (VAN DEN AKKER, 1999).

En estos micro ciclos, es necesario recoger extensos registros para capturar todo el proceso: observaciones sobre la enseñanza, aspectos procedimentales, lo que los alumnos, los docentes y los investigadores aprenden a lo largo de la intervención, así como el estado de los estudiantes al final de ella (DBRC, 2003). También se deben registrar las decisiones tomadas en el planeamiento e investigación de cada ciclo, con sus justificativas, para producir una descripción

detallada de la evolución de la investigación y tener mayores elementos para evaluarla sistemáticamente. Los métodos de recolección de datos son desarrollados y perfeccionados a la medida que la investigación avanza, buscando adaptarse al contexto de la situación de enseñanza/aprendizaje e ir agregando información de diferentes fuentes. En este procedimiento, es posible que se recolecten muchos más datos de los que se podrán analizar y emplear, por lo que es preciso delimitar la información para tomar aquella que es relevante para el fin de la investigación, a la luz de las cuestiones que se intenta responder (HJALMARSON & LESH, 2008).

3. Fase de evaluación, para concluir si la solución o intervención cumple con las especificaciones preestablecidas, con lo que se pretende con la intervención. Generalmente es desarrollada por métodos experimentales, triangulación de datos obtenidos de opiniones de los docentes y expertos así como los resultados de aprendizaje, con un propósito centrado en medir la efectividad de intervenciones "maduras" (PLOMP & NIEVEEN, 2009). Se usa para determinar que la instrucción funciona como se pretendía fuera del entorno controlado que típicamente se usa durante la evaluación formativa.

También esta fase a menudo resulta en recomendaciones para mejorar la intervención, sin embargo, lo que es más importante es la producción de una teoría de enseñanza dominio específica, conformada por los principios de diseño. Implica un análisis de datos continuo que se realiza durante los diferentes ciclos y un análisis final retrospectivo de todos los datos recogidos en el proceso de investigación (VAN DEN AKKER, 1999; PLOMP & NIEVEEN, 2009). Las cuestiones a las que da respuesta el análisis continuo de datos al largo del prototipado son típicamente de carácter práctico y están directamente relacionadas con la enseñanza y el aprendizaje. En cambio, el análisis retrospectivo persigue contribuir al desarrollo de un modelo teórico de ese proceso de aprendizaje (COBB, 2000), lo cual puede ser sometido después a estudios de validación, otro tipo de investigación de diseño.

CAPÍTULO III. METODOLOGÍA

Como se mencionó anteriormente, se llevó a cabo un estudio de desarrollo en el cual la innovación, es decir la secuencia didáctica para la elaboración de modelos sobre termorregulación en vertebrados terrestres usando el videojuego Calangos, fue aplicada y reformulada iterativamente en función del objetivo educativo propuesto.

El diseño metodológico siguió las tres etapas principales de la investigación de diseño como se indica en la figura 8. Fueron propuestos dos prototipos de la secuencia, evaluados y reformulados en dos microciclos (fase de prototipado).

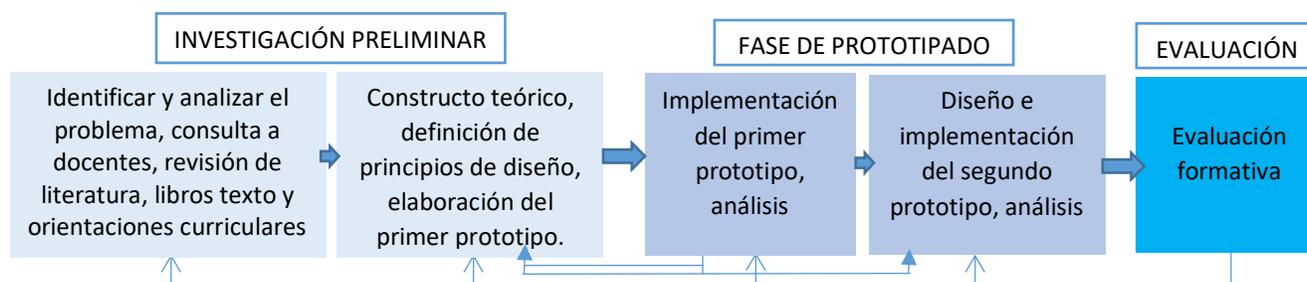


Figura 8. Diseño general de la metodología de la investigación

1. Investigación preliminar:

Esta fase comprendió varias subetapas (A-E, abajo), de las cuales cuatro se centraron propiamente en la elaboración del marco de referencia mientras que la última se centró en el diseño del primer prototipo. Los resultados de esta fase, excepto el primer prototipo de la secuencia didáctica, se detallan en el capítulo II (Referentes teóricos) mientras que el primero y segundo prototipo de la secuencia se describen en el capítulo IV (Resultados).

A. *Revisión de literatura especializada.* Se revisó hasta el 29 de marzo de 2018, la literatura sobre didáctica de las ciencias que trata termorregulación y

homeóstasis en las bases de datos ERIC, Scielo, Redalyc, Dialnet, Latindex e Google Acadêmico®. También lo relacionado con los videojuegos educativos centrado en el aprendizaje de conceptos científicos en las mismas bases de datos anteriores y en EdITLib (centrada en educación y tecnología) Digital Library, Elsevier y Science Direct.

En el caso de termorregulación usamos los términos ‘thermoregulation’, ‘temperature regulation’, ‘thermal regulation’, ‘termorregulación’, ‘regulación de la temperatura’, ‘termorregulação’, ‘regulação da temperatura’, ‘homeostasis’ ‘homeóstasis’ y ‘homeostase’.

Para los videojuegos usamos las palabras: “videojuegos educativos”, “serious games” y “jogos eletrônicos”.

B. Consulta profesores de básica secundaria. Se construyó y aplicó un cuestionario mediante el aplicativo Google Forms® para profesores de ciencias en el nivel de básica secundaria (Anexo 1). El cuestionario estuvo conformado por cinco preguntas e indagaba por el lugar de trabajo, si ellos enseñaban termorregulación en animales, el grado en el cual lo enseñaban, los conceptos con los cuales lo asociaban, y los libros de texto que empleaban en sus clases. El cuestionario fue divulgado a través de mensaje de correo a docentes de colegios públicos, grupos de WhatsApp y Facebook. Fue resuelto por 16 profesores de Ciencias Naturales de 11 municipios de Colombia.

C. Revisión de orientaciones curriculares y libros de texto: en primer lugar se revisaron los estándares básicos de competencia en Ciencias Naturales¹¹, las orientaciones del ICFES (Instituto Colombiano para el Fomento de la Educación Superior) sobre la evaluación nacional (Pruebas Saber) y de los libros de texto usados por los profesores que respondieron el cuestionario. Posteriormente, en los

¹¹ Los **Estándares de Competencias Básicas** son criterios definidos por el Ministerio de Educación Nacional de Colombia (MEN) para establecer los niveles básicos de calidad de la educación a los que tienen derecho los niños y las niñas de todas las regiones del país, en todas las áreas que integran el conocimiento escolar. Pueden ser consultados en: http://www.colombiaaprende.edu.co/html/mediateca/1607/articles-73366_archivo.pdf.

primeros meses del año 2017 se revisaron los derechos básicos de aprendizaje (DBA) publicados por el MEN a finales del año 2016¹².

En relación con el análisis de los libros, se identificó si el libro abordaba el concepto de termorregulación, las temáticas donde hacía referencia al mismo y algunas observaciones generales sobre su tratamiento. En los demás documentos (estándares, documento ICFES y DBA), se identificaron los grados y estándares que citan o tienen relación con el concepto así como la secuencia de temas para sugerir el mejor grado para enseñar el concepto.

D. Análisis didáctico del concepto de termorregulación, definición de principios de diseño y elaboración del primer prototipo: Esta sub etapa se centró en la identificación de los elementos centrales del fenómeno que serían abordados en la secuencia, definición de los principios de diseño y estructuración de un modelo didáctico sobre termorregulación (ver Figura 4, capítulo II) El diagrama fue sometido a evaluación por tres expertos en fisiología animal y humana y socializado en dos eventos académicos¹³. Los ajustes sugeridos por los expertos y derivados de contribuciones en los eventos fueron hechos al mismo.

Atendiendo a la problemática descrita y el objetivo de la secuencia se analizaron e identificaron las características de Calangos consistentes, desde el punto de vista didáctico, con la propuesta de Justi (2006) sobre elaboración de modelos en el aula.

E. Diseño del primer prototipo: se convocó a los docentes de Ciencias Naturales que orientan en el grado noveno de cuatro instituciones oficiales de la provincia en Santander (Colombia) para que se hicieran parte de la propuesta (9

¹² Los DBA fueron organizados en coherencia con los estándares básicos de competencia y plantean elementos para construir rutas de enseñanza que promueven la consecución de aprendizajes para que los estudiantes alcancen los estándares básicos de competencia. Explicitan los aprendizajes estructurantes para un grado y un área particular y definen la conjunción de unos conocimientos, habilidades y actitudes que otorgan un contexto cultural e histórico a quien aprende.

Pueden ser consultados en:

http://aprende.colombiaaprende.edu.co/sites/default/files/naspublic/DBA_C.Naturales.pdf.

¹³ X Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências – X ENPEC. Águas de Lindóia, SP – 24 a 27 de Noviembre de 2015 y el X Congreso Internacional sobre Investigación en la Didáctica de las Ciencias, Sevilla (España) - 5 al 8 de septiembre de 2017.

docentes). En reunión específica para cada institución se discutió sobre la importancia de hacer objeto de trabajo la termorregulación, dadas sus posibilidades de interdisciplinariedad, y considerando que cada docente enseña de forma independiente física, química y biología bajo la denominación de Ciencias Naturales, termorregulación podría constituir un concepto para contextualizar las temáticas específicas de cada disciplina. Se socializó el videojuego Calangos, se revisaron los planes de área y aula para identificar los temas con los cuáles podría ligarse la termorregulación y, a partir de ello, se acordaron las fechas y la estrategia para la intervención.

También se discutió de manera sucinta sobre la modelización y las actividades de la secuencia y, a partir de ello, se determinó no incluir el juego en todas las actividades de la secuencia debido a las limitaciones en el uso de espacios y las características del videojuego que se citaron en el capítulo, referentes teóricos, apartado 2.3.1, como consistentes con la elaboración de modelos y el concepto de termorregulación.

El número de reuniones formales fue de dos para cada institución, sin embargo se realizaron varias conversaciones esporádicas no formales previo a la implementación de la secuencia. En ningún caso se siguió una pauta sistemática para los encuentros ni se hizo un registro detallado de las discusiones por el mismo carácter informal de las conversaciones, y en el caso de los encuentros formales, en la primera reunión se presentó la propuesta básica, de la investigación, el videojuego y la secuencia de manera que los aspectos centrales fueron registrados como ajustes a la secuencia. En la segunda reunión fueron revisados los ajustes y se organizó la dinámica de la implementación. Posteriormente, a cada profesor se entregó el material para cada actividad, de manera tal que pudiera revisarlo antes de desarrollarlo en clase. Sin embargo, reconocemos que la carencia de un registro detallado de las reuniones y conversaciones limita la posibilidad de investigar el proceso de planeación de la secuencia.

Pese a que los profesores decidieron participar de forma libre y voluntaria, no se involucraron activamente en la construcción e implementación de la secuencia.

En primer lugar porque la formación profesional de la mayoría no fue en biología sino en química (3 profesores), microbiología (2 profesores), agronomía y sólo un licenciado en biología y química. Segundo porque no tienen facilidad para el manejo de los videojuegos, nunca han trabajado la elaboración de modelos en el aula y no manifestaron disposición para invertir tiempo extra en reuniones de discusión sobre las temáticas involucradas o para aprender a jugar, para discutir sobre modelos y modelización o sobre termorregulación. Otros aportes y comentarios sobre la secuencia e implementación de la misma fueron hechos durante el desarrollo de las actividades.

En el diseño de la secuencia que atiende a la problemática en el campo del aprendizaje de la biología descrita en el capítulo I, se atendieron criterios de justificación *a priori* relativos a las dimensiones discutidas por Méheut (2005): a. Epistemológica: relacionada con los contenidos a ser aprendidos, con los problemas que pueden resolver y su génesis histórica; b. Cognitiva: analizando las características cognitivas de los estudiantes; y c. Didáctica: considerando las restricciones del funcionamiento de la institución educativa (programa, cronograma, horarios etc.)

Definidos los criterios de justificación, se dilucidó sobre los objetivos de la secuencia así como los principios de diseño que condujeron a la formulación del primer prototipo. Los objetivos fueron formulados previamente, luego del análisis de la problemática y la consolidación de los constructos teóricos. Fueron revisados por los profesores, quienes se mostraron de acuerdo igual con los principios de diseño y actividades de la secuencia, que ya habían sido discutidas en las dos reuniones realizadas. Los criterios de justificación, objetivos y principios de diseño se describen en el apartado 4.1 del capítulo IV (Tablas 8,9 y 10).

2. Fase de prototipado:

Se desarrollaron dos ciclos. En el primero se aplicó la secuencia a 65 estudiantes de último grado de educación básica secundaria, grado noveno, en un colegio oficial en el departamento de Santander, Colombia, y en el segundo ciclo participaron 8 grupos (244 estudiantes) del mismo grado, en tres instituciones educativas ubicadas en otro municipio del mismo departamento de Santander. En todos los casos se obtuvo el permiso por parte del rector, de los padres y estudiantes, quienes firmaron un término de consentimiento de participación libre y voluntario (Anexo 2)

Información detallada de la institución y grupo con el cual se implementó la secuencia se presenta a continuación:

2.1 Contexto de aplicación de la secuencia y participantes:

2.1.1. Primer prototipo. Ciclo 1.

La implementación de la secuencia didáctica atendió a los principios procedimentales descritos en la tabla 10 y a aspectos como: a). Los tópicos, procesos de pensamiento y competencias definidas por los estándares básicos de competencia definidos por el MEN. b). El desempeño alcanzado por los estudiantes en las Pruebas Saber aplicadas por el ICFES. c). La necesidad de hacer uso de los recursos tecnológicos con que han sido dotadas las instituciones de educación pública en Colombia, de desarrollar prácticas fundamentadas en la investigación y las discusiones hechas con los profesores de ciencias en la etapa de investigación preliminar. d). La necesidad de ampliar los contextos de uso del videojuego Calangos. Es decir que Calangos sea utilizado en instituciones educativas de diferentes países y contextos culturales, sociales etc. También en la enseñanza y el aprendizaje de conceptos no ecológicos (el videojuego fue diseñado con ese) a la vez que posibilite el fortalecimiento de habilidades.

El primer prototipo se desarrolló con dos grupos de grado noveno, participando en total 65 estudiantes distribuidos en los grupos 9.1 (30 estudiantes) y 9.2 (35 estudiantes), siendo 28 de sexo femenino y 37 de sexo masculino, con edades entre 14 y 16 años. Pertenecen a una institución localizada en un municipio que se sitúa a 1090 metros sobre el nivel del mar, cuenta con aproximadamente 5593 habitantes, tiene una temperatura promedio anual de 23.8°C y se enclava en un ecosistema seco.

El colegio proyecta su horizonte institucional a la formación de técnicos en servicios turísticos y en comercio. Cuenta con 850 estudiantes matriculados en niveles preescolar, básica primaria, básica secundaria y media vocacional. Según el documento oficial del proyecto educativo institucional (PEI) de la institución, actualizado en junio de 2017, el 40% de los estudiantes provienen de zonas rurales y 60% del área urbana. Según sus condiciones socioeconómicas, los estudiantes de dicha institución han sido categorizados en estrato 1 (70%), por pertenecer a familias que viven en casas no propias, con apenas los servicios básicos, como agua y energía eléctrica, con padres o jefes de hogar (algunos viven con los abuelos o sólo uno de los padres) que, en su mayoría, terminaron la educación secundaria, mientras que los demás tienen solo primaria o secundaria incompleta, no tienen un empleo permanente, trabajan por días y sus ingresos no les permiten superar las necesidades básicas. El 30% restante corresponden a estrato 2. En este caso los ingresos les permiten satisfacer necesidades fundamentales, algunos tienen empleos por término de meses o años, la mayoría tiene casa propia con condiciones básicas. El nivel educativo de los padres es en su mayoría secundaria completa, mientras algunos son técnicos o profesionales.

En términos educativos el colegio es clasificado en nivel B (alto) según los resultados de las Pruebas Saber aplicadas en el último grado de la educación media vocacional (grado 11) (años 2014, 2015, 2016¹⁴), mientras que los estudiantes del grado noveno, con quienes se desarrolló la prueba, presentan dificultades a nivel

¹⁴ Los resultados son públicos y se pueden consultar en línea en: <http://www.icfesinteractivo.gov.co/resultados-saber2016-web/pages/publicacionResultados/agregados/saber11/clasificacionPlanteles.jsf#No-back-button>

del aprendizaje que se reflejan en los informes de resultados de las Pruebas Saber aplicadas por el ICFES. De acuerdo con ello, los estudiantes están en nivel básico (ICFES, 2014, 2015 y 2016). El 9% de los estudiantes que participaron en el estudio se ubican en un nivel insuficiente en las competencias y componentes evaluados¹⁵, es decir, que no resuelven las preguntas de menor complejidad propuestas en las dichas pruebas.

El 48% de los estudiantes alcanza un nivel mínimo, debido a que apenas reconocen algunas adaptaciones de los organismos al entorno, interpretan y comparan información explícita presentada en tablas y diferentes tipos de gráficas. Ellos seleccionan instrumentos para reunir datos, reconocen qué preguntas pueden ser contestadas a partir de investigaciones científicas y presentan de forma apropiada sus resultados y procedimientos, pero no elaboran conclusiones y predicciones. También, tienen dificultad para interpretar y relacionar información presentada en tablas y distintos tipos de gráficos, reconocer patrones y regularidades en los datos (ICFES 2015)

A nivel de competencias, los estudiantes que participaron en el estudio presentan debilidades en el uso del conocimiento científico y alcanzan niveles medio y bajo en las competencias de indagar y explicar, al igual que en los componentes entorno vivo y entorno físico.

Sumado a lo anterior, los informes de desempeño interno (boletines de calificaciones) de estos estudiantes (estudiantes de noveno grado), emitidos a partir

¹⁵ Estas pruebas reportan resultados de manera general para ciencias naturales. Evalúan tres competencias y tres componentes: a. Competencias: 1) Uso comprensivo del conocimiento científico: capacidad para comprender y usar conceptos, teorías y modelos en la solución de problemas, a partir del conocimiento adquirido. 2) Explicación de fenómenos: capacidad para construir explicaciones y comprender argumentos y modelos que den razón de fenómenos. 3) Explicación de fenómenos: capacidad para construir explicaciones y comprender argumentos y modelos que den razón de fenómenos. b. Componentes: 1) Entorno vivo: aborda temas relacionados con los seres vivos y sus interacciones. Se centra en el organismo para entender sus procesos internos y sus relaciones con los medios físico y biótico. 2) Entorno físico: se orienta a la comprensión de los conceptos, principios y teorías a partir de los cuales la persona describe y explica el mundo físico con el que interactúa. 3) Ciencia, tecnología y sociedad (CTS): estimula en los jóvenes la independencia de criterio –basada en conocimientos y evidencias– y un sentido de responsabilidad crítica hacia el modo como la ciencia y la tecnología pueden afectar sus vidas, las de sus comunidades y las del mundo en general.

de los registros de los docentes que les orientan clases, también evidencian dificultades en el análisis de información de cualquier tipo, en la construcción de explicaciones fundamentadas en el conocimiento, así como falta de interés y atención al trabajo en el aula.

Fue manifestado por los profesores y en la oficina de sicorientación que algunos estudiantes del grupo enfrentan algunas situaciones de violencia en el hogar y adicciones, bien como que, en general, los dos grupos se caracterizan por ser apáticos e indisciplinados.

2.1.2. Segundo prototipo. Ciclo 2.

En este ciclo, participaron 244 estudiantes del grado noveno (147 mujeres y 97 hombres), con edades entre 14 y 16 años, de tres instituciones educativas cuya misión y visión institucional atiende a diferentes especialidades y según la evaluación externa, aplicada por el ICFES, presentan tres niveles de desempeño diferentes: muy superior, superior y alto.

Las instituciones se localizan en un municipio ubicado sobre los 2235 metros sobre el nivel del mar, una temperatura media anual de 18°C y una población de 18738 habitantes. En este municipio, además de las instituciones participantes, existen otras dos instituciones educativas oficiales que ofrecen educación desde el nivel preescolar hasta el grado once.

A continuación se presenta información específica para cada institución. Esta información ha sido consultada con las directivas de cada institución, quienes comentan que la misma está plasmada en el documento oficial del proyecto educativo institucional (PEI) de cada institución.

Institución educativa C. Participaron 105 estudiantes del grado noveno de esta institución, que estaban distribuidos en tres grupos (9.1, 9.2 y 9.3). El colegio cuenta con una población estudiantil de 870 estudiantes desde el nivel preescolar hasta el grado once, que pertenecen a los estratos 1 (82%) y 2 (18%). Las características socioeconómicas reportadas para los estratos 1 y 2 son las mismas

citadas para la institución que participó en el ciclo 1. El colegio tiene como misión la formación de técnicos en las especialidades: salud y nutrición; informática y sistemas; y diseño y artes gráficas. Es clasificada según los resultados de las Pruebas Saber en grado 11 en nivel alto (B), mientras que según los resultados de las Pruebas Saber aplicadas en el grado noveno (estudiantes que participaron en el estudio), en el año de 2016¹⁶, en el área de Ciencias Naturales, el 11% de los estudiantes se encuentra en nivel insuficiente, el 39% en nivel mínimo y los demás 41 y 9% en los niveles satisfactorio y avanzado respectivamente¹⁷.

Institución educativa N. Participaron 101 estudiantes de los tres grupos de noveno (9.1, 9.2 y 9.3). Es una institución encargada de formar maestros de escuela, tiene 1150 estudiantes desde el nivel preescolar hasta la formación complementaria, situados en los estratos 1 (20%), 2 (70%) y 3 (10%). En el caso de los estudiantes designados como estrato 3, los padres o personas a cargo de los estudiantes tienen empleos estables, los ingresos son suficientes para cubrir las necesidades básicas, y los hogares en que viven, además de los servicios básicos, cuentan con acceso a internet y otros recursos que facilitan el aprendizaje.

Según los resultados de las Pruebas Saber 11, la institución está ubicada en un nivel de desempeño muy superior desde el año 2010, mientras que, según el desempeño en las Pruebas Saber 9 en el año 2016, en el área de Ciencias

¹⁶ Consultados en: <http://www.icfes.gov.co/instituciones-educativas-y-secretarias/pruebas-saber-3-5-y-9/resultados-pruebas-saber-3-5-y-9/informacion-general>

¹⁷ De acuerdo con las orientaciones del ICFES para la lectura de las pruebas saber 9, un estudiante promedio en el nivel satisfactorio: además de lograr lo definido en el nivel precedente, reconoce la estructura y función de la célula en plantas y animales, las características físicas de los biomas, algunas prácticas para el cuidado de la salud personal y de la comunidad y el comportamiento de los materiales cuando se someten a cambios de temperatura; identifica cambios físicos y químicos, algunos fenómenos relacionados con las ondas y con la dinámica de la corteza terrestre y explica el funcionamiento de un circuito eléctrico a partir de modelos. Asimismo, representa datos e información derivada de investigaciones científicas, elabora conclusiones y predicciones, interpreta y relaciona información presentada en tablas y distintos tipos de gráficos y reconoce patrones y regularidades en los datos. En el nivel avanzado un estudiante además de lograr lo definido en los dos niveles precedentes, explica cómo se relacionan algunas características de los organismos determinadas genéticamente, con las condiciones del medio y el funcionamiento de los seres vivos a partir de las interacciones entre órganos y sistemas... evalúa hipótesis a partir de las evidencias derivadas de investigaciones científicas.

Naturales, ningún estudiante de los que participaron en el estudio está en nivel insuficiente: el 15% se ubica en nivel mínimo, 46% satisfactorio y 40% avanzado.

Institución educativa P. Participaron los dos grupos de noveno (9.1 y 9.2), 23 mujeres y 15 hombres, 38 estudiantes en total con edades entre los 14 y 16 años. Entre ellos, un estudiante tenía limitación auditiva y otro acometido por síndrome de Down. La institución tiene aproximadamente 500 estudiantes desde preescolar hasta el grado 11, es parte del programa jornada única del MEN¹⁸ y forma técnicos en administración empresarial o en diseño de modas y confecciones. El 35% provienen de la zona rural, el 95% está ubicado en el estrato 1 y el restante en el estrato 2.

Es clasificada en nivel B (Alto), según los resultados de las Pruebas Saber 11 de 2016. En el caso de Ciencias Naturales del grado noveno, el 13% de los estudiantes está en nivel insuficiente, 35% en nivel mínimo, 48% en nivel satisfactorio y 4% en nivel avanzado.

2.2. Implementación de la secuencia.

La implementación fue planeada atendiendo a los principios procedimentales, la programación de las actividades escolares de cada institución y la coherencia curricular.

2.2.1. Primer prototipo. Ciclo 1.

En la tabla 4 se detalla sobre la implementación de la secuencia. En algunas etapas, por cuestiones de tiempo y organización de actividades propias de la escuela, se trabajaron varias actividades.

¹⁸ Se refiere a un proyecto del MEN con el que se pretende aumentar las horas diarias de la jornada escolar a 7 u 8 (en la mayoría de las instituciones oficiales es de 6 horas diarias) y que los estudiantes tomen el almuerzo en la institución.

Tabla 4. Etapas de implementación del primer prototipo de la secuencia para elaboración de modelos sobre termorregulación usando Calangos. Las actividades detalladas y la secuencia se presentan en el capítulo IV. Resultados (Tabla 8)

<i>Etapa</i>	<i>Actividades</i>	<i>Duración (horas)</i>	<i>N. Estudiantes</i>	<i>Orientado por</i>
1	Test previo sobre termorregulación	1.5	Individual	Docente titular
2	Qué son y cuál es el papel de los modelos en la ciencia. Discusión en parejas sobre guía de trabajo, sesión expositiva por parte de la investigadora.	1	Grupal. 2 estudiantes	Autora
3	Conocer Calangos - Jugar libremente. Los estudiantes jugaron sin guía de trabajo.	0.5		Autora
4	a. Explorar conceptos básicos. Actividad guiada por preguntas y orientada por la docente. Aborda cuestiones básicas sobre homeóstasis, metabolismo, pérdida y ganancia de energía térmica. b. Presentar el objetivo del modelo. Fue presentado en conexión con la discusión anterior.	1.5		Docente titular e investigadora
5	Tener experiencias con el objeto a modelar. Los estudiantes usaron el videojuego y desarrollaron una guía de trabajo con preguntas orientadoras.	3		Docente titular e investigadora
6	a. Crear un modelo mental sobre termorregulación. b. Expresar algunas ideas que ayudaran a definir ese modelo mental y registrarlas en una hoja.		Grupal. 2 Estudiantes	Docente titular
7	a. Reproducir modelo mental construido en las duplas. b. Unirse con otra dupla, discutir los modelos y elaborar un solo modelo.		Grupal. 2 y 4 Estudiantes	Docente titular
8	Experiencias mentales. Desarrollo de guía con preguntas orientadoras.	1	Grupal. 4 Estudiantes	Docente titular
	Ajustar modelo. Los estudiantes debían expresar y escribir qué cambios harían en sus modelos a partir de lo analizado en las preguntas.			Docente titular
9	Evaluar el modelo a través de experimentos. Guía de apoyo. Experiencia de observación sobre el propio cuerpo y diseño de experiencia usando Calangos.	3		Investigadora
	Ajustar modelo.			Investigadora
10	Socialización del modelo - comparar con diagrama termorregulación.	2	4 Estudiantes e individual	Investigadora
11	Test final.	1	Individual	Docente titular

Las actividades de la secuencia fueron implementadas entre el 22 de julio y el 18 de agosto de 2015 en las horas de clase de Ciencias Naturales, siguiendo el horario oficial definido por la institución. Las actividades propuestas fueron desarrolladas dentro de la programación regular de la asignatura, siendo incluidas

desde el comienzo del año en la planeación del área para el segundo bimestre de clase, en conexión con las temáticas: adaptaciones, nutrición y metabolismo, previamente definidas en el plan de área de las docentes titulares.

Participaron dos docentes, responsables de enseñar Ciencias Naturales en noveno grado (una en cada grupo). Inicialmente, la profesora del grupo 9.1 era una microbióloga, en aquel momento con dos años de experiencia como docente. Sin embargo, ella fue en la mitad del proceso de implementación trasladada a otra institución y la reemplazó un profesional en química con seis años de experiencia como docente de básica secundaria. La profesora del grupo 9.2 era una licenciada en física, con veinte años de experiencia docente en básica secundaria.

La investigadora orientó algunas actividades debido al traslado de la docente del grupo 9.1) y porque en varias ocasiones la docente del grupo 9.2 tuvo limitaciones para asistir a las clases.

La primera actividad introductoria sobre modelos fue desarrollada por la investigadora. Las docentes titulares solicitaron participar como asistentes, no como orientadoras, dado que era su primer contacto directo con la temática, y los estudiantes tampoco habían trabajado con modelos en sus cursos anteriores.

2.2.2. Segundo prototipo. Ciclo 2.

Fue aplicada en marzo, abril y mayo de 2016, que correspondió al segundo periodo académico, según la programación del calendario escolar. En este ciclo, también se presentaron dificultades con los docentes titulares para apoyar en la implementación en relación con la disposición de tiempo para que ellos examinaran cuestiones que no abordan regularmente en sus prácticas de aula, como la modelización o los videojuegos. Dos de los docentes que habían participado en las reuniones de discusión sobre el diseño de la secuencia ya no laboraban en la institución y, en su lugar, fueron contratados dos profesionales en áreas afines a las Ciencias Naturales. Por ello se acordó desarrollar las actividades con apoyo de la investigadora y otra docente externa formada como licenciada en educación física

y maestría en Pedagogía de la Cultura Física quien recibió el entrenamiento necesario para apoyar las actividades (en adelante se designará como docente de apoyo -PA). En la tabla 5, se detalla sobre el proceso de implementación, así como los responsables en cada caso, y a continuación se describe de manera general el perfil de los docentes que participaron.

Tabla 5. Etapas y actividades en el proceso de implementación del segundo prototipo de la secuencia para elaboración de modelos sobre termorregulación usando Calangos. Las actividades fueron orientadas por la profesora de apoyo (PA), la investigadora (Inv.) y el profesor que tenía a cargo la hora de clase (profesor titular PT); física, química o biología, según el horario de cada institución.

<i>Actividades</i>	<i>Duración (horas)</i>	<i>N. Estudiantes</i>	<i>Orientado por</i>
1. Test previo sobre termorregulación	45 min	Individual	PT
2. Qué son y cuál es el papel de los modelos en la ciencia. Modelos de mecanismos, cómo son elaborados. Discusión en parejas sobre guía de trabajo, sesión expositiva.	1		Inv.
3. Conocer Calangos - Jugar libremente. Los estudiantes jugaron sin guía de trabajo.	0.5	Grupal. 2 estudiantes	PT
4. a. Explorar conceptos básicos. Actividad guiada por preguntas y orientada por el profesor. Explicación sobre homeóstasis, cuestiones básicas sobre, temperatura y pérdida y ganancia de energía térmica.	1.5	Grupal. 2 estudiantes	Inv. - PT
4. b. Presentar el objetivo del modelo. Fue presentado en conexión con la discusión anterior.	0.5		PA - PT
5. Tener experiencias con el objeto a modelar. Los estudiantes usaron el videojuego y desarrollaron una guía de trabajo con preguntas orientadoras.	1	Grupal. 2 estudiantes	Inv. - PA
6. Expresar algunas ideas sobre el modelo a elaborar, discutir y registrarlas en una hoja.	1	Grupal. 2 estudiantes	PA - PT
7. Materializar las ideas. Elaborar el modelo.	1	Grupal. 2 y 4 estudiantes	PA - PT
8. Formar grupos de 4 estudiantes para discutir sobre el modelo de las duplas y elaborar un modelo consensuado.	2		PA - PT
9. Experiencias mentales. Desarrollo de guía con preguntas orientadoras.	1	Grupal. 4 estudiantes	PA - PT
10. Los estudiantes debían hacer ajuste en sus modelos a partir de lo analizado en las preguntas.	1	Grupal. 4 estudiantes	PA - PT
11. Evaluar el modelo mediante experimentos. a. Guía de apoyo. Experiencia de observación sobre el propio cuerpo. b. Actividad usando Calangos.	3	Grupal. 4 estudiantes	PA - PT
c. Ajustar modelo, según resultados.	1		Inv.
12. Socializar modelo.	2	Grupal. 4 estudiantes	PA - PT e Inv.
Test final.	1	Individual	PT

Institución educativa C: participaron los docentes responsables del área de Ciencias Naturales (cuatro en total): Un Ingeniero químico, con experiencia docente de 1 año, quien orientaba dos horas semanales de química; una enfermera con experiencia de un año como docente, quien orientaba una hora semanal de biología. una licenciada en física con experiencia docente de más de veinte años, quien orientaba dos horas semanales de física; y una licenciada en biología y química con más de 20 años de experiencia, quien orientaba dos horas semanales de biología y química.

Institución educativa N: participaron dos docentes, quienes orientaban cinco horas semanales de Ciencias Naturales: un ingeniero agrónomo, con experiencia docente de diez años en básica secundaria, y una licenciada en Química, con experiencia docente de más de veinte años. Esta última orientaba en dos grupos de noveno y el profesor en un solo grupo.

Institución educativa P: participaron dos docentes: una licenciada en biología y química, quien orientaba dos horas semanales de biología y dos de química en los dos grupos; y un ingeniero químico sin experiencia docente, responsable de las clases de física (dos horas semanales), en reemplazo de la docente titular quien estaba en licencia.

2.3. Recolecta de datos

En la tabla 6 se citan los instrumentos de recolecta de datos en relación con las preguntas que guiaron el análisis de datos. Así, con el fin de identificar ideas de los estudiantes sobre modelos, sobre termorregulación y la forma como los estudiantes representan sus ideas sobre termorregulación para tener una mayor aproximación a los conocimientos movilizados mediante la secuencia y atender a la dimensión cognitiva contemplada en el diseño de la secuencia (Méheut 2005), aplicamos un test previo compuesto por preguntas abiertas sobre modelos y el proceso de modelización (adaptado de Ferreira, 2009) (Anexo 3). Posterior a la implementación de la secuencia, también preguntamos sobre la percepción de las

actividades propuestas y se pidió presentar una definición de termorregulación, en un instrumento que designamos como post test (Anexo 4).

En cada actividad de la secuencia los estudiantes debían desarrollar diferentes ítems, registrar en hojas de trabajo de forma individual o grupal (Ver Capítulo IV, presentación de la secuencia) sus observaciones o comentarios, así como las respuestas a cuestiones abiertas y orientadoras en función del objetivo de aprendizaje. Estos documentos, junto con los modelos elaborados, fueron recolectados y analizados como se explica en el apartado análisis de datos.

Filmamos algunas actividades, la sesión de socialización de los modelos y registramos de forma libre (sin seguir un protocolo) observaciones relevantes en un diario de campo. No logramos filmar todas las sesiones debido a las limitaciones en relación con la ausencia de algunos profesores, la dispersión e indisciplina de los estudiantes en el momento de la implementación, razón por la cual, la investigadora debió apoyar algunas diligencias diferentes a la supervisión de la cámara. También hubo ocasiones en que factores como ruidos externos al aula e internos así como la disponibilidad de luz impidieron identificar con claridad comentarios y situaciones que podrían ser analizadas. También enfrentamos dificultades en la recuperación de la información en algunas actividades debido a que la cámara tuvo problemas de almacenamiento observados al final de la sesión cuando se procedió a desmontar el archivo.

En la investigación de diseño, los instrumentos de recolecta de datos también pueden ser ajustados y perfeccionados a medida que se implementan los prototipos. Por tanto, siendo un instrumento de recolecta de información los documentos producidos en el desarrollo de las actividades, su validez estuvo fundamentada en las discusiones con los docentes en la investigación preliminar (se recuerda que en la fase de prototipado, en los dos ciclos, cuatro 4 docentes fueron reemplazados por profesionales en otras áreas), y los criterios de justificación a priori. Las preguntas sobre modelos del pre test fueron tomadas de (FERREIRA, 2009) y la pregunta sobre termorregulación emergió luego de aplicar en 2015 un cuestionario piloto con 75 estudiantes de noveno de la institución N. Esto nos permitió observar que el

cuestionario inicial propuesto era muy extenso y contenía interrogantes que no podían ser resueltos, dada su especificidad y profundidad en el tema. Los estudiantes también revisaron sobre la claridad en las orientaciones presentadas en las actividades “explorando conceptos básicos” y “tener experiencias con el objeto a modelar”.

Las actividades del primer prototipo de la secuencia también fueron revisadas por una estudiante de doctorado en educación, quien orienta Ciencias Naturales en el grado noveno en una institución educativa oficial. Mientras que las del segundo fueron ajustadas en función de los resultados y las sugerencias de los docentes de la institución educativa N.

3. Fase de evaluación.

Con el propósito de analizar los principios propuestos e identificar nuevos principios o recomendaciones que resulten en ajustes a la secuencia o la implementación de la misma, el análisis de datos estuvo guiado por las preguntas de investigación que se detallan en la tabla 6. En todos los casos (documento producido en cada actividad, test o transcripción) no fue analizado el mismo número de documentos debido a que en algunas ocasiones faltaron estudiantes a clase, otros se retiraron de la institución o no entregaron la hoja de registro de la actividad.

En primer lugar se digitalizaron los datos en Excel y asignamos códigos conformados por el número de secuencia según la cantidad de estudiantes (1, 2 hasta 75 en el primer ciclo y hasta 244 en el segundo ciclo), la letra A, B o C para designar el grupo al que pertenecía (9.1 A, 9.2B, 9.3C) y las letras M o F, que indican el sexo al que pertenece (Masculino o Femenino). En el caso de los estudiantes del segundo ciclo, se usaron también las letras C, N y P para indicar la institución a la que pertenecían los estudiantes, por ejemplo: P133AM es el estudiante 133, pertenece a la institución P, al grupo 9.1 y es de sexo masculino.

Las definiciones presentadas por los estudiantes sobre termorregulación (test previo) fueron analizadas con apoyo del programa Atlas.Ti (versión 7.5.1), mediante codificación abierta, un proceso que consiste en expresar los datos y los fenómenos en forma de conceptos.

Tabla 6. Relación entre las preguntas, instrumentos y métodos de análisis de la información recolectada.

Pregunta	Instrumento	Metodología de análisis datos recolectados
1. ¿Cuáles actividades contribuyen con los objetivos de la secuencia?	Documentos producidos en cada actividad de la secuencia (Guías de trabajo de cada actividad).	Codificación abierta - categorías según frecuencia de aparición de términos
2. ¿Cuáles son las características de los modelos construidos por los estudiantes?, ¿Entre ellas, cuáles evidencian una comprensión de la termorregulación como mecanismo homeostático?, ¿Cuáles son consistentes con visiones integrales de los fenómenos biológicos?	Los modelos expresados.	Matriz adaptada de Buckley y Boulter (2000) y Glennan (2005) y evaluada por Rosaría Justi en el curso de esta investigación (Tabla 7)
3. ¿Qué habilidades asociadas con la elaboración de modelos son manifestadas?	Documentos producidos en cada actividad de la secuencia (Guías de trabajo de cada actividad).	Criterios definidos por Maia (2009). Codificación abierta - categorías según frecuencia de aparición de términos.
4. ¿Qué niveles de análisis de gráficas son expresados?	Documentos producidos en las actividades 4 y 8 de la secuencia.	Rúbrica para interpretación de gráficas propuesta por Boote (2014), la cual se basa en la teoría de puntuación de Bertin (1983)
5. ¿Qué dificultades en relación con la enseñanza son observadas durante la implementación de la secuencia?	Videos, registros de diario de clase.	Transcripción y análisis de episodios a partir de los videos. Triangulación de datos con registros en diario de clase. Episodios: espacios de interacción entre estudiantes y estudiantes con profesor sobre las cuestiones concretas de cada actividad. No análisis de relevancia de cada episodio a partir de mapa de eventos debido a las limitaciones en cuanto a la recolección ya citadas.
6. ¿Qué indicaciones se derivan de los procesos de análisis de la enseñanza y aprendizaje para ajustar la secuencia? y a partir de ello, ¿qué otros principios de diseño emergen?	Observaciones y registros durante la implementación y los demás instrumentos empleados.	La pregunta es abordada a partir del análisis de las anteriores.

Para ello se tomaron las respuestas y generaron listas de las palabras que conforman las oraciones (sin incluir conectores). De esa lista, según la frecuencia, y buscando que el término abarcara la relación con el tema y la cuestión propuesta, se eligieron los códigos y, con ellos, se establecieron categorías en las cuales se tipificaron las diferentes definiciones.

En las composiciones o afirmaciones presentadas en los documentos producidos para cada actividad, así como en las transcripciones de la intervención de los estudiantes en la etapa de socialización de los modelos identificamos términos o afirmaciones coherentes o no coherentes con el objetivo de cada actividad y con las cuestiones propuestas (presencia o ausencia), así como la frecuencia de aparición en los diferentes textos para establecer categorías.

Las categorías definidas fueron revisadas por dos investigadores en didáctica de la biología (Ricardo Machado) y la bioquímica (Nidia Torres Merchán), quienes revisaron el 10% de las respuestas y a partir de ello analizaron las categorías propuestas e hicieron algunas sugerencias simples a las categorías propuestas.

También se emplearon los criterios y metodología propuesta por Maia (2009) mediante la cual, también se hizo un análisis general de las habilidades involucradas en la modelización como se detalla en la Tabla 7. Estas habilidades fueron analizadas a partir de lo expresado por los alumnos en cada actividad.

Tabla 7. Habilidades analizadas en el proceso de modelización y criterios de análisis empleados. Adaptada de Maia (2009).

<i>Habilidad</i>	Criterios de análisis	
Observar propiedades del fenómeno (objeto de estudio)	Observaciones coherentes.	Observaciones que citan aspectos o describen elementos coherentes con los atributos del fenómeno. Es decir, identifican los componentes del fenómeno en análisis en el modelo.
	Observaciones incoherentes.	Observaciones no relacionadas, que no concuerdan con el fenómeno, irrelevantes para el objetivo propuesto y/o erróneas.
Seleccionar información existente sobre el fenómeno	Información coherente	Los estudiantes identifican y seleccionan, en el texto proporcionado y en otras fuentes, información aplicable al objeto de estudio, que amplían o fortalecen el conocimiento empleado en la elaboración de modelos.
	Información incoherente	Los estudiantes seleccionan información no aplicable o incorrecta.
	No buscan o seleccionan información	-

Tabla 7. Continuación...

Habilidad	Criterios de análisis		
Identificación de propiedades del fenómeno	Identificación de propiedades del fenómeno/ conocimientos previos relevantes para la construcción del modelo	Identificación satisfactoria de las propiedades cruciales.	Los estudiantes identifican todas las propiedades cruciales para la construcción del modelo.
		Identificación insatisfactoria de las propiedades cruciales	Los estudiantes dejan de identificar algunas propiedades que serían cruciales para la construcción del modelo.
		Identificación de propiedades irrelevantes	Los estudiantes no logran distinguir las propiedades cruciales y las secundarias, intentando integrar en el modelo atributos que no contribuyen con la consecución del objetivo propuesto.
Producir un modelo	Integración de ideas, datos y modelos en la elaboración de nuevos conocimientos, teniendo en cuenta los objetivos definidos	Presencia en el modelo de aspectos en forma coherente.	Presencia en el modelo de ideas y aspectos de modelos anteriores en el nuevo modelo elaborado, así como coherencia de las ideas desarrolladas con los datos disponibles para la elaboración del modelo.
		Presencia en el modelo de los aspectos destacados anteriormente de forma incoherente.	Presencia de información, propiedades o modelos previos de forma incoherente, es decir, establece relaciones inadecuadas con el fenómeno.
		Empleo parcial de los aspectos citados de forma coherente.	Los estudiantes integran en el modelo de forma correcta pero parcial la información, propiedades y modelos relevantes previamente destacados.
		Empleo parcial de los aspectos citados de forma incoherente.	
Expresar el modelo mental a través de alguna forma de representación	Utilización de, interpretación por diferentes formas de expresión y representación	Uso de códigos de representación previamente conocidos	Los estudiantes usan códigos convencionales usados en libros o en clases anteriores.
		Creación de nuevos códigos de representación	Los estudiantes crean y emplean nuevos códigos de representación.
		Reconocimiento de las limitaciones de expresión de su modelo	Los estudiantes son capaces de criticar su modelo, señalando algunas de las limitaciones.
	Niveles de representación usados (el estudiante usa uno o más niveles de representación)	a. Simbólico. b. Bidimensional. c. Tridimensional.	a. Simbólico: gráficas y ecuaciones. b. Bidimensional: uso de dibujos, mapas conceptuales o diagramas. c. Tridimensional: modelos concretos.

Tabla 7. Continuación...

Habilidad	Criterios de análisis		
Comunicar ideas de forma correcta y con claridad, haciendo uso de términos adecuados.	Forma de presentación	Presentan y justifican ideas de forma coherente.	Los estudiantes presentan su modelo y justifican de forma coherente los principales elementos que lo componen o sus características.
		Solamente presentan el modelo.	Los estudiantes solamente describen el modelo sin presentar justificación que relacione el modelo con los objetivos o elementos constitutivos
		Presentan y justifican de forma incoherente.	Los estudiantes presentan el modelo y la justificación pero existen contradicciones.
	Claridad en la explicación de ideas	Explicación clara de ideas	Los estudiantes presentan el modelo construido con claridad, estableciendo relaciones coherentes entre el constructo y los objetivos del modelo.
		Explicación de ideas de forma confusa o incompleta	Los estudiantes presentan el modelo pero no saben justificarlo, no relacionan las características con el objetivo.
	Llevar a cabo experimentos mentales	Elaboración de preguntas hipotéticas	Formulación de preguntas pertinentes
Formulación de preguntas inconclusas			Los estudiantes proponen preguntas que no contribuyen para que sea verificada la coherencia del modelo con sus objetivos, o cuestiones que no pueden ser resueltas al operar el modelo mentalmente.
Planeamiento y ejecución de experimentos adecuados, identificando variables y procedimientos relevantes.		Planeamiento y ejecución adecuada	Los estudiantes planean testes para su modelos y los ejecutan haciendo correlaciones adecuadas entre causa y consecuencia.
		Planeamiento y ejecución incompletos pero adecuados	Los estudiantes planean y ejecutan testes pero no establecen todas las relaciones necesarias entre causa y consecuencia, o no logran prever determinadas consecuencias por el uso del modelo.
		Planeamiento y ejecución inadecuados	Los estudiantes planean testes no adecuados para evaluar el modelo o ejecutan estos usando el modelo de forma incorrecta
Análisis de los resultados obtenidos y las implicaciones de los mismos		Análisis adecuado	Los estudiantes llegan a conclusiones adecuadas en relación con el uso del modelo en las situaciones propuestas, independiente de que corroboren la validez del modelo para una situación dada o no.
		Análisis inadecuado	Los estudiantes manipulan los datos de manera que lleva a conclusiones que no son soportadas por los testes.
Planear y ejecutar testes empíricos		Planeamiento de experimentos	Planeamiento de experimentos adecuados
	Planeamiento de experimentos inadecuados		Experimentos no adecuados para proporcionar respuestas concluyentes sobre el teste del modelo.
	Utilización de instrumentos de medición y de cálculo	Uso adecuado	Uso de instrumentos de medición y cálculo de manera que pueden suministrar información relevante para promover el teste del modelo.
		Uso inadecuado	Los estudiantes no utilizan adecuadamente los instrumentos de medición y/o cálculo, obteniendo resultados incorrectos o no logrando obtener resultados.

Tabla 7. Continuación...

Habilidad	Criterios de análisis		
Planear y ejecutar testes empíricos	Recolección y organización de datos	Colecta adecuada	Los estudiantes colectan los datos de manera que llega a datos esperados y con precisión.
		Colecta inadecuada	Los estudiantes colectan los datos de manera que llega a datos inesperados o imprecisos.
	Análisis e interpretación de datos	Conclusiones adecuadas	Los estudiantes son capaces de analizar los datos y llegar a conclusiones adecuadas sobre el test
		Conclusiones inadecuadas	Los estudiantes analizan los datos a partir de patrones inadecuados, llegando a conclusiones equivocadas sobre el test del modelo.
	Integración de conclusiones	Integración adecuada de las conclusiones al modelo	Los estudiantes establecen relaciones adecuadas entre los resultados obtenidos en los testes y modelo en estudio.
	Considerar alcances y limitaciones del modelo	Análisis de hasta dónde el modelo propuesto alcanza sus objetivos	Juzgamiento adecuado
Juzgamiento inadecuado			Los estudiantes juzgan el modelo ignorando el objetivo o las limitaciones observadas en los testes.

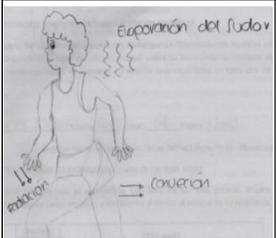
Todos los modelos fueron analizados usando una matriz adaptada de Buckley y Boulter (2000) y Glennan (2005) y evaluada por Rosaría Justi en el curso de esta investigación (Tabla 8).

Mediante la matriz se hizo un análisis general del modelo construido por cada estudiante. Se identificó el tipo de representación, es decir, si se trataba de un modelo icónico, teórico, un modelo en 3D, una ecuación, etc. También se determinó si la representación se aproximaba a un modelo de mecanismo, y qué elementos del mismo representaba. El análisis general del modelo también implicó un análisis sintáctico, basado en la percepción de señales gráficas, como imágenes discernibles o conjuntos de imágenes; semántico, en el reconocimiento del significado de la imagen, y pragmático, para entender el contexto de la imagen entender el contexto de la imagen basado en conocimiento o experiencia previa.

Fueron analizados los aspectos del fenómeno que el modelo representa (si representa o cita elementos que producen el fenómeno y su relación espacial), el comportamiento (si indica procesos, cambios) y, cuando la representación tenía algunos elementos propios de un modelo de mecanismo, este se analizó mediante

las preguntas específicas descritas en la tabla (columnas de análisis específico del mecanismo, indicadas en la tabla como A y 1a7).

Tabla 8. Matriz de análisis de modelos. Comprende un análisis general de la representación y uno análisis específico, desde la perspectiva de un modelo de mecanismo. Este análisis específico estuvo guiado por preguntas indicadas en la tabla como sigue: A. ¿Es predictivo de todos los comportamientos del mecanismo? 1. ¿Identifica todos los componentes del mecanismo? 2. ¿Para cada componente ha identificado las propiedades que generan cambios en la interacción con otros componentes? 3. ¿Proporciona descripciones precisas de las interacciones y actividades de cada componente? 4. ¿Representa correctamente la organización espacial y temporal del mecanismo? 5. ¿Reconoce la existencia de mecanismos dentro del mecanismo? 6. ¿Los representa en sub mecanismos? 7. ¿Los mecanismos operan al mismo tiempo y de forma redundante u operan en diferentes contextos?

Modelo	Tipo	General			Específico - Modelo de mecanismos							Observaciones generales				
		Aspectos del fenómeno que representa	Características de la representación			Comportamiento del fenómeno	Descripción del mecanismo									
			Sintáctico	Semántico	Pragmático		A	1	2	3	4		5	6	7	
	Iconico	Respuestas – Vías físicas	En el ejemplo que se presenta como ejemplo las flechas, el texto y la imagen de la persona en movimiento son identificadas como una unidad, las flechas	Este análisis indica que durante la actividad física una persona gana energía por radiación y pierde por evaporación del sudor y evaporación.	Refleja que un conocimiento previo de las vías físicas de pérdida y ganancia de energía térmica, es decir, un componente del mecanismo que produce el fenómeno.	Representa un componente del mecanismo										

Teniendo en cuenta que una característica destacada del videojuego es la posibilidad de analizar variables a través de gráficas de dispersión, también se analizaron algunas habilidades para la interpretación y elaboración de gráficas. Se revisaron las gráficas generadas por el juego, así como las gráficas construidas en la actividad experimental “¿Hace calor aquí?”, mediante la rúbrica para interpretación de gráficas propuesta por Boote (2014), la cual se basa en la teoría de puntuación de Bertin (1983) y tiene en cuenta los siguientes factores:

1. Etapa de identificación externa:

Asocia el eje x con la variable independiente (causa) y el eje y, con la variable dependiente (efecto).

2. Nivel intermedio – Leyendo entre datos

a. Hace una comparación relativa (cualitativa) entre puntos de datos (es decir, más alto, más bajo, más pequeña, etc.)

b. Infiere un punto omitido entre puntos de datos (interpolación)

- c. Deduce un punto más allá de los puntos de datos trazados (extrapolación)
- d. Describe una relación expresada en una gráfica
- e. Identifica una relación entre dos gráficas
- f. Elige una gráfica adecuada para mostrar datos.

3. Nivel general – leyendo más allá de los datos

- a. Identifica un sesgo sobre el contenido de la gráfica que afecta la interpretación
- b. Identifica nociones preconcebidas sobre el contexto situacional que afecta la interpretación gráfica.
- c. Identifica el conocimiento científico acerca del contenido de una gráfica que afecta la interpretación de la misma.
- d. Identifica la experiencia personal sobre el contenido de la gráfica que afecta la interpretación de la misma.

CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y ANÁLISIS

En la primera parte exponemos los fundamentos del primer prototipo de la secuencia así como las actividades de la misma. Posteriormente describimos resultados la implementación, centrado en cuestiones relevantes para la adaptación de los principios de diseño, en aspectos procedimentales, en las habilidades manifestadas en cada actividad, la caracterización de los modelos elaborados por los estudiantes y el análisis correspondiente, atendiendo a las preguntas de investigación y principios de diseño. A partir de ello discutimos hasta dónde el prototipo alcanzó los objetivos propuestos y en consecuencia cuáles o hasta dónde los principios propuestos son válidos, cómo han de ser reformulados y qué otros emergieron.

En la segunda parte del capítulo, presentamos los ajustes al primer prototipo en función de los nuevos principios que emergieron de la evaluación del primer prototipo, resultados parciales del análisis de los modelos elaborados en la implementación del segundo prototipo en todos los grupos, y, en la última parte del capítulo, consideraciones finales para elaboración de modelos del mecanismo de termorregulación en vertebrados terrestres apoyado en el videojuego Calangos.

1. Primer ciclo. Prototipo 1:

1.1 Criterios de justificación y objetivos del primer prototipo de la secuencia.

En coherencia con los constructos teóricos y el análisis hecho en la investigación preliminar, la secuencia fue proyectada para el grado noveno de la educación básica secundaria, teniendo en cuenta que los planes de área de ciencias naturales de las instituciones educativas que participaron en la investigación, así como los estándares básicos de competencia y libros didácticos indican que, en ese

nivel, se abordan conceptos básicos como energía, temperatura, calor, metabolismo, adaptaciones, sistemas orgánicos (nervioso, circulatorio, endocrino), entre otros, y los estudiantes han de tener habilidades básicas para trabajar con mayor profundidad con modelos.

Los docentes titulares reconocieron que focalizarse en este grado sería importante porque contribuye con la integración y recapitulación de conceptos de química, física y biología que son elementales para ingresar a la educación media. También porque al culminar la formación básica el Instituto Colombiano para el Avance de la Educación Superior (ICFES) evalúa a los estudiantes mediante las pruebas saber y una temática central en estas pruebas tiene que ver con homeóstasis. En coherencia con las orientaciones curriculares de Colombia establecidas para ese grado, la secuencia tiene conexión con las siguientes acciones de aprendizaje, como son definidas por los estándares básicos de competencia:

- a. Comparación de sistemas de órganos de diferentes grupos taxonómicos.
- b. Explicación de la importancia de las hormonas en la regulación de las funciones en el ser humano.
- c. Explicación de las condiciones de cambio y conservación en diversos sistemas, teniendo en cuenta transferencia y transporte de energía y su interacción con la materia.
- d. Reconocimiento de que los modelos de la ciencia cambian con el tiempo y que varios pueden ser válidos simultáneamente.
- e. Proposición de modelos para predecir los resultados de experimentos.
- f. Establecimiento de relaciones causales y multicausales entre los datos recopilados.

Además de esta correspondencia curricular, la secuencia atiende criterios de justificación en las dimensiones epistemológica, cognitiva y didáctica, que se

detallan en la tabla 9. Con base en ello definimos los objetivos de la secuencia que son citados en la tabla 10.

Tabla 9. Criterios de justificación a priori de la secuencia didáctica conforme a la propuesta de Méheut (2005), en tres dimensiones educativas.

Dimensión Epistemológica	<p>Necesidad de que los estudiantes comprendan termorregulación como mecanismo homeostático. También la de proporcionar espacios que les permitan sumergirse en contextos de actividad científica mediante actividades de modelización.</p> <p>Termorregulación es un concepto que permite interdisciplinariedad e integración de contenidos. Por ejemplo, conceptos básicos en la comprensión de termorregulación, como energía térmica, temperatura y calor, son esenciales en la física y la química. A nivel de la biología integra conceptos sobre sistemas, adaptaciones, entre otros.</p> <p>La secuenciación de las actividades, así como el fenómeno objeto de estudio, posibilita a los estudiantes superar visiones aisladas de los fenómenos que hacen parte del estudio de las ciencias biológicas.</p>
Dimensión Cognitiva	<p>La secuencia permite a los estudiantes abordar desde el contexto de un fenómeno biológico conceptos que han sido abordados (morfología y fisiología de los vertebrados, adaptaciones, evolución, calor, temperatura, energía, metabolismo, digestión etc.) y serán abordados en los siguientes grados.</p> <p>También implica el desarrollo de acciones que tienen como propósito fortalecer procesos de pensamiento y acciones propias del quehacer científico.</p> <p>Necesidad de que los estudiantes establezcan relaciones entre los componentes y actividades del mecanismo de termorregulación y la conexión del fenómeno con la homeóstasis, como concepto central en el campo de conocimiento biológico.</p> <p>Los resultados de las pruebas externas aplicadas por el ICFES reflejan dificultades en los estudiantes a nivel de competencias en ciencias naturales, como el uso del conocimiento científico y la indagación, como se detalló en el apartado 3.2.1.</p>
Dimensión Didáctica	<p>A partir de la revisión de los estándares, lineamientos, planes de área y aula, cronograma y reuniones con los docentes titulares, se identificó el espacio temporal, físico y curricular más pertinente para hacer objeto de trabajo la secuencia.</p> <p>La secuencia ha sido diseñada buscando conexión con temáticas de las ciencias naturales, física, química y biología que se enseñan en la básica secundaria. Es consistente con la secuencia curricular de los estándares para estas asignaturas en el grado noveno y permite a los estudiantes involucrarse en actividades de modelización, como lo contemplan las orientaciones curriculares.</p> <p>El uso del videojuego puede facilitar la observación de atributos o procesos, y constituye un factor que contribuye con la motivación. Jugar en parejas disminuye las limitaciones de espacio o carencia de equipos de cómputo.</p>

Aunque la secuencia fue evaluada y propuesta para el grado noveno, desde el punto de vista de la coherencia curricular, puede ser empleada en los grados sexto y séptimo de la educación básica, en conexión con los estándares, en el caso de Colombia, o en situaciones de aprendizaje que impliquen: comparación de mecanismos de obtención de energía en los seres vivos, identificación de condiciones de cambio y de equilibrio en los seres vivos y en los ecosistemas, explicación de condiciones de cambio y conservación en diversos sistemas, teniendo en cuenta transferencia y transporte de energía y su interacción con la materia.

Tabla 10. Objetivos de la secuencia y su alcance de enseñanza y aprendizaje.

Objetivo de la secuencia <i>Con la secuencia se pretende que los estudiantes:</i>	Alcance de enseñanza	Alcance de aprendizaje
1. Identifiquen la importancia de la termorregulación en el mantenimiento de la homeostasis.	Promover, a través del estudio de mecanismos homeostáticos, el estudio de la homeostasis como temática central en el campo del saber biológico.	Comprender la termorregulación como un mecanismo homeostático.
2. Identifiquen acciones que conducen a la pérdida y ganancia de energía térmica en los vertebrados.	Favorecer el estudio de diferentes acciones que permiten la pérdida y ganancia de energía térmica en los vertebrados terrestres.	Identificar diferentes acciones que conducen a la pérdida y ganancia de energía térmica mediante vías físicas como la conducción, convección, radiación y evaporación.
3. Reconozcan órganos, sistemas, estructuras que participan en la regulación de la temperatura e identifiquen la función de cada uno en este fenómeno.	Generar espacios didácticos para abordar la actividad de órganos, estructuras y sistemas en el contexto de los fenómenos biológicos de los cuales son responsables o con los cuales están asociados.	Reconocer la actividad de órganos, estructuras y sistemas en el contexto de los fenómenos biológicos de los cuales son responsables o con los cuales están asociados.
4. Establezcan conexiones entre los órganos, sistemas, acciones, estructuras que participan en la regulación de la temperatura.	Promover el estudio de las interrelaciones entre los órganos, sistemas y estructuras en el contexto de los fenómenos biológicos.	Identificar relaciones e interrelaciones entre órganos, estructuras y sistemas en los organismos vivos.
5. Identifiquen algunas diferencias en la regulación de la temperatura de los vertebrados terrestres y analicen los procesos bioquímicos asociados.	Favorecer el análisis de diferencias fisiológicas entre vertebrados terrestres a partir de los procesos bioquímicos responsables de ellas.	Reconocer diferencias entre los vertebrados terrestres a partir del análisis de los procesos bioquímicos asociados.
6. Elaboren modelos de termorregulación como mecanismo homeostático y a partir de ello promuevan visiones integrales de los fenómenos biológicos.	Promover la elaboración de modelos de mecanismos como estrategia de aprendizaje para favorecer el desarrollo de visiones integrales de los fenómenos biológicos, comprensión de la actividad de modelaje en la ciencia y fortalecimiento de habilidades científicas.	Fortalecer habilidades para la elaboración de modelos de mecanismos y comprender el quehacer de la ciencia. Promover visiones integrales de los fenómenos biológicos.
7. Desarrollen o fortalezcan habilidades para la elaboración de modelos.		

También, atendiendo a las nuevas propuestas curriculares en Colombia formuladas en el segundo semestre del 2016, Derechos Básicos de Aprendizaje (DBA 2016), resultaría más pertinente abordar las actividades de la secuencia para atender el DBA número 4 correspondiente al grado octavo, mediante el cual se pretende que el estudiante analice relaciones entre sistemas de órganos (excretor, inmune, nervioso, endocrino, óseo y muscular) con los procesos de regulación de las funciones en los seres vivos (MEN 2016, pág. 28). Pero, esto no fue atendido durante el estudio, dado que la secuencia se implementó durante el 2015 y el primer

semestre de 2016. En adelante, se discutirá sobre ello en función de los resultados de la implementación.

1.2 Principios de diseño del primer prototipo de la secuencia:

Los principios de diseño fueron configurados a partir de la revisión de literatura, la consulta a los profesores y los diálogos con los docentes que participaron en el estudio. Se consideró que una secuencia didáctica cuyo propósito general sea la elaboración de modelos sobre termorregulación en vertebrados terrestres desde una visión del fenómeno como un mecanismo homeostático, para, a partir de ello, promover habilidades para la actividad científica, ha de atender principios como:

1. Seguir las etapas de modelización propuestas en el modelo cognitivo de Justi (2006).

Siendo que el propósito es la elaboración de modelos, es fundamental hacerlo siguiendo acciones consistentes con la actividad científica. Es importante asumirlo como un proceso cuyas actividades están interconectadas de manera tal que, además de permitir la elaboración del modelo, se contribuya con el aprendizaje. Para eso, las etapas definidas a partir de experiencias de aula y análisis teórico por Justi (2006) se ajustan a las presunciones de aprendizaje y de investigación definidas.

Estas son las etapas identificadas por dicha autora: 1. Definir el objetivo; 2. Tener experiencias con el objeto a modelar y seleccionar el origen del modelo; 3. Elaborar un modelo mental; 4. Producir y expresar el modelo; 5. Llevar a cabo experimentos mentales; 6. Planear y ejecutar pruebas experimentales; y 7. Ajustar el modelo. Considerar rango de validez y socializar el modelo también facilitan el análisis del proceso de aprendizaje. En cada una se pone en juego una acción de pensamiento concreta y pueden ser empleadas independientemente del tipo de entidad que está siendo modelada, además de incluir principios básicos del proceso

de modelización para que el estudiante sea inmerso en contextos auténticos de actividad científica y, así, se promuevan habilidades como la observación, la construcción de explicaciones, la resolución de problemas, el análisis e interpretación de datos, así como la comunicación de ideas (GILBERT & JUSTI 2016).

Por otra parte, la elaboración de una secuencia implica una estructuración progresiva de manera que una actividad complementa y amplía la actividad anterior y por la evaluación se proyecta a la siguiente, siempre orientada a la competencia a lograr como ocurre también en el proceso de modelización donde las actividades están ligadas y se complementan.

Este primer principio implica entonces que en la secuencia se definan y presenten orientaciones para desarrollar cada una de las etapas de modelización, lo cual constituye otros principios.

2. Desarrollar la secuencia de manera que se aborden temáticas como metabolismo, energía térmica, calor, temperatura, mecanismos físicos de pérdida y ganancia de energía y, generar espacios de discusión antes de iniciar las etapas de modelización, para discutir sobre ellos y sobre la homeóstasis.

De acuerdo con las orientaciones curriculares (lineamientos, estándares, incluso derechos básicos de aprendizaje), en los grados anteriores los estudiantes estudian esas temáticas pero no se determina en qué etapa del proceso seguido durante el año escolar deben hacerlo así que esto queda a criterio del docente. Sumado a esto, como se explicitó en el marco teórico, la termorregulación está asociada con la homeóstasis y la propuesta es abordarla en ese contexto. Por otra parte, los conceptos de temperatura, calor, energía térmica y metabolismo son conceptos que representan dificultad para los estudiantes y, en este caso, suponemos que la no claridad o desconocimiento de aspectos básicos limitará el desarrollo de las demás actividades.

En ese sentido, antes de desarrollar las etapas de modelización es necesario discutir sobre esos conceptos y aportar elementos que les permitan ligarlos con la termorregulación.

3. En cada etapa de la modelización los estudiantes deben tener claridad sobre la finalidad de la misma y recibir las orientaciones pertinentes de manera que las observaciones y discusiones no se desvíen del objetivo que atenderá el modelo.

No se trata de que los estudiantes aprendan las etapas como una receta, sino que logren comprender el propósito de cada etapa y el docente oriente para que consigan organizar sus observaciones, identificar aquello que es relevante, resolver dudas y sobre todo enlazar las actividades de manera tal que se comprenda como un proceso más no como un conjunto de acciones aisladas.

4. Usar el videojuego Calangos como contexto para que los estudiantes puedan hacer observaciones básicas del fenómeno objeto de modelización, es decir, en la actividad tener experiencias con el objeto a modelar como propuso Justi (2006).

Este principio emergió atendiendo a que una característica importante de las actividades prácticas relacionadas con la modelización es que deben proporcionar a los estudiantes oportunidades para pensar, para utilizar sus conocimientos previos y experiencias para resolver situaciones problema (DUGGAN & GOTT, 1995). Así, el videojuego puede proveer un contexto pertinente en estas dos etapas donde los estudiantes deben observar o evidenciar varios atributos del fenómeno.

Es necesario presentar a los estudiantes orientaciones sobre el uso del videojuego y hacer un uso guiado del mismo a través de actividades prediseñadas y cuestionamientos formulados por el docente sobre la marcha, que induzcan a los estudiantes al análisis de las diferentes situaciones en función del objetivo del modelo a elaborar.

La necesidad de presentar orientaciones para el uso de este recurso se fundamenta en los argumentos sobre la carencia de elementos que orienten el uso de los videojuegos en el aula, dado que, a pesar de que la finalidad es educativa, el

juego por sí solo no asegura necesariamente que haga logros importantes en el aprendizaje. Se requiere consolidar orientaciones básicas que permitan alcanzar objetivos de aprendizaje. También porque, pese a las características de un videojuego, no existe una receta única o combinación de características que garantice la efectividad en el aprendizaje, una vez que las consideraciones sobre su diseño y uso no conducen a "prescripciones", sino a "cuestiones importantes" (COLLIN, 1996, p. 348).

5. Promover la construcción de modelos consensuados a partir de la revisión colectiva de los modelos expresados individualmente.

La discusión es una acción muy importante en la actividad científica, una vez que es a través de la puesta en juego de diferentes puntos de vista que se consiguen mejores explicaciones. Esto ha sido expuesto en la mayoría de trabajos sobre elaboración de modelos en el aula, y afirmado recientemente por Gilbert & Justi (2016).

6. Involucrar el videojuego en la formulación de las actividades experimentales para testear y evaluar el modelo.

Este principio además de estar asociado con la necesidad de hacer uso guiado del videojuego se sustenta en la importancia de aprovechar una de las particularidades del mismo, la de generar gráficas que relacionan datos modelados de una situación real en una situación de juego determinada, para, a partir de ello, fortalecer el análisis de gráficas como una actividad propia de la actividad científica, a la vez que facilita a los estudiantes revisar sus estrategias de juego. Por tanto, la ejecución del videojuego debe estar acompañada de cuestiones concretas que impliquen el estudio de las gráficas de dispersión que relacionan las variables que influyen el comportamiento del lagarto.

Una de las etapas del proceso de modelización es la de examinar el poder explicativo de los modelos expresados y su coherencia con el objetivo a través de actividades experimentales de manera que, en este caso particular, tales actividades permitan a los estudiantes observar y analizar respuestas de los

animales a variaciones de temperatura externa u otras situaciones no convencionales. Es importante proponer las actividades experimentales y pedir a los estudiantes que propongan una donde se involucre el videojuego para que ellos exploren opciones distintas a las sugeridas por el profesor.

7. Discutir sobre las limitaciones de los modelos “finales” en función del objetivo propuesto, los resultados de los experimentos y los argumentos que surjan de los estudiantes en los espacios de socialización.

Luego de desarrollar los experimentos, los estudiantes discutirán en pequeños grupos sobre sus modelos, harán ajustes o modificarán su modelo y socializarán una nueva versión con todo el grupo. De acuerdo con Justi (2006), esta actividad permite a los estudiantes entender que es posible la existencia de múltiples modelos para una misma situación. Además se puede generar un espacio para elaborar un modelo consensuado por todos los integrantes del aula. En este espacio el docente presentará el modelo didáctico propuesto en el presente estudio como otro modelo posible, más no como el modelo a copiar o único modelo posible.

En la investigación de diseño, los principios deben tener un énfasis sustantivo, lo cual se refiere a un aspecto general de estos principios, con la visión de ser aplicados en diferentes contextos de enseñanza, tal como fueron formulados anteriormente; y un énfasis procedimental, que se refiere a las especificidades de la adaptación de los principios a contextos particulares de enseñanza, una vez que, sin adaptación, no es posible aplicar los principios y las prácticas docentes que siguen de ellos en situaciones concretas de clase. Por ello, durante la construcción de la secuencia, más allá de la formulación general expuesta anteriormente, propusimos algunas orientaciones procedimentales que guiaron el proceso de aplicación (Tabla 11):

Tabla 81. Aspectos sustantivos y procedimentales de los principios de diseño.

Aspectos sustantivos del principio de diseño	Aspectos procedimentales del principio de diseño
1. Seguir las etapas de modelización propuestas en el modelo cognitivo de Justi (2006).	<ul style="list-style-type: none"> - Explicar sobre lo que son modelos en ciencias y el papel de la modelización en la investigación científica. - No presentar el modelo propuesto por Justi para que sea aprendido o estudiado por los estudiantes, usarlo solamente como guía del docente. - Evitar presentar un modelo sobre termorregulación antes de que los estudiantes elaboren y socialicen el suyo, para no limitar la creatividad.
2. Desarrollar la secuencia de manera que se aborden temáticas como metabolismo, energía térmica, calor, temperatura, mecanismos físicos de pérdida y ganancia de energía y, generar espacios de discusión antes de iniciar las etapas de modelización, para discutir sobre ellos y sobre la homeóstasis.	<ul style="list-style-type: none"> - Promover discusiones breves que ayuden a recordar los conceptos citados como base para comprender la termorregulación. - Presentar explicaciones concretas y discutir sobre la relación entre la homeóstasis y termorregulación.
3. En cada etapa de la modelización los estudiantes deben tener claridad sobre la finalidad de la misma y recibir las orientaciones pertinentes de manera que las observaciones y discusiones no se desvíen del objetivo que atenderá el modelo.	<ul style="list-style-type: none"> - Presentar y explicar el objetivo del modelo. También orientaciones claras sobre la finalidad y dinámica de cada actividad. - Guiar en el desarrollo de cada actividad, encaminando las discusiones y observaciones sobre aspectos del fenómeno que sean centrales y relevantes para la elaboración del modelo.
4. Usar el videojuego Calangos como contexto para que los estudiantes puedan hacer observaciones básicas del fenómeno objeto de modelización, es decir, en la actividad tener experiencias con el objeto a modelar como propuso Justi (2006).	Apoyarse en el videojuego para que los estudiantes hagan observaciones sobre cómo influyen diversos factores externos en la temperatura del animal, qué respuestas fisiológicas y comportamientos desarrolla el animal, las causas y consecuencias de las diferentes respuestas. También que a partir de ello hagan comparaciones con otras situaciones y otros animales vertebrados.
5. Promover la construcción de modelos consensuados a partir de la revisión colectiva de los modelos expresados individualmente.	Desarrollar actividades grupales con vista a la consensuación de modelos, luego de que cada estudiante haya definido y expresado su modelo mental inicial.
6. Usar el videojuego Calangos como contexto para que los estudiantes puedan hacer observaciones básicas del fenómeno objeto de modelización, es decir, en la actividad tener experiencias con el objeto a modelar como propuso Justi (2006).	<ul style="list-style-type: none"> - Promover y orientar sobre las posibilidades de uso del videojuego en la formulación de actividades experimentales para poner a prueba el modelo. - Combinar el uso del juego con otras actividades de experimentación tradicionales que permitan a los estudiantes analizar situaciones cotidianas, promover análisis comparativo con las observaciones hechas en el videojuego para que propongan explicaciones usando el modelo.
7. Discutir sobre las limitaciones de los modelos “finales” en función del objetivo propuesto, los resultados de las pruebas experimentales y los argumentos que surjan de los estudiantes en los espacios de socialización.	

1.3. Actividades de la secuencia:

La secuencia (Anexo 5) comprende nueve actividades centrales que requieren un tiempo de desarrollo aproximado de 12 horas en total, con clases de 60 minutos cada una. Cada etapa tiene un objetivo de aprendizaje concreto y actividad(es) coherente(s) con dicho objetivo, como se detalla en la tabla 12.

Tabla 12. Etapas y actividades del primer prototipo de la secuencia didáctica. Secuencia elaborada en el presente estudio.

SESIONES	NOMBRE DE LA ACTIVIDAD	OBJETIVO	DESCRIPCIÓN	TIEMPO
CONTEXTUALIZACIÓN	1. ¿Qué son y cuáles es el papel de los modelos en la ciencia?	Proporcionar a los estudiantes una visión general sobre la naturaleza y uso de modelos	Actividad guiada basada en analogías con mapas (Raviolo et al. 2010; Snir y Grosslight 1992)	45 minutos
	2. Conocer el videojuego Calangos	Explorar Calangos para conocer el objetivo, explorar la interfaz gráfica, reglas, comandos y adiestrarse en la ejecución del mismo.	Exploración del juego – el profesor presenta orientaciones básicas y los estudiantes juegan libremente.	30 minutos
	3. Exploración de conceptos básicos	Reconocer cuestiones básicas sobre mecanismos físicos de intercambio de energía térmica, metabolismo y homeóstasis para facilitar la comprensión de termorregulación.	Clase expositiva. Discusión introductoria sobre termorregulación. Resolución por los estudiantes de guía con cuestiones y análisis de gráfica que representa variación de temperatura de un conejo, serpiente y un ave en un intervalo de tiempo.	45 minutos
	4. Definir objetivos del modelo	Detallar los objetivos del modelo que elaborarán los estudiantes.	Presentación a los estudiantes del objetivo y explicación de la actividad a desarrollar.	15 minutos
	5. Tener experiencias con el objeto a modelar	Permitir a los estudiantes aproximarse al fenómeno objeto de modelaje para recordar ideas previas y obtener información relevante.	Actividad guiada: Jugar Calangos, resolver preguntas sobre observaciones durante la ejecución del juego y analizar gráficas - Lectura de apoyo adaptada de Curtis y Schnek (2008).	120 minutos
ELABORAR MODELOS	6. Producir y expresar un modelo mental	Organizar las ideas e información sobre termorregulación en animales y estructurar una explicación del mismo mediante un modelo mental.	Registro por cada estudiante en una guía de trabajo de ideas para estructurar un modelo mental.	45 minutos
		Expresar el modelo mental a través de cualquier forma de representación.	En grupos de dos estudiantes discusión sobre el modelo que cada estudiante construyó. Organización en grupos de 4 estudiantes para definir y elaborar un único modelo consensuado para el grupo.	1 hora y 15 minutos

Tabla 12. Continuación...

SESIONES	NOMBRE DE LA ACTIVIDAD	OBJETIVO	DESCRIPCIÓN	TIEMPO
TESTEAR EL MODELO Y AJUSTARLO SOCIALIZAR MODELO	7. Llevar a cabo experimentos mentales y ajustar el modelo	Analizar poder explicativo del modelo mediante test mentales.	Resolución de guía con preguntas sobre el modelo y otras que debían ser resueltas usando el modelo.	20 minutos
		Realizar ajustes en el modelo o reformularlo.	A partir de lo analizado en la actividad anterior, registro por cada grupo de las limitaciones de su modelo y los ajustes que deben ser hechos.	40 minutos
TESTEAR EL MODELO Y AJUSTARLO SOCIALIZAR MODELO	8. Evaluar el modelo. Planear y ejecutar experimentos	Analizar poder explicativo del modelo mediante test experimentales.	Desarrollo de dos actividades experimentales: a. Una centrada en endotermos: ¿Hace calor aquí? Adaptado de: Dean et al. (2014) - Tomar datos sobre las variaciones de temperatura de diferentes partes de su cuerpo luego de realizar actividad física en diferentes niveles de intensidad, organizar esos datos, analizarlos. b. En la actividad experimental para ectotermos: los estudiantes deben proponer una actividad experimental para evaluar el modelo usando Calangos.	3 horas
	Reformular el modelo	Ajustar o reformular el modelo atendiendo a los objetivos y las dificultades presentadas al evaluarlo experimentalmente.	Ajuste por cada grupo de su modelo de acuerdo con los resultados de la actividad anterior o preparación de la socialización del mismo en caso de que no se requieran ajustes.	1 hora
SOCIALIZAR	9. Socialización de los modelos	Analizar poder explicativo de los modelos a partir de lo discutido con los compañeros de clase.	Exposición por los grupos de los modelos ante los demás compañeros, discutiéndose sobre las dificultades de cada uno.	2 horas

Actividad 1. ¿Qué son y cuál es el papel de los modelos en la ciencia? La primera actividad tiene por objetivo que los estudiantes identifiquen características y discutan sobre el concepto de modelo en ciencias y la actividad de modelaje. Cada estudiante debe resolver 12 preguntas sobre las características de 6 mapas del mismo lugar (Anexo 5. Primera actividad de la secuencia) y lo que representan.

Posteriormente se discuten con el grupo las respuestas. El docente guía la discusión de manera que se comprendan cuestiones generales sobre la naturaleza y el uso de los modelos en la ciencia. Por ejemplo, que no son copias fieles de la

realidad, que pueden existir varios modelos para un mismo fenómeno, que el éxito de cada uno depende de su poder explicativo y/o predictivo y/o heurístico, y la consecución del objetivo para el cual fue elaborado, etc. En esta discusión el docente ha de permitir espacios de discusión entre los estudiantes y a nivel de toda la clase, formulando preguntas orientadoras, para que con apoyo en la analogía con los mapas, las visiones de modelo se centren en el contexto científico y no en el sentido común, como aquellas que consideran los modelos como copias de objetos, personas con un físico que atrae a la mayoría y posa para fotos, medios de transporte (autos, motos) u otro artefacto pequeños construidos a imagen y semejanza del original.

Actividad 2. Conocer el juego Calangos. Antes de iniciar el proceso de modelización permite generar confianza en la ejecución del mismo, y ayuda a disminuir el temor generado en varios estudiantes que tienen poca experiencia o no han jugado con videojuegos, Así, en las siguientes actividades se les facilitará centrarse en una ejecución del juego con fines concretos de modelización y no solamente como simple ejecución mecánica del mismo o con fines puramente lúdicos.

Actividad 3. Exploración de conceptos básicos. Reconociendo que el fenómeno de termorregulación no es generalmente abordado explícitamente en la ciencia escolar, es necesario que los estudiantes participen en una actividad introductoria centrada en conceptos básicos para la enseñanza y aprendizaje sobre este asunto. Se trata de espacio en donde se discuten con los estudiantes sobre mecanismos físicos de pérdida o ganancia de energía térmica, calor, metabolismo, homeóstasis y aspectos generales sobre la biología termal de los animales. De esta forma se retoman algunos conceptos, se identifica concepciones previas y se proporciona una visión general del fenómeno en relación con otras temáticas que ellos han abordado anteriormente.

Esta etapa introductoria sobre modelos, el videojuego y termorregulación puede facilitar comprender el objetivo que debe atender el modelo. En este caso el objetivo específico para el modelo es presentado a los estudiantes como sigue:

Considerando que la termorregulación contribuye con la homeóstasis, elabore un modelo que le permita explicar cómo mantienen la temperatura corporal interna los animales vertebrados terrestres en rangos de tolerancia y desempeño específicos.

Es necesario también que el docente guíe siempre en el desarrollo de las actividades, explique claramente cada una, así como su propósito y su conexión con las demás etapas de la secuencia.

Actividad 5. Tener experiencias con el objeto a modelar. Esta actividad con el juego se desarrolla en parejas, siendo acompañada por cuestionamientos y situaciones orientadas por el profesor, de manera que mientras el estudiante juega, podrá observar y evaluar los comportamientos y factores que le permiten al lagarto mantener la temperatura en rangos de tolerancia. Se pretende que logren identificar componentes del mecanismo a modelar, así como las interacciones entre ellos. Podrá también formularse preguntas sobre otras condiciones de biología termal, como la endotermia, y tomar decisiones sobre el aspecto del mecanismo que será objeto de modelización. En esta actividad se pide que identifiquen los elementos en la interfaz del juego (ecosistema) que influyen directamente en la regulación de la temperatura corporal interna del lagarto y aquellos que el animal puede usar para este mismo fin. También que observen detenidamente los indicadores de temperatura interna, nutrición, temperatura y humedad ambiental que presenta el juego y respondan cómo han influido en el estado del animal.

Actividad 6. Producir y expresar un modelo mental. Se pide a cada pareja que produzca un modelo mental para explicar el fenómeno en cuestión, sugiriéndose hacer anotaciones relevantes sobre sus ideas, de manera que se les facilite materializarlas en el modelo. Una vez definido el modelo mentalmente, deben expresarlo a través de cualquier medio de representación que seleccionen, empleando la diversidad de materiales que elija el grupo. En seguida, conforman grupos de 4 estudiantes para revisar el modelo de cada dupla, discutir sobre cada uno en función del objetivo propuesto y consolidar un solo modelo consensuado por el grupo. El nuevo modelo deberá ser evaluado mediante testes mentales y experimentales.

Actividad 7. Llevar a cabo experimentos mentales y ajustar el modelo. Los estudiantes resuelven interrogantes sobre el modelo que guían la evaluación mental a través de los testes que cada grupo concibe. El propósito en sí no es que expresen las respuestas a las preguntas sino que las discutan y con ello se contribuya a que identifiquen aspectos por mejorar, fortalezas del modelo etc. Algunas preguntas pueden ser: ¿Cuáles son las fortalezas de su modelo en función con el objetivo propuesto?, según su modelo, ¿qué órganos y sistemas intervienen en la regulación de la temperatura?

Actividad 8. Evaluar el modelo. Planear y ejecutar experimentos. Combina dos ejercicios: una actividad experimental desarrollada a partir de la observación de las variaciones de temperatura corporal de los estudiantes durante actividad física, el registro y análisis de datos generados en la actividad. Con ella se pretende evaluar el poder explicativo del modelo propuesto para animales endotermos en función de los resultados de la actividad experimental. La otra actividad está centrada en los ectotermos y corresponde a que los estudiantes propongan una situación para evaluar su modelo usando las gráficas generadas por el videojuego Calangos.

Una vez culminados los test experimentales el grupo debe revisar su modelo en función del objetivo propuesto para determinar qué modificaciones deben hacer, o si su modelo debe ser cambiado como un todo para ser socializado ante toda la clase.

Actividad 9. Socialización de los modelos. En la etapa de socialización cada grupo de 4 estudiantes presentará su modelo a toda la clase. Así, con la orientación del profesor, se discutirá sobre el poder explicativo de cada modelo. En este espacio el profesor presenta el modelo didáctico sobre termorregulación en animales, que fue elaborado como parte del presente estudio. Este modelo será presentado como otro modelo posible, no como un modelo que debe ser aprendido o copiado.

1.4. Resultados de la implementación del primer prototipo de la secuencia:

A continuación presentamos los resultados obtenidos mediante la implementación de cada actividad de la secuencia así como de las actividades previas descritas en la metodología y citadas en la tabla 4.

1.4.1 Etapa previa:

a. Concepto de modelo:

De acuerdo con los resultados, la noción de modelo en el 52 % (38) de los estudiantes es simple y están presentes en su comprensión ideas no consistentes con la interpretación científica del concepto (filas color gris, tabla 13). Por ejemplo, se definen los modelos como personas con atributos particulares, copias, versiones mejoradas o bonitas.

Una posible explicación a esas respuestas es la ausencia de actividades de modelización o el trabajo con modelos en las prácticas habituales de enseñanza y aprendizaje. Los estudiantes y profesores manifestaron que en los años y clases anteriores no han tenido contacto con modelos. La ausencia de familiaridad con los modelos y de comprensión sobre lo que son y cuál es su naturaleza resulta en dificultades para el desarrollo de actividades de modelización. Es complejo para los profesores orientar en la elaboración de modelos y aún más para los estudiantes trabajar con algo sobre lo cual no tienen claridad, sobre todo, si se trata de abordar un fenómeno también complejo, como en el caso de la termorregulación. Sumado a lo anterior, esos resultados muestran que en la institución donde se implementó la secuencia hay un sesgo hacia enfoques de enseñanza que no contemplan prácticas epistémicas de la ciencia.

Otras afirmaciones, aunque elementales y poco estructuradas, reflejan ideas sobre los modelos que son coherentes con en el contexto científico (Tabla 13, filas verdes). A pesar de sus limitaciones, son más favorables para el desarrollo de una comprensión bien informada de los modelos y sus papeles en la ciencia mediante las actividades de modelización. En ellas se reconoce que un modelo es, por ejemplo, un dibujo, una representación, un prototipo.

Tabla 93. Categorización de las definiciones de modelo presentadas por 73 estudiantes. Se presenta el porcentaje de respuestas y entre paréntesis el número de estudiantes en cada caso. En las filas de color crema se ubican afirmaciones inconsistentes con perspectivas científicas y en las filas verdes afirmaciones con elementos que tienen coherencia con el contexto científico.

Categoría - Respuesta	% (n) respuestas	Ejemplos
Representación	15 (11)	<i>“Es la representación de algo”</i> (Estudiante B72F) <i>“Representación de algunas cosas”</i> (Estudiante B67F)
Algo	14 (10)	para imitar
	10 (7)	<i>“...para movernos, guiarnos...”</i> (Estudiante B66M)
	3 (2)	<i>“...Idea de algo ...”</i> (Estudiante A24F)
	3 (2)	<i>“...bonito...”</i> (Estudiante A8F)
	1 (1)	<i>“...que cambia con el tiempo...”</i> (Estudiante A29F)
	1 (1)	<i>“...que llama la atención”.</i> (Estudiante A15F)
	1 (1)	<i>“...que no cambia...”</i> (Estudiante A13F)
Copia	11 (8)	<i>“Una réplica de algo que podemos seguir, una copia”</i> (Estudiante B49F)
Muestra, objeto a escala	11 (8)	<i>“Una muestra de algo que existe y no se puede ver a simple vista”</i> (Estudiante A11M)
Dibujo, gráfica, objeto	8 (6)	<i>“Algo hecho para mostrar cómo es un objeto. El modelo es en miniatura como un dibujo”</i> (Estudiante B55M)
Versión mejorada de un objeto	8 (6)	<i>“...Mejora para un objeto que con el paso del tiempo no cambia...”</i> (Estudiante A18F)
No responde	5 (4)	
Centrada en personas	5 (4)	<i>“... es una mujer usada para mostrar ropa o accesorios...”</i> (Estudiante B43M), <i>“...una persona u objeto por el cual nos motivamos a seguir...”</i> (Estudiante B50F), <i>“Mi papá”</i> (Estudiante B56M) <i>“Persona que es una de las mejores de este mundo”</i> (Estudiante B45M)
Prototipo	3 (2)	<i>“Prototipo de lo que se quiere lograr”</i> (Estudiante A5M)

Varias respuestas centran su definición de modelo como un...“algo”... que deja la posibilidad de interpretarlo como cualquier ente, objeto etc. Sin embargo, la interpretación no se centró sólo en el término sino en toda la oración, de manera que las demás palabras dieron sentido y ayudaron a precisar sobre aquello que se quería expresar. Se asumió que ellos usan la palabra como una forma de generalización o tienen dificultad para escribir un término más concreto por la misma falta de acercamiento con modelos en el contexto de la ciencia.

Aunque no es el propósito central del estudio o de la secuencia analizar el concepto de modelo, o cómo la visión del mismo es modificada mediante las actividades de la secuencia, identificar sus ideas al respecto fue importante en la

construcción de la secuencia. Por esta razón, una de las actividades iniciales fue discutir sobre los modelos en el contexto de la ciencia y con ello crear condiciones para el desarrollo por los estudiantes de nociones apropiadas para la realización de actividades de modelización.

En dichas actividades también es fundamental tener una aproximación a lo que los estudiantes conocen del fenómeno, de manera tal que la etapa de tener experiencia con el objeto a modelar atienda aquellas situaciones, características que son básicas para que los estudiantes puedan elaborar modelos del fenómeno. Las ideas sobre termorregulación expresadas en términos de definiciones son presentadas a continuación.

b. Definición de termorregulación:

A partir de las definiciones de termorregulación presentadas por los estudiantes se definieron cuatro categorías de respuesta, como se presenta en la tabla 14.

Tabla 10. Categorías de definición de termorregulación. La tabla muestra el porcentaje y número de respuestas en cada categoría (Fueron analizadas 72 respuestas)

<i>Escriba una breve definición para termorregulación en animales vertebrados terrestres</i>				
Categoría	Proceso	Capacidad	Condición - Respuesta	No coherentes
N. Respuestas	12	14	22	24
%	16,67	19,44	30,56	33,33

1. Proceso: incluye aquellas respuestas que definen termorregulación como un proceso que permite a los animales mantener una temperatura, "obtenerla" y adaptarse al ambiente. Fueron presentadas por el 16,67% de los estudiantes (Tabla 13).

Proceso mediante el cual los animales mantienen su temperatura interna (Estudiante A14M),

Proceso mediante el cual los animales mantienen su temperatura contra el sol y los cambios de clima para sobrevivir (Estudiante A33M),

Proceso por el cual el animal obtiene su temperatura, se acomoda al ambiente (Estudiante A27M)

Considerando que un proceso puede ser entendido como “... una familia organizada de ocurrencias que son sistemáticamente ligadas unas a las otras, causal o funcionalmente” (RESCHER, 1996, p.38), las definiciones o explicaciones de procesos presentadas por los estudiantes expresan una visión dinámica, de manera que entender termorregulación como un proceso ubica una comprensión dinámica y generalizada de termorregulación, asociada a la sobrevivencia y adaptación. Se observa además que los estudiantes reconocen que el fenómeno no es producto de una única acción u órgano, siendo esta una visión que favorece la construcción de modelos de mecanismos.

2. Capacidad: igual que en la anterior, en ella se categorizan las definiciones que hacen referencia a la termorregulación como una capacidad para controlar, mantener la temperatura o adaptarse a diferentes lugares (entorno) los animales:

Capacidad de controlar la temperatura de nuestro cuerpo, para que sea más estable” (Estudiante A28F),

Capacidad que desarrollan los animales como lagartos con la cual pueden mantener su temperatura interna en niveles equilibrados” (Estudiante A25M),

Capacidad de los seres vivos para adaptarse a cualquier entorno. Si hace calor buscar aire o si hace frío buscan abrigarse (Estudiante B41M).

3. Condición y respuestas: en esta categoría se incluyeron todas las respuestas que se refieren a la termorregulación como una condición de estabilidad de los organismos asociada a adaptaciones o como una respuesta de los animales ante variaciones de temperatura:

Estabilidad que tienen los organismos vivos para adaptarse a los cambios del clima y mantener la energía... (Estudiante B45M),

Cuando está haciendo mucho calor y se sube la temperatura, el cuerpo suda y se enfría para que la temperatura se regule (Estudiante A34F)

Cuando un animal adapta su temperatura al ambiente (Estudiante A24F)

Adaptarse a los diferentes climas; cómo los animales se adaptan a los climas que no están acostumbrados (B55M)

Lo que los seres vivos deben tener para la estabilidad (Estudiantes B66M, B56M)

...algunos animales tienen una estabilidad para mantenerse y regular su temperatura... (Estudiante B50F)

Las definiciones incluidas en esta categoría, al igual que aquellas de la categoría capacidad, hacen alusión a varios términos y fenómenos involucrados en la comprensión de termorregulación, como estabilidad, que se relaciona con la homeóstasis. Sin embargo, ellas son limitadas en cuanto a lo que corresponde a una visión integral y a nivel micro (aspectos internos) del fenómeno, reduciendo la elaboración de explicaciones que favorezcan la construcción de modelos y sobre todo de modelos de mecanismos subyacentes al fenómeno.

4. Definiciones no coherentes: Otras respuestas no son claras, haciendo referencia a elementos materiales como grasa, plumas y empleando términos conectores que no dan un sentido o relación con el término “termorregulación”, aunque en algunas haya elementos asociados o válidos en cuanto a una definición del fenómeno. Son ejemplos:

En clima frío la grasa del cuerpo y en el cálido la piel gruesa de algunos animales... (Estudiante A11M),

Mediante el cual los animales mantienen la temperatura”... (Estudiante B62F),

Cambios en el entorno por intercambio de materia y energía... (A17M), Intercambio de materia con el entorno (A32M)

La iguana ella necesita de los rayos del sol para poder vivir porque su sangre es fría y necesita calor (Estudiante A21F)

Como muestra la tabla 14, en esta categoría existe un mayor porcentaje de estudiantes comparado con las demás categorías y, sumado a los límites en las respuestas, principalmente en las categorías 2 y 3, podemos observar que el conocimiento de los estudiantes sobre el fenómeno tiende a ser limitado y no coherente con el nivel de formación, según lo que está definido en las orientaciones curriculares nacionales. El proceso de modelización en este caso resulta más complejo, en la medida que no existe una comprensión de los aspectos básicos del fenómeno en la mayoría de los estudiantes.

c. Modelos previos:

Los modelos elaborados por los estudiantes antes de participar de la secuencia fueron principalmente dibujos centrados en aspectos fenomenológicos, en el ente concreto que produce el fenómeno (ave, reptil, persona etc.), citando los comportamientos que son observados con mayor frecuencia en situaciones de la cotidianidad (Tabla 15, respuestas comportamentales), señalando algunos mecanismos físicos de pérdida o ganancia de energía térmica (Tabla 15, respuestas físicas) o mencionando la sudoración, que constituye una respuesta fisiológica a las variaciones. Otros dibujos resaltan adaptaciones a condiciones climáticas extremas, representando animales que comúnmente habitan en zonas de páramo, nieve o bosques secos (Tabla 15, condición). Todos los dibujos presentados carecen de elementos que reflejan proximidad con un modelo de mecanismo, una vez que en ellos no se evidencia una representación de cómo se produce el fenómeno, cómo termorregulan los animales, qué sub mecanismos, órganos o sistemas de órganos etc. están implicados.

Los estudiantes también elaboraron mapas conceptuales y composiciones escritas (Tabla 15), reconociendo termorregulación como un proceso que contribuye con el mantenimiento de una estabilidad en la temperatura interna así como una influencia de la temperatura en procesos fisiológicos y reacciones químicas al interior del organismo. Si bien esta designación sugiere una visión de secuencia de pasos y/o interrelaciones entre ellos, es muy general, no reconociendo las entidades involucradas, las actividades o la organización de las mismas por lo que, igual que los dibujos, es limitada en cuanto a la posibilidad de construir un modelo de mecanismo.

Tabla15. Matriz de análisis de modelos previos. Las filas que corresponden a un tipo de representación son sombreadas con un color diferente. Las filas de los modelos icónicos (dibujos) son señaladas con color verde y en diferentes tonalidades del mismo color las filas del aspecto del fenómeno que es representado (Fueron analizados 51 modelos)

Tipo de representación	¿Mecanismo?	Aspecto del fenómeno que representa	Análisis sintáctico	Análisis semántico	Análisis pragmático	Fig.	N	%	
Icónico - Dibujo	No se representa mecanismo - Animal o persona es elemento central de la representación	Condición - comportamiento	Serpiente - Pingüino. Oso. Serpiente - Persona	Representan dos condiciones termales en los vertebrados y dos extremos de energía térmica (altas y bajas temperaturas externas)	Adaptaciones de los animales a diferentes condiciones climáticas	9a	14	27,5	56,86
		Respuestas comportamentales	Las personas tienen ropa apta para condiciones de bajas y altas temperaturas. Animales jadean o se exponen al sol	Comportamiento de las personas en altas o bajas temperaturas. Animales jadean o se exponen al sol, no especifica si es temperatura alta o baja	Observaciones de la cotidianidad	9b	2	3,9	
			Personas con ropa ligera y otras con ropa "cálida"	El vestuario indica diferentes condiciones de temperatura corporal y cómo el vestuario contribuye a mantener una temperatura interna.		9c	12	23,5	
			Serpiente ectotermo, dependiente de energía externa. Las personas usan la lluvia para regular su temperatura o no se representa una fuente de energía	La serpiente toma energía del sol y comparado con la persona, parece tolerar mayor tiempo de exposición. Por el contrario, las personas tienen menor tolerancia y pueden bajar la temperatura mediante comportamientos como bañarse o quitarse la ropa.	Situaciones cotidianas. Necesidad energía fuente externa en serpiente	9d	1	2	

Tabla 15. Continuación.

Tipo de representación	Mecanismo	Aspecto del fenómeno que representa	Análisis sintáctico	Análisis semántico	Análisis pragmático	Fig.	N.		%	
Icónico - Dibujo		Respuestas – Vías físicas	Las flechas señalan correctamente las vías de pérdida o ganancia de energía térmica	En actividad física una persona gana energía por radiación y pierde por evaporación del sudor y evaporación	Fenómenos físicos, no es claro cómo operan	9f	4	4	7,8	7,8
		Respuestas fisiológicas	Personas con vestuario ligero o abrigado. Presencia de botella con agua, ventilador o sudoración (1c/c).	La ropa y la sudoración indican diferentes condiciones de temperatura corporal y cómo el vestuario, la hidratación o la sudoración contribuyen a mantener una temperatura interna.	Observaciones cotidianas, comportamientos habituales	9g 9h	2	3	3,9	5,88
			Ave, sol, sudoración	El sol proporciona energía térmica al ave, la cual suda para evitar sobrecalentarse.	Influencia de la energía solar en la regulación de la temperatura. Sudoración como respuesta fisiológica	9i	1	2		
Icónico - Mapa conceptual	No se representa mecanismo	Definición y relación con otros procesos	Diagrama de conceptos	Definición de termorregulación acompañada de una imagen. Las líneas asocian termorregulación con cambios climáticos y cómo estos influyen en los cambios de la temperatura corporal	Termorregulación como proceso. Relación de la temperatura interna y externa con el funcionamiento del cuerpo	9j 9k	2	5	3,9	9,8
Teórico - Composición escrita			Se refiere a la importancia de la temperatura: “ <i>La temperatura es fundamental para poder sobrevivir porque si no tenemos temperatura el cuerpo no resiste las enfermedades</i> ” Estudiante B40M				1	2		
			Definición: “ <i>Proceso que permite equilibrio térmico interno</i> ” Estudiante B73F				2	4		
		Sólo representa un termómetro e indica cómo la temperatura corporal de una persona varía durante el día y la noche				9l	1	1	1,9	1,9
No se identifica relación con el fenómeno						9m	9	9	17,7	17,7

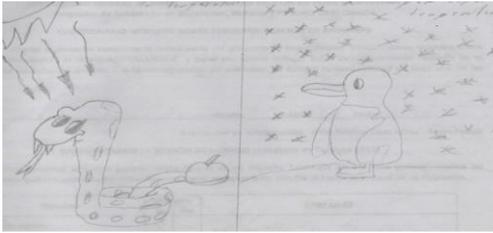
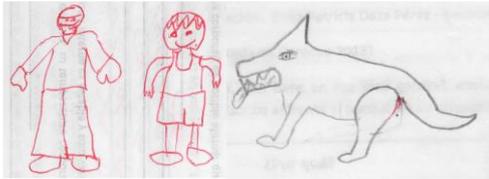
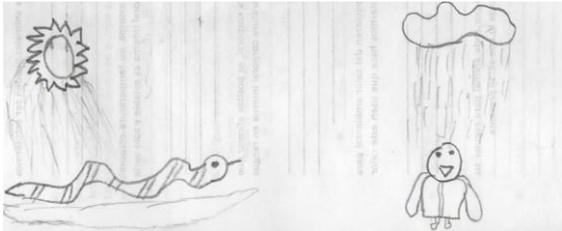
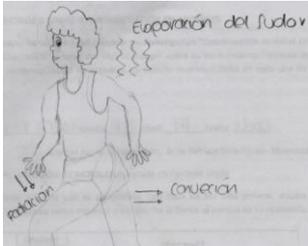
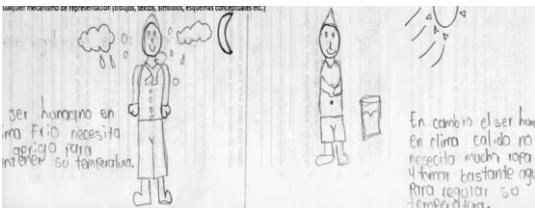
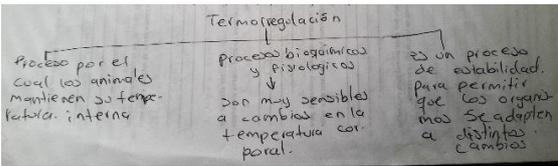
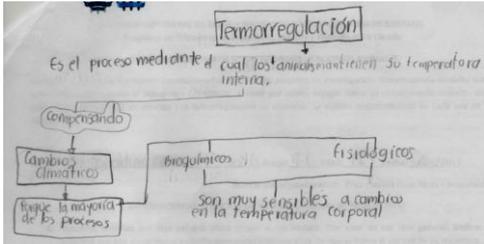
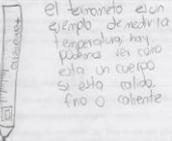
 <p>a. Estudiante A22M</p>	 <p>b. Estudiante A3M</p>
 <p>c. Estudiante A14M</p>	 <p>d. Estudiante A9M</p>
 <p>f. Estudiante A4F</p>	 <p>g. Estudiante A28F</p>
 <p>h. Estudiante A32M</p>	 <p>i. Estudiantes B46M y B39M</p>
 <p>j. Estudiante B35F</p>	 <p>k. Estudiante A26F</p>
 <p>l. Estudiante A21F</p>	 <p>m. B43M</p>

Figura 9. Modelos de los estudiantes sobre termorregulación en vertebrados previos a la implementación de la secuencia. Se presentan ejemplos de los modelos según el aspecto del fenómeno que es representado, descrito en las categorías en Tabla 15.

En todas las representaciones (dibujos, mapas y composiciones escritas) se evidencian ideas que surgen de observaciones de la cotidianidad, del sentido común. De acuerdo con Modell (2007), es habitual en los estudiantes apelar a la visión externa de los fenómenos cuando construyen explicaciones sobre ellos. En este caso particular, las respuestas comportamentales frente a las variaciones, las manifestaciones físicas (sudoración) de respuestas fisiológicas, aspectos materiales como la presencia de pelo o grasa, el uso de elementos que ayudan a perder o ganar energía térmica son elementos externos que contribuyen en la elaboración de elucidaciones sobre el qué ocurre más no de cómo ocurre y por qué ocurre el fenómeno.

En las representaciones no se reconocen componentes y/o eventos al interior del organismo, tampoco se asocia la termorregulación con la homeostasis. Los estudiantes utilizan el propósito eventual del acontecimiento (mantener la temperatura en un rango) como el mecanismo para explicar el fenómeno (explicación teleológica, como discuten Abrams et al. 2001). El mecanismo del fenómeno no se identifica, de manera que, además de las limitaciones que surgen como consecuencia de la falta de conocimiento del fenómeno en sí, también existen dificultades para elaborar modelos de mecanismos causales que implican no sólo la caracterización del fenómeno, sino también la identificación de los entes (órganos, sistemas) involucrados, las acciones de cada uno, y las relaciones entre entes y acciones.

Por lo anterior, la representación o materialización de ideas sobre el fenómeno resulta compleja, dado que no se trata de representar apenas algunos atributos que definen un ente, como cuando se elabora un modelo de una planta, un animal, o incluso un órgano.

En este caso se hacen evidentes dificultades a nivel de la fisiología y del pensamiento epistémico, como la capacidad de crear una cadena de relaciones causales entre entidades fisiológicas (MICHAEL & ROVICK 1999; EVENS & MICHAEL, 2006), de comprender la estructura y dinámica del fenómeno (ASSARAF et al. 2013) o de usar conocimientos de la química y la física para elaborar explicaciones (MODELL 2000).

Otro obstáculo está asociado con lo evidenciado en las definiciones sobre termorregulación y el concepto de modelo: las representaciones de los estudiantes

responden más a la categoría condición y respuesta. Mientras que la noción de modelo en la mayoría está asociada con el sentido común o apenas incluye algunas características de los modelos científicos. Solamente reconocen los dibujos o maquetas como los principales medios de representación, el empleo de diagramas para señalar relaciones y componentes resulta poco usual y difícil de estructurar. Los resultados de esta etapa preliminar sugieren que los estudiantes no están familiarizados con los modelos, ni preparados para comprender fenómenos con base en mecanismos y elaborar modelos de fenómenos fisiológicos.

1.4.2. Implementación de las actividades de la secuencia:

1. Actividad 1. ¿Qué son y cuál es el papel de los modelos en la ciencia?

Por solicitud de las docentes titulares, esta actividad (Analogía entre modelos y mapas) fue orientada por la responsable del estudio. Los estudiantes formaron parejas, discutieron cada pregunta propuesta e hicieron las anotaciones respectivas en la guía (Anexo 5. Actividad 1). Sin embargo, cuando se procedió a socializar sus ideas, la participación fue baja, apenas tres estudiantes indicaron haber registrado sus anotaciones. Debido a la falta de participación, la clase se tornó expositiva con comentarios aislados de los estudiantes, quienes centraron su participación en tomar nota de las explicaciones de la docente. Por esta razón, el material generado (respuestas a preguntas) no fue objeto de análisis y se asumió que el espacio permitió a los estudiantes conocer aspectos básicos sobre los modelos en la ciencia, como:

- Pueden existir varios mapas de Colombia que representan diferentes aspectos como relieve, vías etc. y, así mismo, pueden existir varios modelos de un mismo fenómeno.

- El mapa no es una copia de las vías o foto de todos los municipios del país, sino que representa algunos aspectos según un objetivo concreto como ocurre con los modelos científicos que se caracterizan por ser representaciones de aspectos específicos de un hecho, objeto, fenómeno, proceso, realizadas con la finalidad de comprender, investigar, describir, explicar y predecir.

- En la interpretación y construcción de un mapa influye y se requiere un conocimiento previo del lugar que se va a representar, como ocurre también en la construcción y observación de un modelo en ciencia.

A partir de lo observado en esta actividad, así como en los modelos previos y definiciones sobre termorregulación, el segundo prototipo de la secuencia debe tener especial atención en la necesidad de contemplar un principio procedimental que implique una participación más activa del docente en discusiones concretas sobre qué son y cuál es el papel de los modelos en la ciencia. No se trata de eliminar la actividad de analogías entre modelos y mapas, sino de enfatizar la importancia de que los estudiantes tengan un espacio de discusión más productivo. También parece necesario integrar en un principio sustantivo aspectos sobre modelos de mecanismos, de manera que el estudiante no sólo comprenda qué son los modelos en ciencia, sino que además comprendan sobre los modelos de mecanismos, teniendo en cuenta que la complejidad del proceso en cuanto a la representación de relaciones, así como las demás consideraciones sobre estos modelos discutidas en los referentes teóricos.

2. Actividad 2. Conocer el videojuego Calangos:

La actividad fue libre, permitiendo a los estudiantes explotar el juego para conocer sus reglas, así como el manejo de las teclas de control, y para estudiar algunas estrategias de juego. La investigadora orientó la actividad y resolvió cuestiones sobre el funcionamiento del juego, de manera que la posibilidad de hacer registros sobre las interacciones fue limitada. Cinco estudiantes se mostraron apáticos a la actividad pero al final se logró involucrarlos. No obstante, en el comienzo, fue una actividad compleja desde el punto de vista de manejo del grupo, porque los estudiantes estaban ansiosos por jugar y apáticos a seguir instrucciones. Cuando tenían dificultad con el funcionamiento del computador porque se bloqueaba, o cuando su compañero no avanzaba al mismo ritmo, se dispersaban y no querían participar de la actividad.

Una vez que se logró centrar el grupo en la actividad concreta del juego, se observó que la mayoría de los estudiantes consiguieron comprender la dinámica del mismo, y cuando se superaba el objetivo, expresaron intención de querer seguir, de avanzar en los niveles de dificultad. Estas situaciones pueden evidenciarse en el

apartado 1.5.2 que detalla sobre las percepciones de los estudiantes en relación con el uso del juego, así como la motivación asociada al mismo.

Dado que el propósito de la actividad fue la de conocer Calangos y familiarizarse con el mismo, el tiempo efectivo de juego fue justo. En la actividad “tener experiencias con el objeto a modelar” (actividad 5) los estudiantes jugaron durante más tiempo. Así, cuando tratamos de esta actividad, discutiremos sobre la importancia de la mediación por parte del profesor en relación con el uso del videojuego.

3. Actividad 3. Exploración de conceptos

Presentamos resultados derivados de las grabaciones y los registros de los estudiantes en la guía de trabajo en relación con comentarios sobre cómo termorregulan los animales y el análisis de la gráfica que allí se incluía.

a. Grabaciones:

Las grabaciones y registros del desarrollo de la actividad permitieron observar que no se logró discutir sobre la relación de la homeóstasis con la termorregulación. Conceptos como metabolismo y temperatura no fueron mencionados. Aunque en cada grupo (9.1 y 9.2) los comentarios de los estudiantes y de las docentes se centraron en cuestiones diferentes, en ambos casos, la participación de los estudiantes fue reducida así como la discusión e interacción a nivel de las duplas y en toda la clase.

En las grabaciones correspondientes al grupo 9.2, orientado por la docente de física, se identificaron seis situaciones que reconocimos como episodios a pesar de no constituir episodios típicos. Se observó que no se consiguió promover un debate basado en las preguntas que proponía la actividad. Simplemente se entregó la guía para ser desarrollada en parejas. Los estudiantes se centraron en hacer anotaciones.

Episodio 1.1: Estudiante: “¿Cómo vamos a resolver eso si no sabemos nada?”... (Min 8:15). Silencio...dos estudiantes caminan por el salón, los demás hablan entre ellos a nivel de grupo.

Episodio 1.2: Docente: “Los mecanismos físicos de pérdida y ganancia de energía son los de radiación, convección, conducción y evaporización”. Los escribe en el tablero (Min. 8:43).

Episodio 1.3: Varios estudiantes: “¿Cómo profesora? ¿En dónde?”... Profesora: “En la a. del segundo punto, ya el otro lo pueden contestar ustedes. Ahí está el lagarto, lo que ustedes han hablado” (Min: 9:37)... “ya les repetí los mecanismos: convección, con doble c, radiación”... (Min 10:31)

Episodio 1.4. Estudiante: “Profe ¿cuáles? La profesora repite los términos”. (Min 11:25)

Transcurren 32 minutos de clase. Los estudiantes hablan entre ellos, la docente continúa sentada en el escritorio controlando la el orden del grupo.

Episodio 1.5. Varias estudiantes: “Profe explicar a qué se refiere. No entendemos la gráfica, no entendemos qué es situación hipotética...” (Min 42:34)

Episodio 1.6. Interviene la investigadora... “se está suponiendo que la situación representada en la gráfica ocurre en la realidad. Vamos a revisar qué representa la línea naranja y cada eje. En el eje x tenemos intervalos de tiempo y en el eje y valores de temperatura corporal interna. Hasta ahí, ¿entendemos? Ahora, ¿han observado eso en la realidad?”... Los estudiantes hablan entre ellos pero no responden. Continúan escribiendo y termina la clase (Min 43:57).

En los demás momentos los estudiantes trabajaron en grupos, y las discusiones entre ellos no lograron ser capturadas por los equipos de grabación. Sin embargo, en los videos se observa escasa interacción en las duplas. Una dupla formó un grupo de cuatro estudiantes y un estudiante escribía mientras que sus compañeros miraban a los lados, su atención parecía estar concentrada en otras cuestiones.

En el grupo 9.1, la actividad fue orientada por la investigadora debido a que la docente titular no asistió por problemas de salud. Pese a que toda la actividad no pudo ser filmada en su totalidad, se presentan algunos episodios de la sección introductoria donde se intenta discutir sobre homeóstasis y con ello se menciona la termorregulación:

Episodio 1.6. Un estudiante socializa una consulta sobre homeóstasis: “La homeóstasis es una condición interna estable... se trata de una forma de equilibrio que se hace posible gracias a una red de sistemas de control que se constituye los mecanismos de autorregulación. Un ejemplo breve es la regulación de la temperatura y el balance”... (Min 0:34)

Episodio 1.7. Profesor: “Estudiante xx... ¿qué puede comentar sobre lo aportado por su compañero?” No responde. (Min 2:13)

Estudiante x. “Profe homeóstasis es regulación” (Min 2:21)

Profesor: “¿Alguien más?” (Min 2:46)

Estudiante: *Una propiedad de los seres vivos.* (Min. 3:09). Se discute sobre el concepto de ser vivo.

Estudiante: *Un ser vivo es el que nace, crece, se reproduce* (Min. 3:42)

Profesor: "Pensemos un poco en otros atributos de los seres vivos"...*"la capacidad de mantener una estabilidad interna es una propiedad de los seres vivos"... los seres vivos mantienen estabilidad a pesar de las variaciones externas...*

b. Registros en la guía de trabajo: en estos registros analizamos lo expresado por los estudiantes sobre cómo regulan la temperatura los vertebrados terrestres y lo relacionado con el análisis de gráficas.

Comentarios sobre cómo regulan la temperatura los vertebrados terrestres:

Por otra parte, en las guías de trabajo 36 (49%) estudiantes registraron comentarios, los demás (38; 51%) no hicieron entrega de material o no escribieron comentarios en las hojas guía. En los comentarios registrados, en primer lugar, los estudiantes respondieron que había ganancia de energía por mecanismos físicos y factores climáticos. Así, el 27% se refieren a fenómenos físicos como vías de pérdida o ganancia de energía térmica, mientras que los demás consideran que ocurre a través de diferentes elementos del clima (27,2%). Posteriormente, presentaron algunas descripciones sobre cómo termorregulan los vertebrados terrestres (Tabla 16).

Tabla 11. Comentarios registrados por los estudiantes en la guía de trabajo de la actividad exploración de conceptos. Se presenta el número y porcentaje de estudiantes en cada categoría de respuesta.

¿Cómo pierden o ganan energía térmica los animales?			
	n	%	
Vías físicas (conducción, convección, radiación, evaporación)	18	27,3	
Factores climáticos	Agua, sol, aire, humedad	16	24,2
	Cambios de temperatura	1	1,5
	Cambios en el clima	1	1,5
Breves descripciones			
Depende del tamaño del animal y el ambiente, que favorece a algunos y a otros no (<i>Por ejemplo el lagarto pierde más rápidamente 1; También depende de la piel 1; Animales pequeños pierden energía más rápido que animales grandes 4</i>)	17	22,7	
Cambiando de hábitat, buscando sombra o sol, humedeciendo su cuerpo	7	9,1	
La forma cómo termorregulan dependen del animal porque cada uno tiene diferente metabolismo. También según el tiempo, el clima; si es hábitat terrestre o marino.	2	3,0	
Algunos ganan o pierden cambiando de actividad (Correr o quedarse quietos)	2	3,0	
Quien determina los mecanismos es el medio porque todos los animales son iguales.	1	1,5	
Queman energías.	1	1,5	
Comentarios no claros	3	4,5	

También se refieren a comportamientos como cambio de actividad (3%), citan el metabolismo (3%) o se refieren al hábitat y las características físicas como el tamaño (22, 7%). En su mayoría, apelan a elementos externos del medio ambiente que están asociadas con las condiciones climáticas (Tabla 16)

A partir de lo señalado por los estudiantes en los ítems 3 y 4 de la actividad, en donde debían citar las diferencias que conocen sobre la regulación de la temperatura en los animales y especificar cuáles existen entre anfibios, reptiles y aves, se logró identificar que todos reconocen diferencias en ese aspecto. Citan aspectos morfológicos como plumas, pelo, grasa, el tamaño del cuerpo; las diferencias en el hábitat y las condiciones climáticas del mismo; si son organismos de sangre fría o caliente y la variación de temperatura en cada caso. Varios términos usados en las explicaciones siguen un lenguaje coloquial, como hábitat intenso o temperatura fría. Reprodujimos abajo algunos ejemplos:

Cada animal tiene su termorregulación y según eso eligen el hábitat. Mamíferos y aves son de sangre caliente eligen hábitat más intenso. Anfibios, reptiles y peces sangre fría, por eso deben tener una temperatura más fría (Estudiante A6F)

Unos necesitan energía solar y otros no. Tienen diferente energía corporal y hábitat (Estudiante B60M)

Su hábitat es frío o caliente o varía. Se debe a su hábitat; los animales acuáticos necesitan de la luz solar, quienes viven en clima cálido necesitan de la sombra para bajar su temperatura corporal (Estudiante B66M)

No toman la energía de la misma forma pero si la pierden igual (Estudiante B54M).

Las afirmaciones sobre cómo pierden o ganan energía térmica, donde se citan vías físicas, están asociadas con lo expuesto por la profesora del grupo 9.2 en el desarrollo de la actividad. Su intervención se centró en citar las vías físicas de pérdida y ganancia de energía térmica, pero no ofreció una explicación que permitiera a los estudiantes recordar o comprender que son y por qué se producen esos fenómenos físicos, lo cual era básico para que en la actividad 5 (que involucra el uso del videojuego) los estudiantes pudieran identificar y comprender que a través de estas vías el lagarto puede perder o ganar energía térmica.

En ambos grupos (9,1 y 9.2) la actividad estuvo limitada por la dificultad de promover la discusión, la participación de los estudiantes. En algunos casos el tiempo se empleó en buscar captar la atención y el orden en clase, en otros en buscar que los estudiantes manifestaran sus ideas frente a la clase. Posiblemente este fue uno

de los factores que impidieron que se discutiera sobre la homeóstasis y que reduce la posibilidad de que se aborde la termorregulación como un fenómeno asociado con la homeóstasis.

Es importante entonces centrar esta actividad específicamente en esos conceptos que se han señalado como básicos. Es decir, partir de la homeóstasis y con ello, discutir sobre la temperatura interna. Así, siendo la temperatura un concepto asociado con la energía térmica, convendría conectar y discutir esos conceptos a la vez que se expliquen las vías físicas. Con ello, se tendrá un contexto introductorio para entender la función de la termorregulación. En ese sentido, es conveniente ajustar la actividad, destacando la actividad A que se propone discutir sobre homeóstasis, termorregulación a partir de un enunciado que se refiere a la estabilidad y equilibrio en el medio interno y eliminando algunos cuestionamientos propuestos en B donde se plantean preguntas sobre cómo termorregulan los animales, las posibles diferencias de manera que esta resulte más corta y pueda aprovecharse al máximo el tiempo. Seguramente los problemas de falta de atención y desinterés son comunes en la mayoría de los contextos educativos y, en este caso, también son producto de la complejidad, la extensión y el carácter formal de las actividades propuestas.

Estos resultados ponen en evidencia también que los estudiantes tienen dificultades con conceptos que, según la revisión del currículo, planes de área y lo discutido con los profesores, ya habían sido enseñados. Por ello, en la planeación de la actividad, se incluyeron otros cuestionamientos introductorios más específicos.

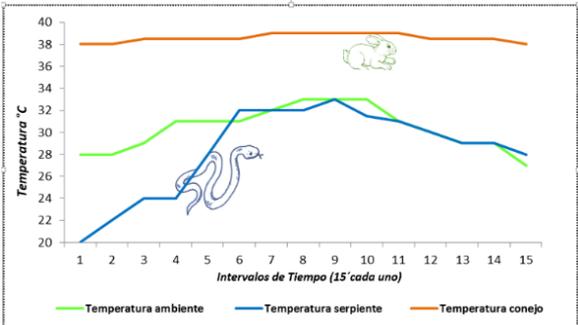
Análisis de gráficas:

A nivel de análisis de la gráfica incluida en la actividad, las afirmaciones de los 36 (49%) estudiantes que presentaron comentarios en las guías de trabajo evidencian que los estudiantes identifican los ejes de forma correcta, tienen capacidad para leer entre datos y hacer comparaciones relativas entre puntos de datos (más alto, más bajo etc.) Estos indicadores corresponden al nivel intermedio (Tabla 17) según las categorías de análisis señaladas en la metodología.

De acuerdo con las afirmaciones sobre la gráfica, observamos que prevalecen ideas sobre termorregulación centradas en aspectos externos asociados a la misma y

en los mecanismos físicos, como conceptos dictados por la docente. Se corroboran vacíos en conceptos básicos que ya han sido mencionados en los apartados anteriores como el desconocimiento de aspectos fisiológicos, la actividad nerviosa etc.

Tabla 12. Explicaciones sobre gráfica presentada en la actividad exploración de conceptos. La gráfica relaciona la temperatura de un conejo, una serpiente y el ambiente en diferentes intervalos de tiempo. Se analizaron 18 documentos producidos por las duplas.

Gráfica	Afirmaciones	n	%
 <p>The graph plots temperature in degrees Celsius on the y-axis (ranging from 20 to 40) against 15 time intervals of 15 minutes each on the x-axis. Three data series are shown: 'Temperatura ambiente' (green line), 'Temperatura serpiente' (blue line), and 'Temperatura conejo' (orange line). The rabbit's temperature remains consistently high, around 38°C. The snake's temperature starts at 20°C, rises to 33°C by interval 9, and then gradually declines. The ambient temperature starts at 28°C, peaks at 33°C around interval 9, and then drops to 27°C by interval 15. Small icons of a rabbit and a snake are placed near their respective lines.</p>	Temperatura del conejo estable. Serpiente varía con el ambiente.	14	19
	La temperatura de la serpiente es más baja, la del conejo muy alta.	15	21
	No responden, o presentan explicaciones confusas.	4	5
	La temperatura se mantiene casi igual sin importar el ambiente.	1	1
	La gráfica muestra diferencias de temperatura de los animales.	1	1
	Temperatura de la serpiente y el conejo se relacionan con la de medio.	1	1

Otro aspecto destacado es que la actividad se tomó como una tarea por cumplir: la necesidad de colocar algún tipo de información para responder las preguntas supero la oportunidad de generar discusiones que introdujeran a aspectos fisiológicos, que contribuyan con el desarrollo de raciocinios integrales.

4. Actividad 4. Definir objetivos del modelo:

Fue un espacio corto en el que a los estudiantes se indicó y explico el objetivo del modelo que construirían en las siguientes etapas. Así fue solicitado que los estudiantes elaborasen un modelo que permitise explicar cómo los vertebrados terrestres regulan la temperatura corporal interna. El modelo debería mostrar la termorregulación como un fenómeno asociado con la homeóstasis y producido por la acción conjunta de varios órganos, sistemas y actividades que operan de forma coordinada.

5. Actividad 5. Tener experiencias con el objeto a modelar

Como se ha indicado, la actividad se apoyó en Calangos. Los estudiantes debían desarrollar algunos ítems propuestos en una guía de apoyo (Anexo 5). En la

actividad analizamos las habilidades para observar propiedades del fenómeno y analizar gráficas.

a. Habilidad de observar propiedades del fenómeno:

En primer lugar, debían identificar los elementos de la interfaz gráfica del juego que influyen directamente en la temperatura del animal y la regulación de la misma. También debían describir situaciones en las que se evidencie pérdida y ganancia de energía a través de vías físicas. A partir de ello se analizó la coherencia de sus observaciones, siguiendo los criterios de análisis de las habilidades definidos en la metodología.

En ese análisis, para la acción de identificar elementos del juego que influyen en la regulación de la temperatura (Tabla 18), la mayoría de las observaciones fueron coherentes porque citaron elementos consistentes con atributos del fenómeno como el sol o citaron un conjunto de elementos que influyen directamente en la temperatura interna del lagarto. Otras observaciones fueron señaladas como no coherentes porque evidencian falta de comprensión de algunos conceptos relacionados con energía, energía libre así como lo relacionado con fenómenos físicos de pérdida o ganancia de energía térmica.

Tabla 18. Elementos observados por los estudiantes en la interfaz del videojuego Calangos que, según sus escritos, influyen en la regulación de la temperatura del lagarto. Se indica además el porcentaje y entre paréntesis el número de respuestas agrupadas según los elementos citados. Se analizaron 18 documentos producidos por las duplas.

Elementos de la interfaz del juego que influyen en la termorregulación del lagarto				
Indicador	Observaciones coherentes			No coherentes
Porcentaje y número	38,4 % (14)	23,1% (8)	11,5% (4)	26,9% (10)
Ejemplos	Diversos factores	Sol	Comportamiento	Alimentación
	Plantas, insectos, depredadores, diversidad de temperatura, humedad, luz solar, día, noche, refugio.	El lagarto muere porque se expone al sol demasiado.	Cambiar de lugar, buscar sombra, refugio.	Gana energía comiendo y pierde corriendo.

Por ejemplo, aunque alimentarse es un proceso que influye y es influido por la temperatura corporal, las afirmaciones no reconocen aumento de energía térmica por actividad muscular, por el contrario asocian la actividad muscular con consumo de

energía. Además de las posibles limitaciones relacionadas con la observación de las situaciones de juego como las variaciones entre la energía del lagarto, su temperatura interna y el consumo de presas, parece que para los estudiantes no reconocen la energía térmica como una forma de energía. Ellos no reconocen que en los ectotermos la energía térmica obtenida por procesos metabólicos no contribuye con la termorregulación: *Gana energía comiendo y pierde corriendo* (Estudiante B41F), *Gana energía cuando se queda quieto y a la sombra y pierde cuando camina en el sol* (Estudiante A16M), *Gana energía por medio de la radiación y pierde por conducción* (Estudiante A14M), *La temperatura sube y baja, el sol le hace perder energía al lagarto* (Estudiante A24F).

Las afirmaciones anteriores también permiten dos presunciones. Por un lado, que los estudiantes expresan sus observaciones apelando a situaciones de su experiencia personal: las personas obtienen energía de los alimentos y la gastan en diferentes actividades (correr, caminar, etc.), entonces, ocurre lo mismo con el lagarto. Por otro lado, pone de manifiesto un desconocimiento de las diferencias en relación con procesos metabólicos entre endotermos y ectotermos, así como dificultad para comprender y explicar las relaciones causales involucradas en ello. Estas relaciones no son simples, por ejemplo: la actividad muscular genera un aumento de la tasa metabólica y esto provoca un calentamiento del organismo; ese calentamiento provee condiciones para un funcionamiento adecuado del mismo, que a su vez, requiere de energía; por tanto se requiere buscar alimento, mayor actividad del animal. Ahora, cómo explicarlo en el caso del lagarto, donde contrario a lo que ocurre con endotermos, donde el metabolismo celular también genera la energía térmica que determina la temperatura corporal, la interacción entre la temperatura corporal y el metabolismo se invierte.

Esas dificultades son observadas también cuando citan las vías físicas por las cuales el lagarto pierde energía térmica (Tabla 19) y es expresada en cerca de la mitad de los escritos ejemplos: *Cuando tiene temperatura alta hay bastante luz y sol que le desgasta la energía* (Estudiante A24F), *El sol hace que la temperatura sea caliente, entre más caliente la hidratación es más baja* (Estudiante A12F). Además observamos ambigüedades en relación con el concepto de temperatura, una vez que se afirma que la temperatura se gasta (Estudiante A16M).

Tabla 19. Situaciones del videojuego en las que los estudiantes evidencian pérdida y ganancia de energía térmica del lagarto a través de vías físicas. Se presenta el porcentaje y entre paréntesis el número de respuestas para cada indicador relacionado con la habilidad para hacer observaciones sobre el fenómeno. Se analizaron 36 documentos producidos por los grupos de dos estudiantes.

Pérdida o ganancia de energía térmica por vías físicas			
Indicador	Observaciones no coherentes	Coherentes	No Responde
Porcentaje y número de respuestas	38,9% (14)	52,8% (19)	8,3% (3)
<i>Ejemplos</i>	<i>Si está al sol gasta mucha temperatura (Estudiante A16M)</i> <i>Gana energía comiendo e hidratándose y pierde corriendo (Estudiante B50F)</i>	<i>Gana energía cuando amanece, cuando corre, cuando come.</i>	

Cuando se solicitó describir o identificar las estrategias que podía desarrollar el lagarto para mantener la temperatura corporal en rangos específicos, aunque la mayoría de las observaciones fueron coherentes, un porcentaje importante (43%) (Tabla 20) no respondió.

Aunque la mayoría de los estudiantes consiguieron hacer observaciones coherentes, estas no son suficientes para estructurar una idea del fenómeno que pueda ser representada como modelo de mecanismo.

Tabla 20. Observaciones de los estudiantes sobre las estrategias que puede desarrollar el lagarto en el videojuego Calangos para termorregular. Se presenta el porcentaje de respuestas para cada indicador relacionado con la habilidad para hacer observaciones sobre el fenómeno. Se analizaron 36 documentos producidos por los grupos de dos estudiantes.

Estrategias para mantener la temperatura interna en rangos específicos			
Indicador	No Coherentes	Coherentes	No Responde
Porcentaje y número de respuestas	3% (1)	53% (19)	43% (16)
<i>Ejemplos</i>	<i>Alimentarlo en la noche porque en el día come y sube la temperatura interna</i>	<i>Alimentarse y permanecer en la sombra o lugares frescos</i> <i>Moverse entre la sombra y el sol</i>	

Están aún relacionadas con las ideas previas sobre los aspectos externos del fenómeno, es decir citan el comportamiento del lagarto ante variaciones de temperatura y señalan el sol como fuente de energía pero, por ejemplo, no reconocen qué órganos o procesos internos generan los diferentes comportamientos como fue

expresado por la mayoría en los modelos previos, donde prevalecieron representaciones de respuestas comportamentales.

De acuerdo con los resultados, jugar Calangos les permitió observar en qué rangos de temperatura el lagarto puede mantenerse vivo y, con ello, reproducirse, alimentarse, huir de los depredadores etc. Evidenció además que el lagarto podría obtener energía mediante comportamientos, es decir, buscando fuentes de energía térmica como el sol, o evitar calentamiento demasiado buscando lugares donde no podían recibir aquella energía y, por tanto, la temperatura del lagarto no superaría el límite máximo. Los estudiantes observaron que rangos de temperatura son tolerados por el animal, le permiten desarrollar sus funciones e influyen en su comportamiento. Sin embargo, no se pudo evidenciar si ellos comprendieron que los diferentes comportamientos permitían perder o ganar energía térmica por conducción, radiación, convección o evaporación (mencionadas en las actividades anteriores) y por qué se producía intercambio de energía térmica a través de esos fenómenos físicos.

Dado que lo observado por los estudiantes mientras jugaban son aspectos externos que se identifican a simple vista y que es común observarlos en la cotidianidad (en el caso de estudiantes que viven en un municipio enclavado en un ecosistema seco, donde se observan con frecuencia lagartos), es necesario promover discusiones que lleven a analizar lo que ocurre al interior del organismo, explicar los fenómenos físicos que allí se manifiestan, cómo actúa el sistema nervioso para determinar cada comportamiento.

Para los estudiantes resultó trabajoso describir las estrategias que siguieron mientras jugaban, o las que podían seguir el lagarto para alcanzar éxito reproductivo sin sobrepasar los rangos de temperatura específicos. El acto de jugar les resultó atractivo e interesante, pero sólo querían jugar sin analizar, sin comentar o desarrollar las actividades propuestas, y sin motivarse para escribir como se evidencia en el apartado 1.5.1. referente a las percepciones sobre las actividades y motivación asociada al videojuego (apartado 1.5.2).

Seis estudiantes expresaron que el juego resultaba aburrido, dado que luego de alcanzar el objetivo no podía avanzar a otros niveles. En el caso de estos seis estudiantes el efecto sorpresa generado fue alto pero la narrativa del juego en sí no logró mantener el interés y la motivación, tampoco lo lograron las actividades

propuestas, puesto que no fueron desarrolladas por esos estudiantes (Estudiantes A5M, A9M, A20M, A31M, B39M, B54M).

b. Análisis de gráficas:

Otro ejercicio desarrollado en la actividad estuvo focalizada a que los estudiantes analizaran las gráficas que se generaron a los 5, 10 minutos y al finalizar la sesión (30 minutos de juego) En el primer caso, debían generar una gráfica de la temperatura del animal en función del tiempo de juego, describirla y explicarla. En la tabla 21 se presenta el número y porcentaje de estudiantes que copiaron la o las gráficas generadas por el videojuego, el nivel de análisis según las explicaciones presentadas en cada caso y comentarios sobre lo expresado.

A pesar de que en los primeros cinco minutos de juego la mayoría de los grupos (65%) consiguieron generar y copiar las gráficas, sólo un 14,5% presentan descripciones o explicaciones en las que identifican las variaciones de la temperatura interna del lagarto y su relación con la estrategia de juego seguida.

El 9.1% alcanzó el nivel tres de análisis de gráficas, es decir, que hicieron comparaciones entre diferentes puntos o tiempo de juego, identificaron las diferencias entre esos puntos e hicieron interpolación y extrapolación de datos al predecir el comportamiento del animal según estrategia de juego. En el 5.5% de las gráficas fue evidente un indicador del nivel 3, que hace referencia a Identificar una relación entre dos gráficas.

A los 10 minutos de juego, el porcentaje de estudiantes que transcribieron las gráficas disminuyó (Tabla 21). El 5,7% copió y describió las gráficas de temperatura e hidratación, compararon diferentes puntos de datos e hicieron extrapolación. Sobre ellas hicieron observaciones coherentes con los atributos del fenómeno.

Al finalizar la sesión de juego (30 minutos aproximadamente) apenas el 6,6% de los estudiantes reprodujeron gráficas claras con un comentario o análisis que se corresponde con el nivel 3 (leyendo entre datos) y, de ellos, sólo un grupo estableció relaciones entre gráficas (indicador f) (Tabla 21). En relación con las observaciones, cerca del 15% lograron mencionar aspectos coherentes o relevantes del fenómeno.

Tabla 131. Niveles de análisis de gráficas manifestados por los estudiantes a partir de la revisión de las gráficas generadas por el videojuego Calangos a los 5, 10 y 30 minutos de juego. Se indica el número de gráficas generadas, las explicaciones que presentaron en cada caso así como el nivel de análisis para las gráficas y los criterios relacionados con la habilidad para hacer observaciones.

Tiempo de juego	Gráficas representadas	n y % de respuestas	Explicaciones a las gráficas o comentarios presentados en la actividad	Nivel de análisis ¹⁹	Habilidad observaciones
5 minutos	1 gráfica. T.int. vs tiempo.	(4) 7,3	"La temperatura interna aumenta entre las 6 horas, baja en las 12 y 18, pero en 24 aumenta aún más por eso seguiría con la misma estrategia de juego" (Estudiantes A32M y A 33M).	Nivel 3. a, c, d y e.	Coherentes
	2 gráficas. T.int. vs tiempo y Humedad Amb. vs tiempo.	(1) 1,8	"En el primer caso si se continúa así el animal va a morir. En el segundo hay que empezar a subir la temperatura". (Estudiante B44M)	3. a, b, d, e.	Medianamente coherentes
	2 gráficas. T.int. vs tiempo y T. Amb. vs tiempo.	(3) 5,5	Si la temperatura interna está muy alta el lagarto no corre y para esto debe tenerla estable (Estudiantes B62F y B61M)	3. f. La temperatura interna no es igual a la externa. La interna es menor	Coherentes
	2 gráficas. T.int. vs tiempo. Hidratación vs tiempo.	(6) 11	Sin explicación.	No coherentes	
	2 gráficas. Humedad vs tiempo y Energía interna vs tiempo.	(1) 1,8	La información descrita es tomada de los indicadores del juego: "La temperatura en 37.9 indica que está en nivel óptimo, La temperatura de la tierra es de 16.9 lo que significa que la arena es buena para el lagarto". (Estudiante B68M)	Gráficas de humedad y energía sin explicación.	Coherentes
	1 Gráfica sin nombre de ejes	(21) 38,2	Observaciones generales: "A medida que pasa el tiempo el lagarto se reproduce más, su temperatura aumenta y puede comer con más facilidad y su crecimiento aumenta" (Estudiante B42F)	La información descrita es tomada de los indicadores del juego - lectura literal.	No coherentes
	Ninguna gráfica	(4) 7,3			
	No Responde	(15) 27			
10 minutos	No responde	(25) 45,7			
	Sin explicación	(20) 37,1			

¹⁹ Se refiere a los niveles definidos en el apartado 3.3, fase de evaluación.

Tabla 21. Continuación...

Tiempo de juego	Gráficas representadas	n y % de respuestas	Explicaciones a las gráficas o comentarios presentados en la actividad	Nivel de análisis	Habilidad
10 minutos	Sólo comentarios	(6) 11,4	Describe variación de temperatura del animal. Ej: "La humedad se mantuvo en 100 desde 6 a 24 horas, que bajo y el animal murió" (Estudiante A12F)		
	Temperatura vs Tiempo; Hidratación vs Tiempo	(3) 5,7	"La hidratación fue baja al principio pero luego subió y se mantuvo estable. La temperatura debe mantenerse más estable porque murió de calor. La energía fue subiendo poco a poco". "En 2 la temperatura se mantiene pues trata de adaptarse al ambiente. En b la hidratación no siempre será la misma puesto que a veces el ambiente no tendrá unas buenas condiciones" (Estudiantes B37M y B39M).	3. a, e	
30 minutos	No responde	(33) 59			
	Hidratación, T. interna vs tiempo	(5) 9,8	"Endotermos no necesitan estar mucho tiempo al sol para regular su temperatura" (Estudiantes A16M y A31M)	No corresponde con la gráfica	
	T. interna e hidratación vs tiempo	(2) 3,3	"El sol hace que la temperatura sea más caliente, mientras más caliente la hidratación es más baja pues la temperatura interna es muy alta" (A10 M y A4F)	3.a,e,f.	
	Hidratación vs tiempo	(2) 3,3	"Cuando la temperatura interna aumenta, la hidratación baja. El mejor momento para reproducirse sería en la noche porque tiene menos depredadores y sale más comida y el calor no afecta su termorregulación" (Estudiantes A11M)	3.a,e	
	Temp. interna vs tiempo	(2) 3,3	"La energía es media y la temperatura debe estar en los rangos que el animal se adapta... trataría de comer, reproducirse más e hidratarse más". (Estudiantes A25M y A32M)	No corresponde con la gráfica	
	Eje y, sin nombre	(2) 3,3	"Un ave no soportaría las condiciones del ecosistema del juego, por el plumaje, tiene mayor temperatura" (Estudiante A3M)		
	Temp. interna, humedad, energía vs tiempo	(2) 3,3		Sin análisis	
	Gráficas sin nombre de ejes	(4) 7			
	Comentarios sin gráficas	(3) 4,9	"La capacidad de sobrevivir es mejor cuando el lagarto se alimenta bien, no se expone a mucho calor en el ambiente, mientras los endotermos como las aves es más equilibrada su termorregulación" (Estudiantes B60M y B64F). "El aire tiene una menor conductividad térmica y capacidad calorífica que el agua. Es por esto que los animales terrestres es más fácil adaptarse a la temperatura ambiente lo que para las aves es muy complicado" "En endotermos, se mantiene en constante equilibrio con relación al tiempo y la temperatura a mayor tiempo mayor temperatura. Se mantiene la hidratación en equilibrio sin importar el tiempo" (Estudiantes A75 F y A13F)		

El nivel de análisis de gráficas se mantuvo en el caso de aquellos estudiantes que escribieron una descripción clara. No obstante, en los escritos se evidencia ambigüedades sobre los conceptos de temperatura, energía y calor.

Las afirmaciones reflejan que para algunos los estudiantes la temperatura es un indicador de alto contenido de energía térmica en un cuerpo: "Temperatura más caliente". En otros casos no parece existir una asociación entre el calor y la temperatura: "calor no afecta su termorregulación". Asumiéndose que se refiere al calor como una forma de energía, esto constituye un razonamiento no adecuado.

Este porcentaje de estudiantes (alrededor del 12 %) reflejan dificultades citadas frecuentemente en el campo de la enseñanza de la física y la química. De acuerdo con Harrison et al. (1999), Saricayir et al. (2016) y Çelik (2016), los conceptos de calor, temperatura y energía tienen un amplio rango de aplicación, pero con frecuencia son erróneamente estructurados. Los estudiantes experimentan dificultades en la construcción significativa de esos conceptos, considerando que "calor" y "temperatura" tienen el mismo significado y los usando indistintamente. Esta situación dificulta a los estudiantes comprender por qué energía térmica y temperatura difieren, cómo se relacionan, cómo y por qué son determinantes de la temperatura interna de los animales. También, cómo se pierde o gana energía térmica y los efectos de ello. La secuencia y las actividades se implementaron desde el supuesto de que los estudiantes, en ese nivel, tenían claridad en cuanto a los conceptos citados lo que conduce a mayores limitaciones en la consecución del objetivo de cada actividad, genera la necesidad de un replanteamiento de las actividades en cuanto a la enseñanza y aprendizaje de conceptos abordados principalmente desde la física con miras a fortalecer la perspectiva integral, en cuanto al tratamiento del fenómeno de termorregulación.

A medida que se avanzó en la actividad, aumentó el porcentaje de estudiantes que no generaron gráficas e hicieron un análisis de las mismas. Es posible que esto haya ocurrido porque la cantidad de gráficas que se pidió generar y analizar en los últimos minutos de juego fue mayor que lo solicitado en los primeros minutos, de manera que el ejercicio requería mayor tiempo y análisis. También

están asociados a factores como las dificultades identificadas en relación con la comprensión de conceptos básicos, así como de observación y análisis, al igual que la falta de interés de los estudiantes por involucrarse en actividades que requieren acciones de pensamiento más complejas que las implicadas en la ejecución breve del juego.

En suma, el ejercicio de análisis de gráficas permitió a los estudiantes hacer otras observaciones del fenómeno que contribuyen con la consolidación de un modelo de termorregulación. De acuerdo con las observaciones y registros, Calangos es un contexto apropiado en esa etapa de modelización siempre que se consiga generar mayor equilibrio entre lo lúdico y lo científico. Más allá de pedir a los estudiantes que registren las observaciones, que en este caso disminuyen la motivación, es importante promover situaciones de discusión sobre lo que ocurre en el juego y su relación con la termorregulación. Es necesario aún cuestionar a los estudiantes para que usen los conceptos discutidos en la actividad de exploración de conceptos básicos en la comprensión de lo que observan en el videojuego y lo presentado en las lecturas.

El docente es responsable de dirigir y mantener la atención de los estudiantes sobre el juego en función de las metas de aprendizaje, cuestionando y orientando el análisis sobre lo fisiológico, su relación con lo comportamental y físico. Su función mediadora ha de fundamentarse no sólo en el conocimiento del fenómeno abordado sino también del videojuego.

En el diseño de la actividad se tuvo en cuenta que con la ejecución del juego los estudiantes evidenciarían principalmente aspectos comportamentales y vías físicas de pérdida o ganancia de energía térmica. Por ello, se incluyó una lectura que permitía a los estudiantes adquirir una visión general de la termorregulación y constituía otro contexto para que, junto con las situaciones del juego, los estudiantes discutieran sobre aspectos fisiológicos y nuevamente analizaran la relación con la homeóstasis y adaptaciones. Sin embargo, la lectura no fue hecha, una vez que, pese a que las docentes dejaron un espacio y solicitaron hacerla, los estudiantes solamente la ojearon y protestaron por tener que leer. Una vez más la mediación de

las docentes se focalizó a llamar la atención para intentar que los estudiantes desarrollaran la actividad.

En ese sentido, conviene reducir la cantidad de gráficas a analizar, proponer en la guía cuestiones para que, a partir de lo observado en el juego, se discuta sobre aspectos fisiológicos, órganos, sistemas involucrados en los comportamientos del lagarto.

6. Actividad 6. Producir y expresar un modelo mental:

a. Organizar ideas para estructurar una explicación de termorregulación con un modelo mental.

En la primera etapa de esta actividad los estudiantes organizaran sus ideas sobre el modelo y la información sobre termorregulación en animales requerida para estructurar una explicación del mismo mediante un modelo mental. Las ideas sobre el modelo que iban a elaborar fueron escritas en una hoja de papel, siendo analizadas de acuerdo con la relevancia y coherencia con el fenómeno, como se explicita en la Tabla 22.

Los estudiantes citaron otros aspectos sobre termorregulación no reconocidos en las etapas anteriores y que constituyen componentes del mecanismo de termorregulación. Por ejemplo, hicieron referencia a el sistema nervioso, varios procesos fisiológicos (vasodilatación, vasoconstricción) y el metabolismo (afirmaciones a y d). Esto es favorable en la elaboración de los modelos en la medida que los estudiantes están reconociendo otros atributos relevantes del fenómeno, diferentes a los que han citado como comportamientos o vías físicas. El sistema nervioso es un ente importante del mecanismo, que acciona y coordina, en conexión con el sistema endocrino, la mayoría de las actividades del mecanismo. Reconocer este componente puede ayudar a los estudiantes a estructurar sus ideas sobre la organización del mecanismo.

Tabla 22. Análisis de habilidades para identificar propiedades del fenómeno relevantes para la construcción del modelo. Se detalla el número y porcentaje de respuestas agrupadas según las categorías definidas por Maia (2009).

Identificar propiedades del fenómeno/conocimientos previos relevantes para la construcción del modelo			
Indicadores	Identificación satisfactoria de propiedades cruciales	Identificación insatisfactoria de propiedades cruciales	Identificación de propiedades irrelevantes
% Respuestas	8	35	57
Ejemplos	<p>a. <i>Un ave. Reacciona al cambio de temperatura. Fuente de energía térmica metabolismo. Excreción de productos de desecho. Defensas del cuerpo. Evaporación insensible, evaporación superficial, sudoración, transpiración, vasodilatación. <u>Haremos gráficas con su reproducción, lo haremos tridimensional en cartón y explicaremos sus cambios y si es igual a otro animal...</u></i>(Estudiantes B43M, B54M, B66M y B65M)</p> <p>b. Serpiente: este reptil de sangre fría sale al sol para regular su temperatura... ella tiembla al tener mucho frío y al generar movimiento... El modelo se presenta en texto o en mapa conceptual. El sistema nervioso le ayuda a percibir el calor y el frío, la lengua es fundamental porque por medio de ella puede detectar el cambio del clima, Se entierra en la arena cuando hay demasiado calor... su fuente de energía es el calor del sol, pierde y gana energía mucho más rápido que otros animales... (Estudiantes A25M,A32M)</p>	<p>c. Nosotros vamos a representar el modelo de un ave para explicar cómo regula su temperatura, cuál es su principal fuente de energía térmica. El ave cuando tiene frío usa el sol para calentarse y usa su plumaje como un aislante térmico. Cuando ya tiene su temperatura estable su cerebro le indica que ya no necesita estar más al sol. (Estudiantes A26F,A20M)</p>	<p>d. <u>Serpiente terrestre: por medio de su comida va a mantener su regulación. Por medio de su metabolismo regula su temperatura.</u> La serpiente es ectoterma, se tiene que adaptar al clima. (Estudiantes B50F y B53F)</p> <p>e. Esta coral almacena en los desiertos del Sahara su temperatura máxima es de 55°C, en la noche la temperatura es de 10°C y la coral se entierra para mantenerse cálida, también es exoterma (Estudiantes B70M y B58M).</p> <p>f. Un pato. El animal tiene que alimentarse bien para poder tener un buen proceso de metabolismo. El animal tiene que tener una buena termorregulación, es decir cuando este en el agua, pues debe salir al sol (Estudiantes B56M y B31F)</p> <p>g. El conejo, para el metabolismo el animal estará comiendo algo. Para la termorregulación el animal estará al sol, el sapo se tiene que cuidar de los depredadores (Estudiantes B36M y B40M).</p> <p>h. El modelo va a ser de un lagarto. Este animal es de sangre fría para ello todas las mañanas debe salir a tomar el sol para aumentar la temperatura y tenerla estable. También debe consumir alimentos para que su aparato digestivo funcione normalmente. Sacaría flechas para describirle sus partes. (Estudiantes B59M y B68M).</p> <p>i. La temperatura interna regular de una animal es cuando tiene una energía la cual es el potencial para que el sistema nervioso sea más eficiente y pueda tener la principal fuente de homeostático. Por medio de un dibujo un esquema, en el dibujo vamos a explicar la situación de la temperatura, la fuente de energía que tiene y el sistema nervioso. (Estudiantes A33M y A73F)</p>

Un grupo hizo referencia a la homeóstasis de forma vaga, mientras que tres grupos (seis estudiantes) identificaron la mayoría de las propiedades cruciales para construir un modelo del mecanismo que produce el fenómeno. Sin embargo, en una de las afirmaciones (ejemplo **a**, Tabla 22), cuando los estudiantes se centran en la forma de representación (texto subrayado), en los medios y recursos que emplearán para modelar el fenómeno, señalan la reproducción como aspecto a incluir y se concentran en la descripción de características físicas y ecológicas del animal lo cual es inadecuado porque se centra en aspectos no relevantes del mecanismo, no tiene relación con lo descrito sobre cómo termorregulan los animales y sugiere dificultades en relación con el concepto de modelo así como la elaboración. Aunque tienen una noción adecuada, enfrentan dificultades al pensar en la representación de la misma.

Los estudiantes que no identifican satisfactoriamente propiedades cruciales en la construcción del modelo (35%) se refirieron principalmente a respuestas comportamentales y en algunos casos mencionaron el sistema nervioso como controlador de la temperatura (afirmación **c**, Tabla 22).

Por otra parte, la mayoría de los estudiantes (57%) citan algunos términos importantes, como metabolismo, temperatura interna, sistema nervioso, pero los escritos fueron confusos e incluyeron ideas irrelevantes, que no son cruciales para la construcción de un modelo por lo que a pesar de que se evidencie el reconocimiento de otros componentes de un mecanismo para el fenómeno de termorregulación, las ideas expresadas ponen en evidencia dificultades para la construcción de un modelo que permita explicar cómo regulan la temperatura los vertebrados terrestres, debido a que ello implica identificar los entes (órganos, sistemas) involucrados, las acciones que ellos desarrollan y cómo se sincronizan esas acciones para producir el fenómeno.

Los resultados llevaron a suponer también que los estudiantes no quedaron suficientemente motivados para escribir o registrar sus ideas y que, en la siguiente actividad, donde tenían la oportunidad de discutir sobre su modelo con otro grupo, de observar el modelo que proponían sus compañeros, podrían clarificar algunas

ideas que contribuirían con la estructuración de un modelo que permitiera explicar cómo termorregulan los vertebrados terrestres.

b. Expresar el modelo mental a través de cualquier forma de representación.

Luego de discutir en parejas sobre el objetivo del modelo, revisar las propiedades que habían definido y las ideas sobre el modelo, las parejas elaboraron un modelo que posteriormente fue discutido con otro grupo y, a partir de ello, produjeron un modelo consensuado.

Los modelos consensuados fueron principalmente dibujos de animales, es decir, en su mayoría los estudiantes usaron una sólo forma de representación en nivel bidimensional (tabla 23). Además, están centrados en aspectos fenomenológicos, atributos externos, dependencia de fuentes externos y comportamientos. No se representaron elementos asociados con respuestas fisiológicas y dos grupos citaron diferencias entre ectotermos y endotermos. La mayoría de los modelos son similares a imágenes que presentan con frecuencia libros de texto de consulta habitual a nivel universitario (Figura 10a) (POUGH, H. et al. 2003) y en secundaria (RODRIGUEZ et. al., 2013) (Figura 10b).

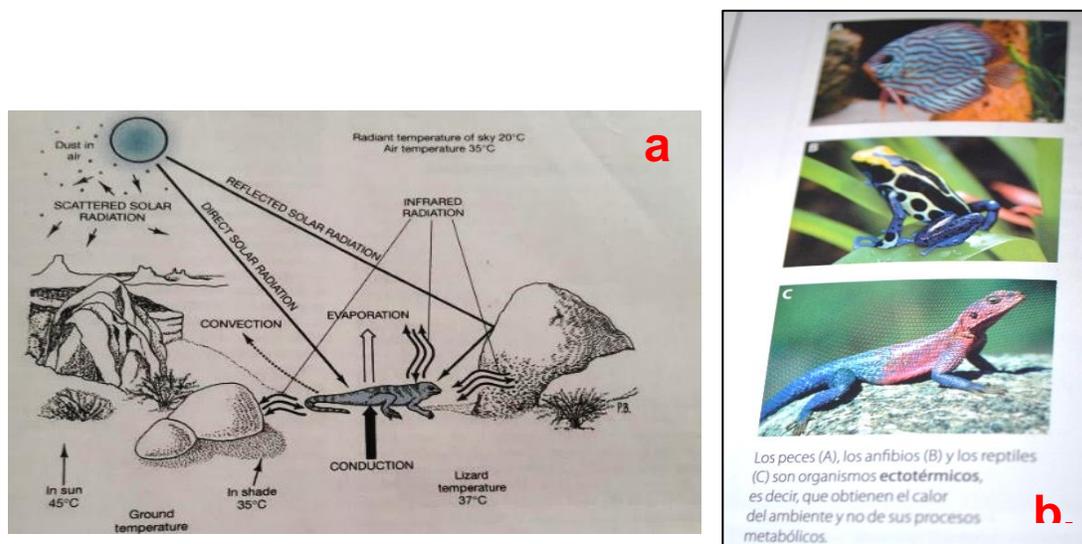
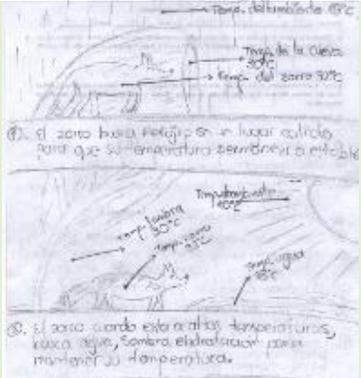
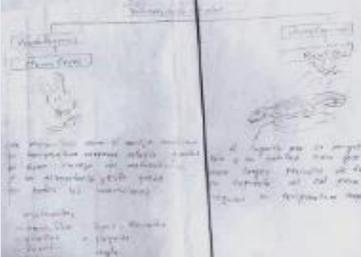


Figura 10. Imágenes utilizadas en libros universitarios (a) y en libros didácticos para básica secundaria (b) para ilustrar la termorregulación en animales.

Tabla 23. Matriz de análisis de modelos consensuados expresados por los grupos de estudiantes luego de definir el objetivo del modelo y desarrollar actividades para observar y analizar atributos del fenómeno. El análisis se centró en aspectos generales del modelo. No se contempló un análisis específico debido a la no correspondencia de los modelos con modelos de mecanismos.

Tipo de representación	Aspectos del fenómeno que representa	n y %	Ejemplo	Sintáctico (Señales gráficas)	Semántico (Significado, sentido de la imagen)	Pragmático (Contexto basado en experiencia previa)
Dibujos que representan uno o más aspectos del fenómeno	Vías físicas - comportamientos	(5) 23		Dibujo Reptiles (serpiente, lagarto), sol, roca	Sol y roca fuente de energía para el lagarto – mecanismos físicos – Influencia del ambiente externo, sol fuente de energía.	Familiaridad con fuentes externas de energía. Conocimiento cotidiano, aspectos externos del fenómeno.
		(4) 19		Sol y roca fuente de energía para el rana – mecanismos físicos – Influencia del ambiente externo, sol fuente de energía	Este animal es un ectotermo que puede regular su temperatura interna por medio de conducción, convección o radiación. En este caso nuestro modelo regula la temperatura por medio de radiación, es decir el sapo está sobre una hoja y con los rayos solares que recibe su temperatura se regula ya que este necesita de su fuente principal que pueda ser una roca, el sol o el alimento.	

Tabla 23. Continuación...

Tipo de representación	Aspectos del fenómeno que representa	n y %	Ejemplo	Sintáctico (Señales gráficas)	Semántico (Significado, sentido de la imagen)	Pragmático (Contexto basado en experiencia previa)
Dibujos que representan uno o más aspectos del fenómeno	Vías físicas - comportamientos	(4) 19		Endotermos, aves o mamíferos	Zorro: busca lugares cálidos, el sol o sitios con temperaturas bajas para aumentar o disminuir su temperatura según corresponda/ Zanahoria se asocia con la alimentación, sol fuente de energía externa para el conejo.	Familiaridad con fuentes externas de energía. Conocimiento cotidiano, aspectos externos del fenómeno.
Sólo dibujo de un animal	Sujeto donde se produce el fenómeno	(3) 14		Rana, León, Lagarto	Animal como modelo – los vertebrados como animales termorreguladores	Ejemplos de ectotermos y endotermos.
Esquema	Describe respuestas	(2) 10		Esquema. Diferencia ectotermos y endotermos	Respuestas diferentes para regular la temperatura según la fuente de energía térmica	Fuente de energía térmica genera diferencias en relación con la termorregulación de los vertebrados terrestres.
Texto	Comportamientos, vías físicas, fisiológicas. Condición de ectotermos	(1) 4.7	La serpiente como es de sangre fría depende de la luz solar para mantenerse. También los animales se termorregulan a través de su respiración, también por sus poros o buscan un ambiente favorable para su supervivencia. El sistema nervioso actúa de forma que le permita termorregularse de forma balanceada a cualquier animal y en un ambiente donde se adapte a los rangos de temperatura (A20M, A26F, A35M, A32M)			Cita componentes del mecanismo pero no los integra en un modelo.
No Responde		(2) 10				

En general, comparado con los modelos iniciales no se observan cambios significativos que conduzcan a la consolidación de un modelo de mecanismo, a pesar de que los estudiantes citan nuevos términos e ideas, que evidencia mayor claridad en relación con las principales fuentes de energía y las diferencias que esto genera en relación con la termorregulación en los vertebrados terrestres (endotermos y ectotermos). Sin embargo, estas ideas aún no son integradas en los modelos. Las observaciones de la cotidianidad, en los libros didácticos, así como lo identificado en el videojuego son los atributos del fenómeno que los estudiantes han materializado en sus modelos.

Algunos estudiantes se refirieron al sistema nervioso, citaron el metabolismo, la homeóstasis, respuestas fisiológicas como vasodilatación, y en la mayoría de los casos reconocen respuestas comportamentales, así como las vías físicas de transferencia de energía, apenas se representan fuentes de energía, vías físicas sin representar una relación entre ellas. Los sistemas, órganos, así como las relaciones entre los mismos, aún no son evidentes. Existe dificultad para organizar y representar las ideas de manera tal que puedan ser expresadas en un modelo como se observa en la Tabla 23.

Además de comprender la termorregulación como mecanismo, encontrar la mejor forma de representarlo resulta complejo y los estudiantes acuden, así, a formas más sencillas, como los dibujos de animales. Por ejemplo, los estudiantes A20M, A26F, A25M y A32M escriben que explicaran cómo un ave regula su temperatura, y citan el cerebro como centro que determina comportamientos que contribuyen con la termorregulación:

vamos a representar el modelo de un ave para explicar cómo regula su temperatura, cuál es su principal fuente de energía térmica. El ave cuando tiene frío usa el sol para calentarse y usa su plumaje como un aislante térmico. Cuando ya tiene su temperatura estable su cerebro le indica que ya no necesita estar más al sol.

Estos estudiantes también se refieren a la termorregulación en serpientes, pero su modelo se centra solamente en un ave (Figura 11):

La serpiente como es de sangre fría depende de la luz solar para mantenerse. También los animales se termorregulan a través de su respiración, también por sus poros o buscan un ambiente favorable para su supervivencia. El sistema nervioso actúa de forma que le

permita termorregularse de forma balanceada a cualquier animal y en un ambiente donde se adapte a los rangos de temperatura.

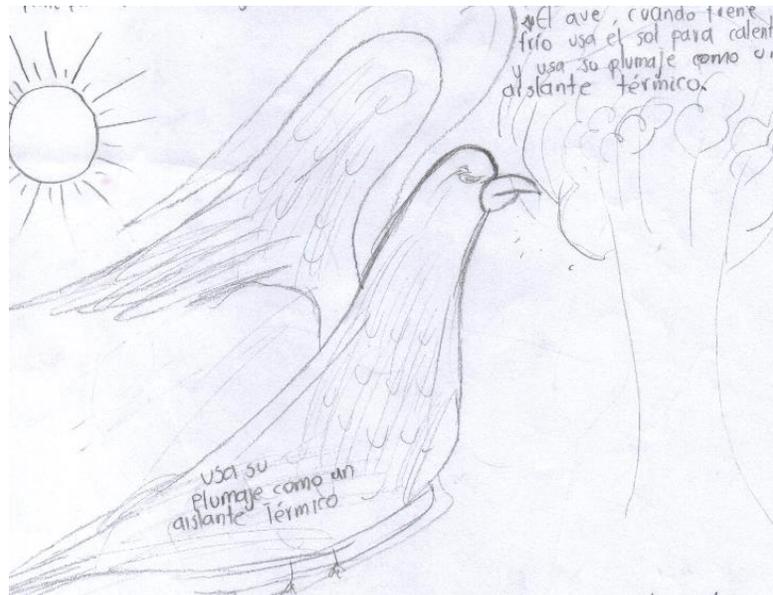


Figura 11. Modelo sobre termorregulación en vertebrados expresado por uno de los grupos de estudiantes en la actividad “expresar un modelo mental”.

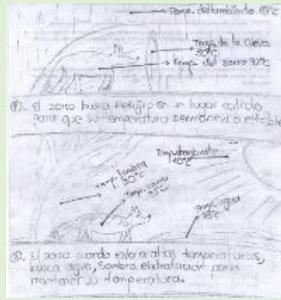
De acuerdo con Gilbert & Justi (2016), visualizar un fenómeno, producir un modelo mental de dicho fenómeno y producir una representación de ese fenómeno, es decir, hacer una transposición de la visualización mental del modelo a su representación externa involucra procesos cognitivos complejos. Eso explica las dificultades enfrentadas por los estudiantes. Por tanto, es importante que el profesor guíe en la organización de las ideas, escuche y oriente en la elección de la forma de representación, así como que promueva la discusión sobre el por qué los estudiantes han elegido determinada forma de representación.

c. Integrar ideas y datos en la elaboración de modelos sobre termorregulación

En la Tabla 24, se observa que los estudiantes no lograron representar de forma coherente las ideas expresadas en las actividades anteriores. Como ya se ha indicado, la mayoría logró representar atributos externos del fenómeno y algunos no son

coherentes con las ideas expresadas, mientras que otros atributos citados por algunos no fueron representados.

Tabla 24. Habilidad para integrar ideas y datos previos en los modelos expresados. Se indica el número (entre paréntesis) y porcentaje de estudiantes según cada indicador de la habilidad.

Indicador	% estudiantes	Ejemplos	
		Idea	Modelo
Presencia en el modelo de aspectos en forma coherente.	0		
Presencia en el modelo de los aspectos destacados anteriormente de forma incoherente.	(3) 15,7	<i>Sistema nervioso: temblar, pasa cuando llueve el sapo tiembla de frío a pesar de ser de agua...el fin es mostrar cómo este ser vivo se adapta a su hábitat por medio de un mecanismo de termorregulación equilibrando su temperatura.</i> (Estudiantes A6F,A18F,A8F,A23F)	
Empleo parcial de los aspectos citados de forma coherente.	(9) 47,6	<i>Escogimos este modelo (serpiente) porque su principal fuente de energía es el sol... debe exponerse al sol... El sistema nervioso le ayuda a percibir el calor y el frío, la lengua es fundamental porque por medio de ella puede detectar el cambio del clima, Se entierra en la arena cuando hay demasiado calor...</i> (Estudiantes A11F, A21M, A76F, A27M)	
Empleo parcial de los aspectos citados de forma incoherente.	(5) 26	<i>Zorro robótico: usaremos termómetros y termostatos para controlar su temperatura. Ambiente controlado, tiempo que necesita para termorregular. Métodos para que su metabolismo sea estable. Sensores de temperatura. Mayor movilidad al atacar para comparar su temperatura bajo presiones de ataque. Mejorar hábitat de la cueva para evitar descompensaciones con el metabolismo.</i> (Estudiantes A7F, A19M, A16M y A31M)	
No emplea aspectos citados	(2) 11	<i>Un ave. Reacciona al cambio de temperatura. Fuente de energía térmica metabolismo. Excreción de productos de desecho. Defensas del cuerpo. Evaporación insensible, evaporación superficial, sudoración, transpiración, vasodilatación. <u>Haremos gráficas con su reproducción, lo haremos tridimensional en cartón y explicaremos sus cambios y si es igual a otro animal...</u></i> (Estudiantes B43M, B54M, B66M y B65M)	

Estos resultados ponen de manifiesto la necesidad de incluir en la secuencia una actividad que permita a los estudiantes comprender qué es un mecanismo biológico y

cómo los científicos trabajan en la identificación y elaboración de modelos de mecanismos. En consecuencia, cada actividad podrá contribuir con la identificación de los diferentes componentes del mecanismo, las actividades e interrelaciones. Si bien la secuencia contempla una actividad para discutir sobre modelos y otra para abordar conceptos básicos, esto no resulta suficiente, dada la complejidad de las explicaciones causales implicadas en el trabajo con mecanismos fisiológicos.

Además de las dificultades ya citadas, es necesario considerar que la falta de motivación de los estudiantes para el desarrollo de las actividades limitó la orientación y explicaciones de los profesores. Ellos invertían parte del tiempo de la actividad en pedir que por favor se sentaran a trabajar, que discutieran con sus compañeros y presentaran sus preguntas a la clase.

Los profesores manifestaron que los estudiantes que participaron en el estudio (grado noveno) tenían dificultades de disciplinarias. Comentarios de los estudiantes sobre las actividades desarrolladas se presentan en el apartado 1.5.1 e indican que para la mayoría las actividades de la secuencia resultaron novedosas y útiles. Algunos llaman la atención sobre cuestiones específicas como mejorar la atención de sus compañeros, presentar más ejemplos de modelos, más explicaciones, entre otras.

El trabajo en grupo en la consolidación de un modelo consensuado fue poco productivo en el sentido del mejoramiento del modelo, así como respecto de los atributos del fenómeno que serían representados en el modelo. Los estudiantes no incluyeron en el modelo consensuado nuevos elementos, ni lo modificaron de manera que tuviera una aproximación al objetivo.

Sólo dos grupos lograron integrar las ideas y modelos (Estudiantes B36M y B40M), los cuales presentaron como modelo un conejo; y B37M y B39M, que presentaron como modelo un diagrama donde se describe la termorregulación en endotermos y ectotermos, y en el modelo consensuado reemplazaron los términos endotermo y ectotermo por las imágenes de un conejo y un lagarto. Los demás grupos conservaron uno de los modelos propuestos por una de las duplas.

Al respecto los profesores manifestaron que, para mantener el orden, resultaba más efectivo que trabajaran de forma individual, porque las actividades en grupo generaban mayor dispersión y falta de concentración, una vez que, mientras un estudiante intenta trabajar, los demás tratan de otros temas. Sumado a ello, pese a que se designaron desde el comienzo de la intervención grupos de trabajo, que debían continuar con la misma estructura hasta el final (esto con el fin de hacer un seguimiento a su progreso), los estudiantes no conservaron esta asignación y se incomodaban cada vez que se recordaba la intención e importancia de trabajar atendiendo a esa asignación.

Por otra parte, en relación con la habilidad de comunicar ideas de forma correcta y con claridad, haciendo uso de términos adecuados, el análisis se redujo a los comentarios adicionales registrados por apenas dos grupos de estudiantes sobre los modelos expresados. En coherencia con ello, uno grupo presentó su modelo y algunas ideas coherentes que lo justificaban:

Este animal es un ectotermo que puede regular su temperatura interna por medio de conducción, convección o radiación. En este caso nuestro modelo regula la temperatura por medio de radiación, es decir el sapo está sobre una hoja y con los rayos solares que recibe su temperatura se regula ya que este necesita de su fuente principal que pueda ser una roca, el sol o el alimento. (Estudiantes A14M, A34F, A24M)

Otro grupo también presentó y justificó su modelo, pero hubo contradicciones entre el modelo expresado y la justificación:

Este modelo se construyó con el fin de mostrar cómo este ser vivo se adapta a su hábitat por medio de un mecanismo de termorregulación equilibrando su temperatura. Escogimos el sapo porque es fácil de hacer y es de sangre fría. (Estudiantes A6F, A18F, A8F, A23F)

7. Actividad 7. Llevar a cabo experimentos mentales

En esta actividad los estudiantes debían formular algunos cuestionamientos que permitirían evaluar su modelo e identificar qué ajustes hacerle en función de aquello que el modelo propuesto no resolvía. En coherencia con ello, se analizó la habilidad para plantear preguntas que permitan evaluar el modelo a partir de las preguntas propuestas por los estudiantes y fue complementado con las respuestas que los estudiantes presentaran a algunos cuestionamientos adicionales propuestos en la guía de trabajo.

La mayoría de los estudiantes formularon preguntas pertinentes (59,70%) y entre ellos un 16% (3 grupos) incluyó algunas preguntas no pertinentes centradas en aspectos de la morfología, nutrición, biología o ecología de los animales que representaron como modelo. Este mismo tipo de preguntas fueron formuladas por el 32,30% de los estudiantes (Tabla 25) y se categorizaron como inconclusas, puesto que no contribuyen para que sea verificada la coherencia del modelo con los objetivos, o con cuestiones que no pueden ser resueltas al operar el modelo. Por ejemplo, la pregunta *¿A cuántos meses se reproduce el lagarto?* (Estudiantes B59M, B68M, B61M, B71M) no está relacionada con el fenómeno así que no es pertinente. Aunque la temperatura interna corporal influye en funciones como la reproducción, el fin del modelo no atiende este aspecto.

Tabla 145. Habilidad para formular preguntas hipotéticas que permitan evaluar el modelo.

Categoría	Formulación de preguntas pertinentes	Formulación de preguntas inconclusas	No formula preguntas
Número y porcentaje de estudiantes	(37) 59,70%	(20) 32,30%	(5) 8,10%
Ejemplos	<p><i>¿Cómo regula el sapo su temperatura interna? ¿Qué fuentes de energía puede usar un ectotermo?</i> (Estudiantes A14M, A34F, A24F, A20M);</p> <p><i>¿Por qué el modelo no tiene ninguna gráfica o dibujo? ¿Cómo es el proceso de termorregulación de los endotermos? ¿Cómo es el proceso de regulación de los ectotermos? ¿Qué procesos adversos pueden interrumpir la termorregulación?</i> (Estudiantes A20M, A26F, A25M, A32M)</p>	<p><i>¿A cuántos meses se reproduce el lagarto?</i> (Estudiantes B59M, B68M, B61M, B71M)</p> <p><i>¿Qué clase de alimento le produce más energía?</i> (Estudiantes B44M, B47M, B42F, B48F);</p> <p><i>¿En qué ambiente vive el conejo?</i> (Estudiantes B36M, B40M, B37M; B39M)</p> <p><i>¿Qué es un camaleón?</i> (Estudiantes A2M, A22M, A17M, A9M)</p>	

Las preguntas pertinentes permiten identificar elementos para evaluar aspectos del modelo en correspondencia con el objetivo propuesto. Sin embargo, son cuestiones generales que admiten respuestas del mismo tipo, restringiendo la posibilidad de que se analice si el modelo representa aquellos atributos del fenómeno que son cruciales para poder comprenderlo, es decir, los entes, las acciones e interacciones que hacen posible la producción del fenómeno (los componentes de la termorregulación como mecanismo se presentaron en la tabla 2).

Si la pregunta que se formula para evaluar el modelo es, ¿Cómo regulan la temperatura corporal interna los ectotermos?, para un estudiante un dibujo de un reptil o una rana (animales reconocidos tradicionalmente y en el sentido común como ectotermos) en la que se represente el sol como fuente externa de energía térmica que puede ser transferida al animal por radiación, conducción o convección (vías físicas) es un modelo que responde ese interrogante, por tanto, es un modelo que ha superado un test mental.

Por el contrario la pregunta ¿Cómo es el proceso de regulación de los ectotermos? aunque también es una pregunta de cómo, que exige una respuesta de tipo descriptivo, se refiere a un proceso conlleva una revisión de actividades representadas en el modelo así como la conexión entre ellas.

En consecuencia, para la mayoría de los estudiantes sus modelos no requerirían grandes ajustes, como fue expresado frente a las preguntas ¿Cuáles son las fortalezas o debilidades de su modelo? y ¿Qué modificaciones debe hacer a su modelo? (Tablas 26 y 27). Para los estudiantes (B39 y A20) su modelo no debía ser ajustado también porque *“los modelos no representan todos los atributos del fenómeno”* (afirmación hecha en diálogo informal con la investigadora) y el modelo expresado por ellos representaba termorregulación a partir de la transferencia de energía por vías físicas. Aunque la afirmación de los estudiantes es válida, los estudiantes no tuvieron en cuenta que la evaluación del modelo debía hacerse en función del objetivo y que el modelo debía mostrar la termorregulación como un fenómeno asociado con la homeóstasis y que es producido por la acción conjunta de varios órganos, sistemas y actividades que operan de forma coordinada, es posible que esto no haya sido claro para los estudiantes, puesto que el enunciado del objetivo no hace referencia a ello. A pesar de que señalaba relación entre termorregulación y homeóstasis, el enunciado fue general: Considerando que la termorregulación contribuye con la homeóstasis, elabore un modelo que le permita explicar cómo mantienen la temperatura corporal interna los animales vertebrados terrestres en rangos de tolerancia y desempeño específicos. Por tanto, es necesario revisar el planteamiento del objetivo y reestructurarlo de una forma más explícita.

En las preguntas propuestas por los estudiantes, así como en las respuestas a cuestiones planteadas en la guía de trabajo sobre las fortalezas y debilidades del modelo (Tablas 26 y 27), aún no se identifica una visión de la termorregulación como fenómeno producido por eventos relacionados y su correspondencia con la homeóstasis. Persisten las dificultades para identificar los componentes del mecanismo que producen el fenómeno de la termorregulación y, con ello, establecer conexión entre la actividad de los diferentes órganos y sistemas, los comportamientos desarrollados por los vertebrados y los fenómenos físicos de pérdida o ganancia de energía.

Tabla 26. Fortalezas identificadas por los estudiantes en los modelos. Se presentan las respuestas registradas por 14 grupos (56 estudiantes) como fortalezas de sus modelos, agrupadas según las categorías identificadas. Entre paréntesis se cita el código de los estudiantes que integraron cada grupo.

Categoría	Citan fortalezas centradas en la forma de representación	Vagas, generales	Centradas en el animal como modelo	Sin relación con la pregunta, confusas
Número y porcentaje de respuestas	16; 28.6	12; 21.4	20; 35.7	8; 14.2
Afirmaciones	“Que no tiene dibujos o gráficas difíciles de entender sino que es una serie de conceptos claros que es más entendible” (A20M, A25M, A32M), A26F,	“Permite explicar el mecanismo de termorregulación en todos los organismos ectotermos como los reptiles” (A1F, A29F, A5M, A28F)	Cita características físicas del hipopótamo (A4F, A10M, A13F, A75F) “El sapo puede respirar debajo del agua y mantiene estable su temperatura” (A6F, A18F, A8F, A23F) “La serpiente gana fácilmente energía del sol, puede adaptarse a cualquier ambiente” (A11M, A21F, A76F, A27M)	“100% efectivo en la movilidad, 100% inteligente en la caza y 100% ágil y escurridizo” (A31M, A19M, A7F, A16M)
	“Que van en tercera dimensión para que todos los estudiantes entiendan más (B41F, B55M, B50F, B53F)	“Que tenemos la temperatura de la gallina” (B44M, B47M, B42F, B48F)	“Sobrevive a una temperatura muy alta o en el agua. Puede comer otras serpientes” (B31F, B56M, B70M, B58M)	
	“Que tiene parte escrita y parte de dibujo para hacer más efectiva y entretenida la explicación” (B36M, B40M, B37M, B39M)	“La fortaleza del modelo depende de cómo lo expliquemos” (B59M, B68M, B61M, B71M)	“Nuestro modelo es un ejemplo de dos clases de animales endotermos y ectotermos y explicamos como por medio de la representación regulan su temperatura” (B60M, B64M, B72F, B45M)	“Que lo propusimos nosotros mismos” (B43M, B54M, B66M, B65M)
	“En otra cartulina explicaremos cada cosa de la maqueta” (B49F, B63M, B51M, B57F)			

Estas dificultades reducen la posibilidad de que el estudiante haga una revisión y un análisis más fino de su modelo, pueda formular preguntas hipotéticas para evaluarlo y, a partir de ello, identifique las fortalezas del mismo o los ajustes que debe hacer en función del logro del objetivo propuesto. Así, por ejemplo, al considerar como fortalezas del modelo el no tener imágenes confusas, que será presentado en 3D o que tiene texto y gráficas (Tabla 27), los estudiantes apuntan para aspectos que, aún que puedan ser importantes, no son relevantes o cruciales para contribuir con la mejora del modelo en función del objetivo propuesto.

Los ajustes que se centran en atributos del fenómeno o en los elementos de la representación son favorables en cuanto reflejan un razonamiento coherente con características no representadas como el hacer evidente vías físicas o las diferencias en cuanto a la termorregulación en reptiles.

Tabla 27. Consideraciones de los estudiantes sobre los ajustes que deben hacer al modelo. Las afirmaciones presentadas por 7 grupos (27 estudiantes) fueron agrupadas según las categorías identificadas. Entre paréntesis se cita el porcentaje y número de estudiantes cuyas afirmaciones se incluyeron en cada categoría.

Categoría	Atributos del fenómeno (8; 29,6%)	Características de la forma de representación	
		Elementos de la representación (8; 29,6%)	Animal como modelo (11; 40,7%)
Afirmaciones	Explicar la termorregulación en los demás animales. No se puede en un solo modelo porque en los reptiles la termorregulación es muy diferente a la de los demás animales (Estudiantes A1F, A29F, A5M, A28F)	Incluir movimiento, agregar información, hacerlo más claro, mejorar la estructura (Estudiantes A2M, A22M, A17M, A9M).	Podemos mejorarlo haciendo dos tipos de hipopótamos (Estudiantes A4F, A10M, A13F, A75F)
	Quisiera hacer representaciones mentales de las acciones físicas y comportamentales de los animales ya que creemos que es lo único que falta (Estudiantes B60M, B64F, B72F, B45M)	Otra representación para endotermos (Estudiantes A11M, A21F, A76F, A27M)	Buscar un animal en el que se pueda explicar todo lo de ectotermos y endotermos (Estudiantes A14M, A34F, A24F)
			Modificaríamos la genética para que pueda ser endotermo y ectotermo (Estudiantes A7F, A19M, A16M)

Por otra parte, apenas cuatro grupos presentaron comentarios a la pregunta ¿Qué respuestas fisiológicas son desarrollados por los vertebrados para regular la temperatura

corporal?²⁰ Sus comentarios incluyen respuestas fisiológicas y comportamentales ante las variaciones de temperatura, así como vías físicas de intercambio de energía evidenciando mayor comprensión de otros componentes del mecanismo lo cual es favorable para testear el modelo y mejorarlo en función del objetivo:

son el metabolismo que lo utilizan los endotermos, mientras que los ectotermos, utilizan los medios externos para mantener su temperatura (Estudiantes FB41, MB55, FB50, F53)

“Vasodilatación” (Estudiantes FA7, MA19, MA16, MA31)

Tiene la capacidad de absorber y conducir el calor y los procesos metabólicos generan calor. Endotermos: son productores de energía dentro de las células del cuerpo y esto permite la regulación precisa (Estudiantes FA1, FA29, FA5, FA28)

...aves y los mamíferos que generan calor interno y también mantienen la temperatura del cuerpo relativamente constante, la temperatura corporal es mantenida por un sistema de regulación automático” (Estudiantes MA9, MA12, MA17, MA22)

Es importante además reconocer como variables asociadas a las limitaciones, en cuanto a la consecución de los objetivos de cada actividad, que los profesores y estudiantes manifestaron escasa familiaridad con las actividades de modelización, que los resultados de las pruebas saber evidencian dificultades en las competencias específicas de las ciencias naturales (indagar, explicar y uso del conocimiento científico), y que se trató de grupos con algunas dificultades en relación con la convivencia, el trabajo en equipo y la disposición para el aprendizaje.

8. Actividad 8. Evaluar el modelo mediante experimentos. Planear y ejecutar experimentos

Esta actividad comprendió dos acciones: una centrada en planear experimentos y otra orientada a la ejecución de un experimento. En el primer caso, se pidió a los

²⁰ En lugar de esa pregunta, en el segundo prototipo se presentaron dos preguntas como guía para que el docente medie en el proceso y no para los estudiantes, con el fin de evitar que se restringieran a copiar y resolver estas preguntas en lugar de proponer las suyas: ¿Su modelo permite ver con claridad los órganos y sistemas que intervienen en la termorregulación?, ¿Su modelo permite ver con claridad las relaciones entre los órganos, sistemas, comportamientos y mecanismos físicos que intervienen en la termorregulación?

estudiantes diseñar una actividad experimental para evaluar el modelo propuesto, en la que se incluyera el videojuego Calangos siendo una actividad que generó mayor dificultad que las anteriores (Tabla 28).

Tabla 28. Habilidad para planear experimentos adecuados. La tabla presenta el análisis de los documentos producidos por 18 grupos (71 estudiantes) y ejemplos de los experimentos según cada categoría. Entre paréntesis se cita el código de los estudiantes que integraron cada grupo.

Categorías	Planeamiento de experimentos adecuados	Planeamiento de experimentos inadecuados	No propone un experimento	No responde
Número y porcentaje de respuestas	0	24%	34%	30; 42%
Ejemplos		<p><i>...sapo lo pondríamos a prueba con la temperatura solar y la termorregulación. También por medio de su alimento, su calor corporal, su espacio y su mecanismo. A comer otras cosas que no son insectos, su temperatura acuática y terrestre, le pondríamos todas las capacidades de sobrevivir (A73F, A3M, A33M)</i></p> <p><i>Pondremos temperatura alta y baja para ver las acciones y opciones que tiene, también abran sensores para registrar los cambios observados y así saber si nuestro modelo funciona y cuáles son sus condiciones (A20M, A25M, A26F, A32M)</i></p> <p><i>Ponemos la temperatura a la cual se somete el lagarto y cuáles son los rangos. Necesitamos: papel foamy, plastilina, cartón paja, termómetro. Esos materiales nos permiten visualizar los cambios de temperatura (A29F y A1F)</i></p>	<p><i>Los animales ectotermos son de sangre fría como los lagartos entre otros, ya que si fueran de sangre caliente no importarían que estuvieran a la sombra mucho tiempo (B68M, B61M, B59M, B71M)</i></p> <p><i>Los animales ectotermos son de sangre fría como los lagartos entre otros, ya que si fueran de sangre caliente no importarían que estuvieran a la sombra mucho tiempo. (B45M, B72F, B60M, B64F)</i></p> <p><i>Nuestro modelo es un ectotermo el cual consigue su energía por una fuente principal de calor. Investigaremos más sobre eso para poder explicar mejor (A11M, A27M, A21F, A76F)</i></p>	

De acuerdo con comentarios registrados en diario de campo, para algunos estudiantes un experimento debía ser desarrollado en un laboratorio y, en ese sentido, incluir el videojuego representaba una limitación. También se registraron comentarios donde los estudiantes mencionaban que la única forma de hacer observaciones sobre

cómo termorregulaba un animal sería observando todos sus comportamientos en diferentes condiciones (Tabla 28).

Los estudiantes que intentaron plantear experimentos no lograron proponer algunos que contribuyeran en la generación de información o respuestas concluyentes sobre la validez del modelo (24%). En su planteamiento, no ofrecieran información clara sobre los procedimientos, las variables o datos que serán recolectados. Las demás actividades propuestas no correspondieron a experimentos, sino a descripciones sobre la termorregulación en ectotermos y endotermos.

Como se identificó a partir de los resultados de las pruebas saber, los estudiantes tienen dificultades en la indagación. Además, según los comentarios de los mismos estudiantes, así como lo señalado por las profesoras, en pocas ocasiones trabajaron en actividades experimentales en los años anteriores, por lo que parte de las dificultades observadas pueden estar relacionadas con ello. De acuerdo con Gilbert & Justi (2016), planear y ejecutar experimentos deben ser prácticas promovidas por el profesor, quien ha de incentivar en los estudiantes la formulación de procesos y preguntas pertinentes, el análisis, la observación. En este caso particular, la escasez de prácticas de enseñanza basadas en la indagación también es una dificultad para los profesores, que no tienen suficiente destreza para orientar este tipo de prácticas.

Para superar las limitaciones con el uso del videojuego, se sugirió no incluirlo y explicar las razones por las cuáles no se usaría. Sin embargo, a la luz de los resultados observados en este ciclo, sugerimos modificaciones para esta actividad en el segundo prototipo presentando algunas sugerencias que guiarían en el planeamiento del experimento.

En la actividad ejecutar experimentos para evaluar el modelo los estudiantes centrarían sus observaciones en las variaciones de temperatura de su propio cuerpo en situaciones de quietud y ejercicio intenso.

La primera parte de la actividad resultó muy interesante para los estudiantes, todos participaron activamente, pero cuando debieron organizar los datos y hacer análisis, el

porcentaje de estudiantes que presentaron alguna respuesta disminuyó, como se indica en la Tabla 29.

A pesar de que la profesora (en este caso, la investigadora), orientó los grupos de estudiantes sobre cada acción, la intención de cada acción específica y cuestiones que debían desarrollar, las limitaciones del tiempo y la falta de interés de los estudiantes por hacer un análisis no permitieron tener un espacio adicional de socialización con toda la clase. Solamente se logró trabajar en los grupos de 4 estudiantes.

Tabla 15. Análisis de la participación en las diferentes acciones y cuestiones propuestas en la actividad ejecutar experimentos. Número y porcentaje de estudiantes que desarrollaron cada ítem.

Acción específica – cuestión	Estudiantes	
	Número	%
Registrar datos	67	94,4
Representación de datos	46	64,8
Análisis de resultados u observaciones	8	5,6
¿Por qué el ejercicio prolongado aumentó su temperatura corporal periférica?	4	5,6
¿Explique por qué la temperatura interna se mantiene relativamente estable?	0	0,0
¿Cómo regula la temperatura el cuerpo durante el ejercicio?	0	0,0
Indique si puede explicar los resultados de su experimento con el modelo propuesto por su grupo y explique por qué.	4	5,6
A partir de los resultados de su experimento y el análisis hecho, indique qué atributos del fenómeno de termorregulación han sido representados en su modelo y cuáles no.	0	0,0
Observaciones	0	0,0

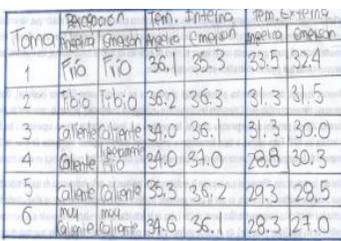
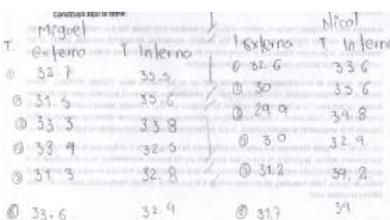
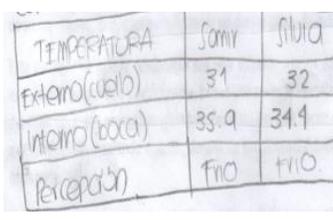
Siendo esta actividad diferente a las demás, no sólo porque ellos debían ejercitarse, tomar y organizar datos a partir de las observaciones y sensaciones en su cuerpo, sino porque las cuestiones que debían registrar y analizar en las hojas guía eran en menor cantidad que en las actividades anteriores, se pone de manifiesto que había entre los estudiantes poca motivación y dificultad para desarrollar actividades que impliquen procesos de raciocinio más complejos que reproducir o repetir ideas de otros.

Consideramos que ya en esta etapa del proceso de modelización es evidente que, además de la dificultad para comprender el fenómeno en términos de algún modelo de mecanismos, de identificar y comprender cuestiones fisiológicas, el hecho de que esta fuera la primera experiencia en la elaboración de modelos limitó la comprensión y

ejecución de las actividades. También generó dispersión y redujo los espacios de discusión que contribuían con la consecución de los objetivos de cada actividad. Por ello, es fundamental fortalecer espacios en los que los profesores comprendan la importancia de promover acciones de indagación y prácticas epistémicas en el aula a la vez que se ofrezcan elementos didácticos para ello. En este caso particular, la investigación constituye una iniciativa en las instituciones donde se trabajó.

En relación con la habilidad para registrar datos que está involucrada en la actividad ejecutar experimentos, la mayoría de los estudiantes lograron hacer una recolecta los datos adecuada (62,7%) (Tabla 30) para hacer el análisis solicitada. Algunos recolectaron los datos, pero al organizarlos omitieron algunos nombres de las columnas o filas (25,4%), mientras que un bajo porcentaje presentó tablas incompletas y tuvieron dificultades en la organización.

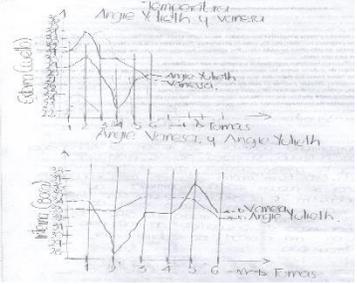
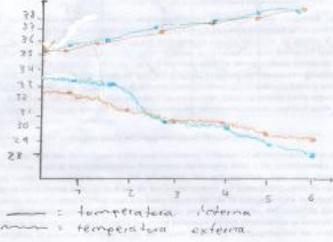
Tabla 160. Habilidad para recolectar datos. Se cita el número y porcentaje de estudiantes en cada categoría y algunos ejemplos de cada caso, citando los códigos de los estudiantes.

Categoría	Recolecta adecuada		Recolecta inadecuada
	Organiza los datos de manera que posibilitan su análisis.	La organización es clara, pero omite algunos datos.	La organización de los datos no es clara, limitando el análisis.
Número y %	42; 62,7%	17; 25,4 %	8; 11,9 %
Ejemplos	 <p>B35F, B58M, B56M, B70M</p>	 <p>B78F, B67F, B39M, B40M</p>	 <p>A13F, A75F, A4F, A10F</p>

Aunque la mayoría registro datos, el porcentaje de los estudiantes que los presentaron en gráficas disminuyó (66 % de los estudiantes, Tabla 31). Entre ellos, la mitad alcanzó el nivel básico de representación de datos, es decir, asociaron el eje x con la variable independiente (causa) y el eje y, con la variable dependiente (efecto), y seleccionaron el valor apropiado para cada uno de los ejes según un conjunto de datos (rango e intervalo correctos).

Los datos representados en las gráficas solo fueron analizados por un grupo de estudiantes (5.6%) (Estudiantes A7F, A19M, A31M), que registró algunos comentarios sobre lo presentado en la gráfica y en relación con dos preguntas.

Tabla 171. Habilidad para representar datos. Se citan el número y porcentaje de estudiantes en cada categoría y algunos ejemplos de cada caso, citando los códigos de los estudiantes.

Categoría	Alcanza el nivel 1 de representación	Solamente rango e intervalo correctos, no identifica ejes
Número y Porcentaje	23; 33,33 %	23; 33,33 %
Ejemplos	 <p>A6F, A8F, A18F, A23F</p>	 <p>B36M, B37M, B39, B40M</p>

En este caso, el análisis no permite llegar a conclusiones adecuadas sobre la actividad experimental como test del modelo porque los comentarios en relación con la gráfica presentaban una descripción confusa: *“La gráfica muestra básicamente la comparación entre el metabolismo de dos estudiantes comparando su temperatura en seis etapas”*. A la pregunta, *¿Por qué el ejercicio prolongado aumentó su temperatura corporal periférica?* no se ofreció una respuesta del por qué sino que se describe la situación observada: *“en nuestra experiencia la temperatura externa se enfría y la interna aumenta o se mantiene estable”*.

Este grupo además considera que su modelo permite explicar los resultados del experimento porque el animal puede termorregular: *“porque el zorro robótico es un modelo que tiene todas las capacidades de termorregularse”*. Así, tuvieron dificultad de comprender la pregunta propuesta. Tal dificultad también fue observada en los demás estudiantes. Aunque no se tengan registros, en los comentarios a nivel de grupos se observó que les resultó complejo entender qué significaba evaluar un modelo, y más aún, cómo evaluarlo a partir de testes experimentales.

Estas dificultades son de cierta forma obvias a la luz de los resultados de las etapas anteriores, una vez que las actividades están ligadas entre sí, de manera tal que una es básica para desarrollar la siguiente. Por tanto, si los estudiantes no consiguieron, por ejemplo, identificar las propiedades más relevantes del fenómeno, comprender el objetivo del modelo, en cada actividad trabajarían siguiendo prácticas habituales, no se involucrarían activamente en cada una y difícilmente alcanzarían el objetivo de cada etapa. Así mismo, el bajo nivel en los resultados de las evaluaciones desarrolladas por el Instituto Colombiano para el Fomento de la Educación Superior (ICFES) para los estudiantes involucrados en el estudio, en cuanto a las competencias uso del conocimiento científico, indagación y explicación implican el desarrollo constante de acciones coherentes con ello, una sola intervención no es suficiente.

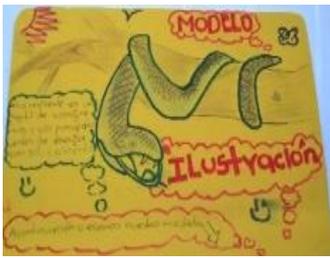
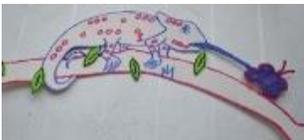
Pese a que los comentarios sobre los ajustes al modelo no fueron registrados y en las conversaciones de los estudiantes a nivel de grupo no se logró identificar qué ajustes harían al modelo, los estudiantes tuvieron un espacio y se suministraron materiales para hacerlo. Algunos llevaron a sus casas las hojas de apuntes personales a partir de los cuales ajustarían sus modelos, para ser socializados en la siguiente clase.

9. Actividad 9. Socialización de modelos ajustados.

En el caso de los modelos ajustados luego de desarrollar test mentales y experimentales, el principal modo de representación continuó siendo los dibujos. Los estudiantes no incluyeron o eliminaron elementos; no modificaron sus modelos en relación con los atributos del fenómeno representados. Solo dos grupos, presentaron su modelo a modo de maqueta. Los demás grupos apenas cambiaron los materiales empleados en la representación o presentaron el modelo con colores y en mayor tamaño (Tabla 32). En ellos, aún no se evidencian aproximaciones a modelos de mecanismo, continuando centrados en atributos perceptibles externamente y en la descripción de comportamientos.

En la socialización del modelo, los estudiantes acuden a descripciones presentadas en las etapas anteriores, ceñidas a aspectos del comportamiento de los animales (Tabla 32).

Tabla 18. Modelos ajustados y socializados con todo el grupo de clase. Se presentan ejemplos de los modelos comparados con el primer modelo expresado a nivel de los grupos de cuatro estudiantes. En cada ejemplo, también se cita la explicación manifestada por cada grupo en la socialización.

Estudiante	Modelo 1	Modelo 2	Explicación modelo 2
A5M A28F A1F A29F			Representa cómo termorregula un lagarto cuando sale de refugio. Representa el sol como la principal fuente de energía, también se han representado animales que sirven de alimento y proporcionan energía. El sistema nervioso detecta las variaciones. Es un modelo sólo para ectotermos.
B36M B37M B39M B40M			El cocodrilo representa a los animales endotermos que son los animales que tienen sangre fría. Cuando el cocodrilo tiene mucho frío busca aguas cálidas o sale al sol para regular su temperatura. Cuando tiene calor va a refugios, piedras o maleza para poder regular la temperatura.
B44M B47M B42M B48M			Se centran en describir las características de las gallinas. Una gallina no soporta mucha temperatura. Los mecanismos para perder y ganar energía son radiación, convección y conducción.
A20M A26F A25M A32M			Detrás de la ilustración los estudiantes escribieron el siguiente texto que fue leído en la socialización... <i>Modelo es serpiente, que es un reptil. La energía la obtiene del entorno. Dependen de la luz solar para regular la temperatura. Luego describe características del animal. Cuando la serpiente tiene frío comienza a tirar. El sistema nervioso identifica las variaciones y manda el mensaje de qué hacer. Por ejemplo si se sofocan le dice que busquen un lugar fresco...</i>
A22M A17M A9M A2M			Modelo es un camaleón que puede camuflarse y eso le ayuda a termorregular. Cambiar de color le ayuda a esconderse de los depredadores y a ganar o no energía.

Ocho grupos incluyeron en sus explicaciones algunos componentes del mecanismo que no fueron evidentes en las representaciones (Tabla 32). Por ejemplo:

El sistema nervioso (6 grupos; 63% de los estudiantes): ... *“El sistema nervioso identifica las variaciones y manda el mensaje de qué hacer”* (Estudiantes MA20, FA26, MA25, MA32)... *“El sistema nervioso es el encargado de controlar su temperatura”* (Estudiantes FB31, MB56, MB70, MB58)

El metabolismo (1 grupo, 6.5%, estudiantes FB41, MB55, FB50, FB53):

...*“metabolismo y el sistema nervioso ayudan a regular la temperatura...”*

Adaptaciones: ... *un camaleón que puede camuflarse y eso le ayuda a termorregular. Cambiar de color le ayuda a esconderse de los depredadores y a ganar o no energía* (Estudiantes MA22, MA17, MA9, MA2).

Con lo anterior, se observa que, sumado a las dificultades asociadas con la identificación de componentes del fenómeno a nivel interno del organismo y el consecuente establecimiento de relaciones entre los componentes, los estudiantes tienen un sesgo en relación con las formas de representación de los fenómenos, es decir, para ellos un animal es un modelo y la mejor forma de representación es un dibujo. En este punto, cobra mayor importancia la necesidad de considerar también como principio de diseño el discutir sobre modelos de mecanismos, así como las formas de representarlos.

Los estudiantes comentaron que en su mayoría eligieron reptiles como modelos, porque son ejemplos de ectotermos y en ellos es más evidente la termorregulación. También porque les resultan más familiares.

En relación con la revisión del modelo en función de los objetivos, durante la socialización, cinco grupos hicieron juzgamientos adecuados (Tabla 33), al reconocer la necesidad de incluir elementos relevantes para comprender el fenómeno, como la actividad fisiológica. Ellos lograron reconocer que no se trata de representar todos los aspectos, y si aquellos que son fundamentales para comprender el mecanismo de termorregulación. Los demás juicios sobre el modelo no fueron adecuados, porque las afirmaciones no son coherentes con el objetivo, o simplemente incluyen comentarios irrelevantes.

Tabla 193. Análisis de juicios emitidos por los grupos sobre los ajustes al modelo socializado.
Entre paréntesis se indican los códigos de los estudiantes que presentaron cada afirmación

Categoría	Juzgamiento adecuado pero insuficiente	Juzgamiento inadecuado
Número y porcentaje estudiantes	19; 28%	51; 74%
Ejemplos	<p><i>...el modelo debe ser ajustado en lo fisiológico, e incluir aspectos relacionados con el metabolismo y el sistema nervioso (A5M, A28F, A1F, A29F)</i></p> <p><i>...el modelo no explica termorregulación (A7F, A19M, A16M)</i></p>	<p><i>Hipopótamo y lagarto requieren del sol y la comida para sobrevivir (A13F, FA75, A10M, A4F)</i></p> <p><i>El modelo no sirve para explicar porque faltan nombres para poder explicar. También que la serpiente tenga compañía porque sola no va a estar (FB31, MB56, MB70, MB58)</i></p>

Una vez hecha la socialización de los modelos, la profesora presentó y explicó el modelo didáctico propuesto en el presente estudio. No hubo espacio para la discusión sobre ello, debido a las limitaciones de tiempo. Posteriormente, se preguntó a los estudiantes por algunas de sus percepciones respecto de las actividades de la secuencia. Las apreciaciones hechas se presentan a continuación.

1.5. Evaluación del primer prototipo

1.5.1. Sobre las percepciones respecto de las actividades de la secuencia:

Las preguntas estuvieron orientadas a identificar cuál fue la actividad de la secuencia que más les agradó o resultó desagradable, cual más difícil o en cuál el estudiante juzgaba que consiguió mayor aprendizaje. Con ello se observó que jugar Calangos (67,7%), la actividad experimental para observar variaciones de temperatura en humanos (49 %) y elaborar modelos (40.6%) fueron las actividades que resultaron más agradables para los estudiantes (Tabla 34). Para los estudiantes, construir y analizar gráficas (%2,6%), así como diseñar experimentos (34.3%) fueron consideradas como las menos agradables y las que les generaron mayor dificultad. En las apreciaciones, elaborar modelos (21.9%) fue la actividad con mayor porcentaje de estudiantes que reconocieron haber aprendido y que generó menor dificultad comparada con las demás (17.2%).

Estas apreciaciones nuevamente ponen de manifiesto que aquellas actividades asociadas con procesos cognitivos más complejos como organizar información, hacer comparaciones, analizar, proponer situaciones, explicar etc. generan dificultad en los estudiantes y generan tedio o desagrado. Mientras que las actividades como jugar, o experiencias que involucren observación directa o manipulación de objetos generan mayor interés.

Tabla 204. Percepción de los estudiantes sobre las actividades de la secuencia. La tabla presenta el número (entre paréntesis) y el porcentaje de estudiantes que manifestaron determinada apreciación sobre las actividades desarrolladas. Resaltamos con negrilla los valores destacados.

<i>Actividad</i>	<i>Apreciaciones</i>						
	<i>Me agradó</i>	<i>No me agradó</i>	<i>Aprendí</i>	<i>Difícil</i>	<i>Menos difícil que los otros</i>	<i>Innovador e interesante</i>	<i>No aprendí nada</i>
Jugar Calangos	(42) 67,7	(11) 17,7	(9) 14,5				
Construir y analizar gráficas	(1) 1,8	(30) 52,6	(10) 17,5	(10) 17,5	(6) 10,5		
Diseñar experimentos	(12) 17,9	(23) 34,3	(10) 14,9	(14) 20,9	(5) 7,5	(3) 4,5	
Actividad experimental sobre termorregulación en humanos	(28) 49,1	(12) 21,1	(9) 15,8	(3) 5,3	(2) 3,5		(3) 5,3
Elaborar modelos	(26) 40,6	(10) 15,6	(14) 21,9	(3) 4,7	(11) 17,2		

En conversaciones informales y en las sugerencias hechas los estudiantes manifiestan que varias de las actividades propuestas resultaron nuevas para ellos y es una de las razones para que tuvieron dificultad en la comprensión y ejecución de cada actividad. Reconocen también que es necesario prestar mayor atención a las explicaciones presentadas así como poder tener acceso a ejemplos de modelos que sirvan como apoyo para entender qué es un modelo (Tabla 35). Es evidente también que el hecho de que se les solicitara registrar sus comentarios, responder algunas preguntas, copiar gráficas resultó menos motivador para los estudiantes.

Las sugerencias refuerzan la importancia de la mediación del docente en la comprensión del fenómeno y la modelización del mismo. Es necesario ir más allá de la información explícita que se puede extraer del videojuego o de la lectura de apoyo,

mediante explicaciones presentadas de forma sistemática, procurando un manejo progresivo de la complejidad en función de las dificultades y características de los contextos.

En suma, las apreciaciones y sugerencias presentadas por los estudiantes acreditan sobre el potencial que tiene la integración del videojuego y las actividades de modelización en la comprensión de fenómenos biológicos que implican razonamientos causales e integrales. Aunque pareciera ser que los logros en términos de habilidades y comprensión del fenómeno no satisfacen los objetivos propuestos, estos son amplios en relación con la complejidad de la temática abordada, las actividades y las dificultades del grupo.

Tabla 215. Sugerencias hechas por los estudiantes sobre la secuencia. Se presenta el número y porcentaje de respuestas presentadas.

¿Qué cambios sugiere para las actividades desarrolladas?	Respuestas	
	Número	%
No cambiaría nada, todo fue útil y novedoso.	18	32,7
Que los estudiantes pongan mayor atención a las explicaciones.	7	12,7
Ver y hacer más modelos.	5	9,1
Quitaría las guías - Menos talleres y más cortos.	5	9,1
Más explicación.	5	9,1
Le quitaría los gráficos	4	7,3
Quitaría el juego	3	5,5
Más actividades con el juego	2	3,6
Más laboratorio - Experimentos	2	3,6
Tomar más apuntes, más teoría	2	3,6
Quitaría hacer modelos	1	1,8
No exponer el modelo	1	1,8

1.5.2 Modelos expresados después de implementar la secuencia:

Posterior a la implementación de la secuencia (cuatro semanas después), pedimos a los estudiantes que, de forma individual, elaboraran un modelo sobre termorregulación en animales vertebrados terrestres. A diferencia de los resultados observados en los modelos expresados durante la implementación de la secuencia, los modos de representación fueron más diversos, una vez que, además de los dibujos, se incluyeron cuadros comparativos y diagramas (Tabla 36). También se citan y representan más

componentes del fenómeno, establecen relaciones entre diferentes respuestas a las variaciones de temperatura y reconocen diferencias entre animales debidas a la fuente de energía térmica: ectotermos y endotermos. Algunos dibujos incluyen palabras, flechas o frases que ofrecen mayor información respecto de lo que pretendía expresar en cada modelo (Figuras 12a, 12b, 12e, 12f, 12g, 12h, 12i, 12j).

En estos modelos identificamos mayores logros que lo observado en los modelos producidos a nivel de los grupos durante la implementación de la secuencia, lo cual indica una progresión en el aprendizaje debida a las actividades de la secuencia. En todos, se incluyó alguna cuestión abordada en las diferentes actividades de la secuencia. Por ejemplo, los modelos centrados en invertebrados, expresados por el 16% de los estudiantes, representan aspectos sobre la termorregulación de las abejas comentadas en la socialización de los modelos y en la lectura de apoyo de la actividad “tener experiencias con el objeto a modelar”.

La mayoría de los modelos representaron un atributo del fenómeno, es decir, un componente del mecanismo, por ejemplo, respuestas comportamentales, vías físicas de pérdida o ganancia de energía. Los diagramas fueron las representaciones que más se aproximaron a un modelo de mecanismo (Figuras 12o y 12p), principalmente, el modelo de la figura 12o, que expresa relaciones entre la autorregulación, la homeóstasis y la termorregulación. Atendiendo al análisis específico, que se centra en los modelos de mecanismos (Tabla 7), el modelo en cuestión identifica los componentes del mecanismo y reconoce la existencia de submecanismos. Son citadas la respiración, alimentación, nutrición, reproducción, excreción y metabolismo, estableciendo conexiones entre metabolismo, nutrición y energía.

En otro espacio, del mismo diagrama, son indicadas relaciones entre autorregulación, homeóstasis y temperatura sin conexión con los términos anteriores. Posteriormente, son señaladas formas de intercambio de energía, incluyendo vías fisiológicas, vías físicas y comportamientos.

Tabla 22. Matriz de análisis general de los modelos elaborados individualmente después de implementar la secuencia. Indicamos el número y porcentaje de estudiantes en cada tipo de representación y aspecto del fenómeno representado.

Tipo de representación	N y %	Aspectos del fenómeno que representa	n y %	Ejemplo. Figura 12	Sintáctico	Semántico	Pragmático
Dibujo	(38) 76	Centrado en el animal	(9) 18	a. y b.	Dibujos de animales, características morfo fisiológicas.	Animal como ente que produce un fenómeno: el animal termorregula.	Observaciones asociadas con la cotidianidad – aspectos externos.
		Fuentes externas de energía	(19) 38	c. y d.	Animal (Lagarto, serpiente, rana), sol, rocas.	Sol como principal fuente de energía térmica.	Dependencia de fuentes externas de energía.
		Endotermo, ectotermo	(4) 8.2	e. y f.	Lagarto, abeja, vaca, aves	Ejemplos de animales con diferentes condiciones en su biología termal	Diferencias entre animales debidas a fuente de energía térmica
		Animal en su hábitat	(3) 6	g.	Animales, nubes, plantas, rocas.	Diferentes componentes del ecosistema influyen la temperatura corporal.	Influencia de elementos del hábitat en la termorregulación.
		Vías físicas de pérdida y ganancia de energía	(4) 8.2	h. e i.	Animal, sol, rocas, flechas o términos que indican vías físicas.	Los animales regulan su temperatura por pérdida o ganancia de energía a través de vías físicas.	Fenómenos físicos – animal como entidad que intercambia energía con el entorno.
		Respuestas comportamentales	(1) 2	j.	Serpiente, árboles, sol, secuencia de movimientos	La serpiente regula su temperatura corporal mediante selección de diferentes sustratos (microhábitat)	Observaciones asociadas con la cotidianidad – aspectos externos
Dibujo abejas	(10) 16	Fuentes de energía para abejas		t. y u.	Abejas, sol, nubes, líneas que indican movimiento	Termorregulación asociada con energía solar y movimiento.	Comentarios y explicaciones presentadas con la secuencia.
Cuadro comparativo	(9) 14	Condición termal, fuente de energía térmica	(5) 7.9	k. y l.	Describe características de los endotermos y ectotermos. Cita varios componentes del mecanismo	Metabolismo determina diferencias en la termorregulación de animales: endotermos y ectotermos. En la termorregulación participan varios órganos. Procesos fisiológicos, respuestas comportamentales.	Observaciones asociadas con la cotidianidad y las actividades discutidas en la secuencia.
		Respuestas a variaciones de temperatura	(4) 6.4	m.			

Tabla 23. Continuación...

Tipo de representación	N y %	Aspectos del fenómeno que representa	n y %	Ejemplo. Figura 12	Sintáctico	Semántico	Pragmático
Diagrama	(3) 4.7	Diferentes condiciones en la biología termal	(1) 1.6	n.	Flechas relacionando frases y palabras	Flechas diferencian entre los animales según la regulación de la temperatura.	
		Varios componentes del mecanismo	(2) 3.1	o. y p.		Flechas relacionan órganos, submecanismos y fenómenos como autorregulación, homeóstasis	
Texto y dibujo	(3) 4.8	Fuentes de energía - respuestas comportamentales y fisiológicas		q., r. y s.	Texto con datos, dibujo lagarto entre agua, sol y nubes.	Dependencia de fuentes de energía externa. A través de comportamientos los animales obtienen o disipan energía térmica.	

 <p>a. A12F</p>	<p>La PERDIZ = Sanguis (entomias)</p> <p>El animal por ser de sangre fría se adapta muy fácilmente a estos fríos, cuando hace mucho calor se vanan de lado de donde hay mucho frío para mantener su temperatura dentro de los límites a todas las estaciones del año, así mantienen su temperatura interna bien equilibrada.</p>  <p>b. A4F</p>	 <p>c. A23F</p>
 <p>d. B36M</p>	 <p>e. A33M</p>	 <p>f. B70M</p>
 <p>g. B58M</p>	<p>TERMOREGULACION</p>  <p>h. B62F</p>	<p>TERMOREGULACION EN ANIMALES</p>  <p>i. A75F</p>
<p>Ectotermos: los animales se calientan desde el exterior con los rayos del sol, por ejemplo los lagartos en un árbol.</p>  <p>j. A20M</p>	<p>TERMOREGULACION EN ANIMALES</p>  <p>k. B59M</p>	<p>TERMOREGULACION EN ANIMALES</p> <p>ectotermos: el animal se calienta desde el exterior con los rayos del sol, por ejemplo los lagartos en un árbol.</p> <p>endotermos: el animal se calienta desde el interior con los rayos del sol, por ejemplo los pájaros en un árbol.</p> <p>l. B61M</p>

Figura 12. Ejemplos de modelos expresados por los estudiantes cuatro semanas después de la implementación de la secuencia.

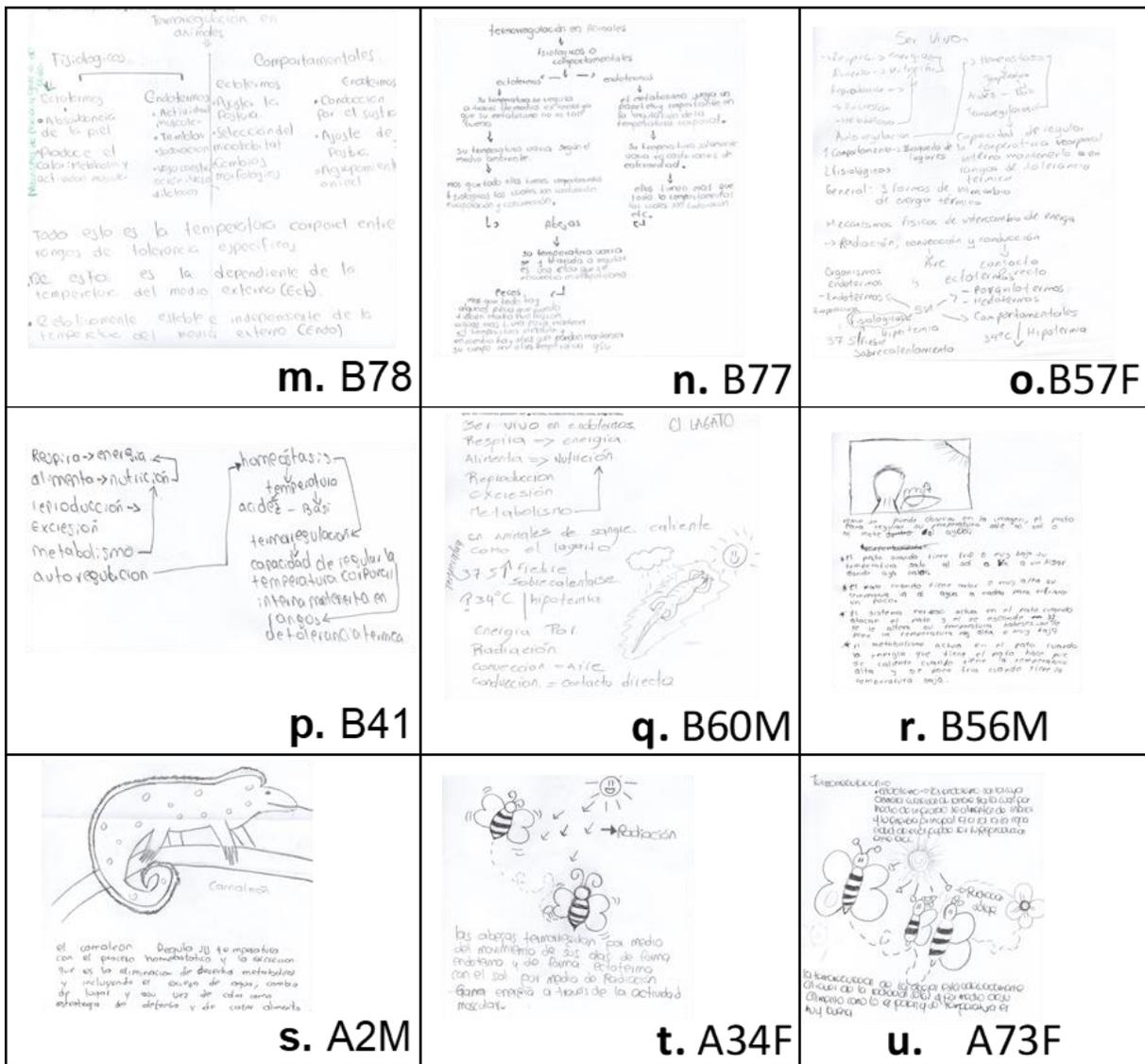


Figura 12. Continuación

En dicho modelo (Figura 12o), las conexiones representadas con flechas entre las formas de intercambio de energía, los términos así como las relaciones entre homeóstasis, temperatura, acidez y basicidad sugieren cierta dificultad para comprender y establecer las conexiones correspondientes. Si bien, el cuerpo humano mantiene equilibrio dinámico en la temperatura, la acidez y basicidad de manera que la regulación de ellos constituye ejemplos de homeóstasis, en el diagrama se representa una relación bidireccional de la temperatura con estos dos factores.

Los modelos que representan influencia de elementos del ecosistema en la regulación de la temperatura tienen mayor relación con lo observado en situaciones asociadas con el videojuego (Por ejemplo figuras 12c, 123d y 12f). Las distinciones entre endotermos y ectotermos no sólo están relacionadas con las dos actividades que incluyeron el videojuego, sino también con lo que lograron reconocer en el ejercicio experimental centrado en el cuerpo humano (Actividad 8a de la secuencia. Tabla 12).

Sumado a lo anterior, algunos comentarios presentados junto con los modelos también evidencian el reconocimiento de otros componentes del mecanismo que produce el fenómeno, pese a que en dos de ellos aún se dificulta distinguir entre animales ectotermos y endotermos:

La serpiente es un ectotermo que requiere radiación para regular su temperatura. Tiene que recibir radiación o también por movimiento intramuscular. Si no termorregula puede morir de hipotermia. No solo existe el mecanismo físico de radiación, también puede ser la convección, la conducción y evaporación. La evaporación es sólo por pérdida y no es muy usada por las serpientes y en ellas la temperatura corporal depende de la temperatura ambiente. (Estudiante A32M)

Endotermos y ectotermos. Animales que regulan su temperatura bajo mecanismos de pérdida o ganancia de energía solar. Radiación, Alimento, convección, evaporación y conducción... (Estudiante A75F)

Ectotermos: fisiológicos, metabolismo, actividad muscular, sistema cardiovascular control de flujo de sangre. Endotermo: comportamentales, actividad muscular, conducción por el sustrato, cambios morfológicos. (Estudiante B44M).

En esta actividad, donde el estudiante debería elaborar individualmente un modelo, se observó que cada uno intentó desarrollar la tarea con mayor responsabilidad y hubo mayor disciplina. Se debía dar cuenta de su propio trabajo y no había espacio para distraer la atención de sus compañeros. En ese sentido, es factible considerar que la dispersión de los estudiantes, la falta de compromiso y la carencia de hábitos de trabajo en grupo fueron limitantes con alta influencia en la consecución de los objetivos de la secuencia.

También es importante destacar que, en la última etapa de la secuencia, la etapa de socialización, se logró presentar una explicación apoyada en el modelo didáctico de termorregulación propuesto en la presente investigación. Dicha explicación fue general y destacó atributos centrales del fenómeno, así como su relación con la homeóstasis. En

ese sentido, es posible que haya permitido a los estudiantes clarificar algunas ideas que posteriormente lograron representar en el modelo.

1.5.4. Consideraciones sobre los resultados del primer ciclo.

1.5.4.1 Sobre los objetivos de la secuencia:

Descritos los resultados de cada actividad, en esta sección se sintetizan los logros, las limitaciones y ajustes suscitados en cada una en cada una (Tabla 37). En coherencia con ello se discute sobre la consecución de los objetivos de la secuencia, los principios de diseño y las preguntas de investigación.

Los objetivos de la secuencia fueron alcanzados parcialmente, es decir que los estudiantes lograron un aspecto contemplado en el objetivo, un pequeño porcentaje de los estudiantes evidenció algún aprendizaje o manifestó determinada habilidad. Por ejemplo; en cuanto al objetivo: *identificar vías de pérdida y ganancia de energía térmica en los vertebrados*, se evidenciaron logros en la identificación de vías físicas: en general, los modelos representaron vías físicas de pérdida o ganancia de energía térmica; varias afirmaciones y comentarios registrados en las diferentes actividades se refirieron a comportamientos como una forma mediante la cual los animales vertebrados podían perder o ganar energía térmica.

Para el objetivo de: *elaborar modelos de termorregulación como mecanismo homeostático y a partir de ello promover visiones integrales de los fenómenos biológicos*, los estudiantes elaboraron modelos de termorregulación y entre ellos, dos se aproximan a un modelo de mecanismo.

Se reconocieron algunos órganos, sistemas que participan en la regulación de la temperatura y se mencionaron algunas funciones (cerebro, sistema nervioso, músculos, piel) por lo que el objetivo de la secuencia asociado con el *reconocimiento de órganos, sistemas, estructuras que participan en la regulación de la temperatura e identifiquen la función de cada uno en este fenómeno* fue alcanzado parcialmente.

Tabla 37. Síntesis de los principales logros de aprendizaje y habilidades evidenciados en cada actividad de la secuencia. También se señalan las limitaciones y ajustes en cada caso. Los logros o limitaciones correspondientes a las habilidades son señalados en letra cursiva.

Actividad	Logros	Limitaciones	Ajustes
Papel de los modelos en ciencia.	Permitió discutir aspectos básicos y centrales de los modelos.	Escaza participación de los estudiantes.	<ul style="list-style-type: none"> • Incluir lo relacionado con modelos de mecanismos. • Mayor discusión con los docentes sobre qué son y cuál es el papel de los modelos en ciencia.
Explorar conceptos básicos. Actividad guiada por preguntas y orientada por la docente. Aborda cuestiones básicas sobre homeóstasis, metabolismo, pérdida y ganancia de energía térmica.	Identificar limitaciones en cuanto a la comprensión de conceptos asociados que son básicos para promover entender termorregulación en el contexto de la homeóstasis y como mecanismo.	Dispersión del grupo, dificultad para generar debate, orientar y explicar la temática por parte de la profesora.	<ul style="list-style-type: none"> • Ampliar el espacio de discusión y explicación sobre homeóstasis, metabolismo y fenómenos físicos de pérdida o ganancia de energía térmica. • Fortalecer espacios de discusión sobre esas temáticas con los docentes para lograr mayor participación activa por en el desarrollo de la secuencia.
Tener experiencias con el objeto a modelar. Los estudiantes usaron el videojuego y desarrollaron una guía de trabajo con preguntas orientadoras.	<p>a. En relacionado con el videojuego:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Agradable, entretenido. • Permitió observar en rangos de temperatura de desempeño y tolerancia para los lagartos. Evidenciaron que el lagarto podría ganar o perder energía térmica por vías físicas, mediante comportamientos. <p><i>b. En el análisis de gráficas identificaron ejes e hicieron algunas comparaciones.</i></p> <p><i>c. Habilidad para hacer observaciones: la mayoría hizo observaciones coherentes pero no suficientes.</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> • Una vez superado el reto en el juego se perdía el interés. • Exceso de tareas de transcribir y escribir. • No se promovieron discusiones que permitieran analizar actividad de órganos internos. • No hay evidencia sobre la información extraída de la lectura. • Confusión entre energía, libre y térmica. 	Disminuir el número de gráficas para copiar, ajustar la lectura y proponer preguntas para identificar actividad de órganos internos.
<p>a) Crear un modelo mental sobre termorregulación.</p> <p>b) Expresar algunas ideas que ayudaran a definir ese modelo mental y registrarlas en una hoja.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Identificar componentes del mecanismo principalmente, vías físicas de pérdida y ganancia de energía, comportamientos. • Algunas referencias a órganos internos, sistema nervioso presentadas de forma aislada. 	Habilidad para identificar propiedades cruciales no fue manifestada.	<ul style="list-style-type: none"> • Reducir cantidad de guías para diligenciar. • Incluir discusión sobre mecanismos biológicos. • Presentar de forma más explícita lo relacionado con los órganos internos y las actividades.

Tabla 37. Continuación.

Actividad	Logros	Limitaciones	Ajustes
<p>a. Reproducir modelo mental construido en las duplas. b. Unirse con otra dupla, discutir los modelos y elaborar un solo modelo.</p>	<p>a) <i>Empleo parcial de ideas (47% de los estudiantes)</i> b) <i>Comunicar ideas de forma correcta sólo dos grupos.</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Reconocimiento de comportamientos, factores externos, diferencias entre animales debidas a la termorregulación. • Reconocimiento de actividad metabólica y sistema nervioso en algunos modelos y comentarios. 	<ul style="list-style-type: none"> • Guiar las discusiones grupales por parte de la profesora. • Dificultad de los estudiantes para representar ideas y para explicar el modelo. • Dificultad para trabajar en grupo y discutir ideas. • Modelos no expresan visiones de mecanismo, no visiones integrales. 	<p>Revisar la formulación del objetivo del modelo para presentarlo de forma más clara.</p>
<p>Experiencias mentales. Desarrollo de guía con preguntas orientadoras.</p>	<p>La mayoría de los estudiantes formularon preguntas pertinentes</p>	<p>Preguntas generales no permiten análisis profundo del modelo.</p>	<p>Presentar al profesor algunas orientaciones para que guie a los estudiantes en el uso de las gráficas en la evaluación del modelo. Replantear algunas preguntas formuladas.</p>
<p>Ajustar modelo. Los estudiantes debían expresar y escribir qué cambios harían en sus modelos a partir de lo analizado en las preguntas.</p>	<p>No se evidenciaron logros.</p>		<p>Sustituir el registro de modificaciones.</p>
<p>Evaluar el modelo experimentos. Guía de apoyo. Experiencia de observación sobre el propio cuerpo y diseño de experiencia usando Calangos.</p>	<p>a. <i>Planear experimentos: No se evidencian logros.</i> b. <i>Ejecutar experimentos: mayor participación, recolecta de datos adecuada en su mayoría.</i> c. <i>Habilidad para representar datos – Gráficas: 33% de los estudiantes nivel básico.</i></p>	<p>a. Planear experimentos: no hay información clara sobre los procedimientos, las variables o datos que serán recolectados. No existe claridad y familiaridad con actividades experimentales. b. Ejecutar experimentos: Analizar datos, comparar usar el modelo para explicar resultados.</p>	<p>a. Presentar orientaciones y algunos ejemplos para diseñar el experimento. b. Proponer actividad experimental usando el videojuego.</p>

Tabla 37. Continuación.

Actividad	Logros	Limitaciones	Ajustes
Ajustar modelo.	Ajustes en la presentación del modelo (colorear, usar cartulinas grandes) más no a la representación. <i>Juzgamientos adecuados pero insuficiente (26% de los estudiantes)</i>	<i>La mayoría de los juicios sobre los ajustes fueron inadecuados (74%)</i>	
Socialización del modelo - comparar con diagrama termorregulación.	En la socialización, además de centrarse en componentes del fenómeno como comportamientos y vías físicas de pérdida y ganancia de energía térmica, un pequeño porcentaje de los estudiantes, citaron el sistema nervioso, metabolismo, adaptaciones y algunas respuestas fisiológicas.	No se hicieron comparaciones con el diagrama. Tiempo reducido.	Señalar la importancia de espacios en que los estudiantes establezcan comparaciones entre los modelos y discutan sobre un modelo consensuado por toda la clase.
Elaborar un modelo sobre termorregulación en animales (después de implementar la secuencia)	Se incluyen otras formas de representación: diagramas, cuadros comparativos. Modelos incluyen mayores componentes del mecanismo. 9,4% de los estudiantes presentan modelos en los que se establecen relaciones.	Persisten ideas del animal como modelo. Identificar los componentes centrales del mecanismo y las relaciones entre ellos.	

Resultados semejantes fueron observados para el objetivo de: *identificar la importancia de la termorregulación en el mantenimiento de la homeóstasis*. Los logros se centran en la mención del término por parte de tres grupos en las diferentes actividades y el reconocimiento de la termorregulación como fenómeno que contribuye con la homeóstasis en uno de los modelos finales.

Los resultados en relación con las habilidades (objetivo 6 de la secuencia), se sintetizan en la tabla 38.

Tabla 38. Síntesis de resultados en relación con las habilidades manifestadas. En verde se resaltan aquellas habilidades con mayores logros y en azul aquellas con menores logros o no se manifestaron habilidades.

Habilidad	Resultados
Observar propiedades del fenómeno	Observaciones coherentes pero limitadas. Reducidas a uno o dos componentes del mecanismo (comportamientos, fuentes de energía, vías físicas) Medianamente coherentes, nivel 3 de análisis de gráficas.
Identificar propiedades del fenómeno relevantes para la construcción del modelo.	Irrelevantes e insatisfactorias. Propiedades cruciales (12%)
Elegir diferentes formas de representación – o la representación adecuada.	Mayoría son dibujos de animales (nivel bidimensional). 6% diagramas.
Integrar ideas y datos previos en la elaboración de modelos sobre termorregulación	No empleo coherente de ideas o datos previos. Presencia en el modelo de ideas o datos previos de forma incoherente y empleo parcial de ideas o datos previos de forma coherente.
Formular preguntas hipotéticas que permitan evaluar el modelo.	Formulación de preguntas pertinentes (59,7%) Formulación de preguntas inconclusas (32,30%)
Planear experimentos adecuados	No se planearon experimentos.
Habilidad de registro de datos	Recolecta los datos adecuada (62,7%)
	Dificultad para organizarlos (37,3%)
Representación de datos - Elaborar gráficas	Nivel básico de representación de datos (33%)
	No elaboraron gráficas (77%)
Análisis e interpretación de datos - Análisis de gráficas.	No permiten llegar a conclusiones adecuadas sobre la actividad experimental como test del modelo.
Evaluar modelo	Juzgamiento adecuado, pero insuficiente (26%), Juzgamientos inadecuados (74%)

Allí se pone de manifiesto que la observación de las propiedades del fenómeno fue la habilidad donde se alcanzaron mayores logros. Todas las observaciones estuvieron centradas en atributos perceptibles de forma directa y asociados con conocimientos de la cotidianidad.

En la formulación de preguntas y el registro de datos también se observaron resultados favorables. La mayoría formuló preguntas pertinentes que permitían testear mentalmente el modelo y a partir de ello, hacer ajustes coherentes con el objetivo de modelo. También recolectaron y organizaron los datos generados en la actividad experimental centrada en la observación de las variaciones de temperatura de su propio cuerpo en reposo y actividad física.

Las habilidades: identificar propiedades del fenómeno relevantes para la construcción del modelo, la planeación y formulación de experimentos, la integración de ideas en el modelo, el análisis de datos así como la evaluación del modelo fueron manifestadas por un menor porcentaje de estudiantes.

En los documentos producidos fueron registrados comentarios sobre los datos que fueron débiles en relación con la posibilidad de que permitieran a los estudiantes llegar a conclusiones adecuadas sobre la actividad experimental como test del modelo.

En relación con las habilidades manifestadas, consideramos que esta primera intervención no es suficiente para que se pongan de manifiesto y logremos identificarlas a partir de su desempeño. Maia (2009) plantea que existe dificultad para separar la habilidad del estudiante de su desempeño al manifestarla y ello es dependiente del contexto de aplicación, de los contenidos específicos involucrados y, principalmente del conocimiento de los estudiantes para enfrentar determinada situación. Por ejemplo, en el análisis de datos no solamente implica una destreza para analizar sino también un conocimiento sobre las variables que están siendo analizadas y cómo estas se relacionan con el fenómeno que es analizado, en este caso, la termorregulación.

Los resultados también están asociados con factores como la dispersión del grupo; el que las actividades constituyan prácticas no habituales; las limitaciones en cuanto a la orientación por parte de los docentes, así como las dificultades relacionadas con la comprensión de conceptos asociados; cuestiones metodológicas y algunas características ya citadas de las actividades disminuyeron la posibilidad de alcanzar logros más significativos y que fueran manifestadas las demás habilidades involucradas en la modelización.

1.4.5.2. Sobre los principios de diseño de la secuencia para elaboración de modelos.

En coherencia con lo anterior, en este apartado se discute sobre cada uno de los principios de diseño y los ajustes en función de los resultados y objetivos de la secuencia.

1. Seguir las etapas de modelización propuestas en el modelo cognitivo de Justi (2006).

Este principio no fue modificado, se mantuvo en sus aspectos centrales, solo incluimos algunos ajustes. Atendiendo a las limitaciones de tiempo durante la implementación de la secuencia, en coherencia con la planeación curricular, es necesario analizar con mayor detenimiento la posibilidad de reducir algunas etapas, posiblemente, centrarse en las cuatro fases centrales del proceso de modelización. También, parece importante dedicar más tiempo a las etapas de tener experiencias con el objeto a modelar y la etapa expresar el modelo mental. En la primera es necesario que los estudiantes desarrollen acciones propias de la elaboración de modelos de mecanismos, como identificar los componentes del mecanismo (entes y acciones) y las interrelaciones entre ellos, para que logren mayores avances en la etapa siguiente etapa, que comprende la elaboración y expresión del modelo mental. En esta, los estudiantes deben prestar mayor atención a la ubicación espacio temporal de los componentes del mecanismo, así como a la forma de representarlos de manera tal que sean claras y coherentes las acciones e interacciones. Por tanto, se requiere mayor mediación del profesor, quien ha de orientar en la identificación de componentes; presentará diversas preguntas a los estudiantes sobre la forma de representación que hayan elegido así como las relaciones entre componentes establecidas por los estudiantes en su modelo.

Con este ajuste se evitará abarcar el tiempo asignado a otras cuestiones de la planeación curricular, disminuir los límites de motivación manifestado por los estudiantes en relación con la extensión de la secuencia y centrarse en aquellas actividades que son más relevantes para los fines de la misma secuencia. Sin embargo, es necesario también tener en cuenta que existe una reorganización de los planes de área y un trabajo interdisciplinar propuesto en la secuencia, de manera que con el desarrollo de la temática se aborden otras temáticas y, sobre todo, se posibilite el desarrollo de habilidades que, en el caso concreto de la institución donde se implementó la secuencia, reflejan niveles bajos de desempeño. Además, atendiendo a las orientaciones presentadas por el MEN

en los DBA publicados en el año 2016, la secuencia tendría una mejor conexión al ser abordada en el grado octavo en conexión con la homeóstasis.

2. Desarrollar la secuencia luego de abordar temáticas como metabolismo, energía térmica, calor, temperatura, mecanismos físicos de pérdida y ganancia de energía y, generar espacios de discusión antes de iniciar las etapas de modelización para discutir sobre ellos y sobre homeóstasis.

Siendo un propósito de la secuencia la comprensión de termorregulación como mecanismo homeostático y a partir de ello, generar visiones integrales de los fenómenos biológicos, este principio ha de mantenerse y hacer ajustes desde el punto de vista procedimental. En particular, es necesario que se promuevan espacios para comprender mejor sobre metabolismo, energía térmica, calor, temperatura, mecanismos físicos de pérdida y ganancia de energía, así como que se establezcan conexiones y relaciones entre ellos.

Como ya se indicó, en los estudiantes se evidenciaron obstáculos en la comprensión de estos conceptos, que también son reportados en la literatura (HARRISON et al. 1999; SARICAYIR et al. 2016 y ÇELIK 2016). Así, es necesario tratarlos con mayor detenimiento y no hacer simple mención, como se planteó en este primer prototipo. En consecuencia conviene además considerar que, sería importante emplear en la explicación el diagrama básico de un sistema regulador homeostático propuesto por Modell et al. (2015).

3. En cada etapa de la modelización los estudiantes deben tener claridad sobre la finalidad de la misma y recibir las orientaciones pertinentes de manera que las observaciones y discusiones no se desvíen del objetivo que atenderá el modelo.

Aunque pueda verse como un principio que tiene mayor relación con lo procedimental, es necesario considerarlo como un principio sustantivo de manera tal que la modelización no constituya el desarrollo mecánico de una serie de pasos, sino que cada actividad sea entendida como parte de un proceso y que en cada una puedan existir elementos que faciliten la comprensión de la actividad científica pese a que no sea un objetivo expreso en esta investigación. Con ello, se contribuye a superar las dificultades

asociadas con la ausencia de prácticas que permitan a los estudiantes comprender la naturaleza de la ciencia y, en particular, de los papeles de los modelos en las prácticas científicas. Así, considerando que en el contexto de aplicación de la secuencia las actividades de modelización no son habituales, este principio implica un mayor compromiso del docente con un abordaje no memorístico de las etapas.

Los docentes manifestaron ciertos vacíos al respecto y su participación en los espacios generados para la discusión sobre modelos y termorregulación no fue activa, siendo apenas realizadas algunas conversaciones informales, como ya se mencionó anteriormente. Esto generó dificultades cuando se debía orientar actividades que presentaron mayor dificultad para los estudiantes, como el explicar resultados usando el modelo o la formulación de experimentos. Las escasas respuestas que se aproximaron a un experimento carecían de información sobre los procedimientos, variables o datos que se recolectarían.

4. Usar el videojuego Calangos como contexto para que los estudiantes puedan hacer observaciones básicas del fenómeno objeto de modelización es decir, en la actividad tener experiencias con el objeto a modelar propuestas por Justi 2006.

Las observaciones del fenómeno registradas a partir de la ejecución del videojuego estuvieron centradas en los rangos que permitían al lagarto mantenerse vivo y activo, así como los comportamientos que desarrolla para perder o ganar energía de fuentes externas (moverse entre sol y sombra, enterrarse, buscar alimento entre la vegetación). Estas situaciones perceptibles de forma directa, son atributos del fenómeno asociados con observaciones cotidianas que fueron representados por los estudiantes en sus modelos y descritas en los documentos producidos en esta actividad.

El videojuego permitió a los estudiantes hacer observaciones que contribuyeron en la elaboración de un modelo sobre termorregulación que satisface una de las características de los modelos en ciencia como el que no son copias de la realidad sino que representan un atributo del fenómeno. Sin embargo, ello no responde al objetivo del que debe atender el modelo; tampoco constituye un modelo de mecanismo, apenas representa algunos componentes del mecanismo.

De acuerdo con las percepciones de los estudiantes sobre su experiencia al jugar Calangos así como los resultados de motivación asociada al mismo, el juego constituye un recurso divertido e interesante para los estudiantes que puede tornarse tedioso y ser poco desafiante, una vez que se han superado el objetivo. También generó dificultad el hecho de tener que resolver preguntas sobre el juego, el desarrollar acciones de pensamiento a partir de lo observado en el juego.

En ese sentido, conviene realizar ajustes a la secuencia de manera tal que se posibilite explotar con mayor suficiencia el uso del videojuego. Esto es, proponer situaciones y preguntas que permitan a los estudiantes identificar órganos que participan en la termorregulación y la actividad de cada uno. Por ejemplo, qué estructura o estructuras identifican alteraciones en los rangos de la temperatura interna específicos para el lagarto, qué respuestas se generan ante las variaciones, etc.

Es posible inferir que los estudiantes reconocieron que mediante los comportamientos, el lagarto podía buscar lugares y elementos que le permitían perder o ganar energía térmica por conducción, radiación, convección o evaporación debido a la diferencia con el ambiente externo pero en esta actividad no se logró evidencia clara al respecto. Entonces, también es importante que se discuta sobre estos fenómenos físicos como las vías por las cuáles el animal pierde o gana energía y que se comprenda cada fenómeno.

Se trata de formular cuestiones concretas para pensar y discutir no para registrar, cuidando de mantener el equilibrio entre lo lúdico y lo científico. Es viable por ejemplo generar situaciones de competencia, registrar datos en el tablero para todo el grupo y con ellas promover la discusiones centradas en los aspectos señalados anteriormente. Así se estimulará la participación (YU 2001; JAYAKANTHAN 2002) y contribuirá en la disminución del factor sorpresa o lo monótono que resulta a quienes consiguen el objetivo del juego en corto tiempo. Es importante reconocer que no se buscaría aumentar el tiempo de juego sino de hacer del tiempo de juego un espacio más activo en lo didáctico.

5. Promover la construcción de modelos consensuados a partir de la revisión colectiva de los modelos expresados individualmente.

Aunque en este principio se reconoció la importancia de la actividad individual, su formulación estuvo focalizada más a considerar la interacción como una acción crucial para el esclarecimiento, la refinación de ideas y consolidación de un modelo con mayor poder explicativo, dado que en los referentes teóricos el trabajo colectivo, la discusión grupal tienen mayor prioridad que la actividad individual.

Sin embargo, de acuerdo con los resultados, en la implementación de la secuencia la principal limitante fue el trabajo colectivo y en las actividades individuales hubo mayor producción, mayor dedicación a ejecutar cada acción propuesta, como fue posible verificar en los modelos posteriores a la implementación de la secuencia.

Blanco Anaya et al. (2017) reconocen que es necesario otorgar igual importancia a la etapa individual y grupal en la actividad de expresar el modelo mental, teniendo en consideración la existencia de interacciones entre el modelo mental y modelos expresados de cada individuo, así como las interacciones a nivel de grupo. En el caso de los resultados de nuestro estudio, el análisis de las relaciones entre cada modelo individual y el generado en el consenso grupal reflejan escaso intercambio de ideas para llegar a un consenso. Posiblemente la falta de claridad en relación con el modelo, la dispersión del grupo, el escaso compromiso de algunos integrantes del grupo y la carencia de una orientación más efectiva por parte del docente son variables que han influido en ello. En consecuencia, el principio debe ser revisado en lo procedimental, es decir, promover discusión sobre los órganos internos involucrados en las diferentes respuestas desarrolladas por el lagarto para mantener su temperatura interna en rangos de tolerancia y desempeño específicos como se indica en la tabla 40.

6. Involucrar el uso del videojuego en la formulación de las actividades experimentales para evaluar el modelo.

En la evaluación del modelo, la experimentación y la observación ayudarían a tomar decisiones sobre qué aspectos del modelo explican el fenómeno objeto de estudio, se articulan con mayor coherencia con el mundo real y son consecuentes con el objetivo propuesto. Por esto, se consideró que Calangos ofrecía al estudiante la posibilidad de

aproximarse a una situación real y evaluar el modelo en función de ello.

Para los estudiantes resultó complejo proponer experimentos, más aún, incluir el videojuego en dicha actividad, por lo que los logros fueron negativos en esta etapa. Las características de los modelos propuestos también fueron una limitante para evaluarlos mediante experimentos puesto que al considerar diferentes animales como modelos, algunas ideas se centraron en someter cada animal a diferentes condiciones ambientales.

Atendiendo a los resultados de las demás actividades y a los modelos elaborados, es pertinente presentar orientaciones más puntuales para plantear el experimento, por ejemplo, sugerir algunas situaciones y considerar el uso del juego en asocio con una actividad experimental que permita evidenciar respuestas fisiológicas que no son evidentes en el videojuego. Si bien fue propuesta una actividad de este tipo, no se relacionó con el videojuego y no se propuso una actividad experimental que incluyera el videojuego sino que se pidió a los estudiantes que ellos mismos formularan un experimento que incluyera el videojuego porque se buscaba propiciar un espacio para que los estudiantes pudieran trabajar en la habilidad de formular experimentos como parte del proceso de modelización.

En ese sentido el principio debe ser reformulado buscando que se provean espacios para evidenciar situaciones no observadas en el videojuego y se ofrezcan orientaciones precisas para la formulación de experimentos en los que además se haga uso de las gráficas generadas por el videojuego.

7. Discutir sobre las limitaciones de los modelos “finales” en función del objetivo propuesto, los resultados de las pruebas experimentales y los argumentos que surjan de los estudiantes en los espacios de socialización.

No logramos recolectar información para analizar este principio. Solamente se evidenciaron algunos cambios en los modelos luego de que cada grupo socializó su modelo, y cuando el profesor presentó algunas explicaciones y socializó el modelo didáctico propuesto en este estudio.

1.6. Consideraciones finales sobre el primer ciclo de la implementación de la secuencia didáctica:

Como se indicó, los estudios teóricos e investigaciones sobre cuestiones didácticas de termorregulación son escasas. En Colombia, el concepto no es explícito en la planeación curricular, y hasta 2016, homeóstasis tampoco era referenciado de forma directa, como concepto central en el currículo. Ello generó dificultades en relación con la estructuración y definición de aquellos aspectos del fenómeno que serían relevantes para ser abordados en el aula, así como la forma en que serían explicados. Sin embargo, a partir de las observaciones durante la implementación se fortalecieron dos cuestiones centrales que se detallan a continuación:

1. En la etapa preliminar de la investigación se definió un diagrama sobre termorregulación en animales, que fue la base para construir la secuencia, pero fue modificado durante la implementación del primer prototipo, según las observaciones en el aula. Ese primer diagrama, diseñado en 2014, no fue concebido siguiendo la propuesta de Modell et al. (2015) que explica de forma básica, precisa sobre los componentes de un mecanismo homeostático y unifica sobre uso de términos, la cual fue asumida en la secuencia didáctica. Además se ubicaron las vías físicas de pérdida y ganancia de energía en el mismo nivel que las respuestas comportamentales y fisiológicas, de manera que las vías físicas eran asumidas como otra forma de pérdida y ganancia de energía térmica, más no la única.

Aunque en la construcción del primer prototipo de la secuencia se consideró una activación del mecanismo de termorregulación tras la pérdida de la homeóstasis en la temperatura interna del cuerpo de un animal, los principios, así como las actividades de la misma, presumieron un conocimiento y comprensión de la homeóstasis por parte de los estudiantes y no incluyeron elementos que facilitaran el establecimiento de conexiones. Así, la posibilidad de que se elaboraran modelos de termorregulación como mecanismo homeostático fue reducida, como se reflejó en los modelos y explicaciones, en las cuales los estudiantes no hicieron relación de la termorregulación con la homeóstasis.

Así, en los principios de diseño de una secuencia que aborde la termorregulación en vertebrados ha de considerarse dicho fenómeno como un contexto que contribuye con la comprensión de la homeóstasis y, como tal, requiere de un tratamiento en conexión con ese último concepto. Entonces es coherente hacer un tratamiento desde la propuesta de Modell et al. (2015), quien reconoce cinco componentes centrales para un sistema de regulación homeostático, como se planteó en las Figuras 3 y 4 (Páginas 50 y 51).

2. Otra de las dificultades asociadas con el diseño e implementación del primer prototipo fue la dificultad para explicar termorregulación como mecanismo. Durante la implementación se observó que los estudiantes asumieron la termorregulación como un contenido más, sin coherencia y conexión, por lo que fue necesario ajustar los referentes teóricos de la investigación que sustentan la secuencia delimitando el mecanismo que produce el fenómeno, detallando en una tabla los componentes, las actividades, submecanismos, interrelaciones y secuencia de actividades en coherencia con los componentes de un sistema de regulación homeostático y considerarlo como base en el desarrollo de las demás actividades y segundo prototipo de la secuencia. Esto permitió consolidar el modelo didáctico sobre termorregulación, como una propuesta básica con fines didácticos que no logró ser abordada completamente durante en este primer ciclo.

En ese sentido, las dificultades de los estudiantes son consecuencia de lo anterior, de la naturaleza de un mecanismo y de cuestiones propias de la organización curricular y prácticas de aula porque:

a. Un mecanismo presenta complejidad estructural y funcional, así como múltiples interrelaciones entre sus componentes. Identificar las partes operativas, determinar su organización, mostrar cómo las entidades trabajadoras causan y constituyen el fenómeno ha sido una actividad compleja en el campo de la ciencia que, sin duda, representa varios obstáculos didácticos en el contexto de la enseñanza y aprendizaje.

b. Los estudiantes se enfrentaron por primera vez a una actividad epistémica como la elaboración de modelos y, durante su formación, en ningún momento abordaron fenómenos biológicos como mecanismos. También presentaron dificultades en competencias como construir explicaciones, vacíos en relación con temas básicos como actividad metabólica, energía térmica, procesos fisiológicos a nivel del sistema nervioso,

muscular, circulatorio, que en la construcción de la secuencia fueron asumidos como ya comprendidos.

No obstante, el análisis del proceso refleja ganancias en cuanto al reconocimiento de las vías físicas de pérdida y ganancia de energía, relación entre el metabolismo y la termorregulación, la inclusión de nuevos términos en el vocabulario de los estudiantes (metabolismo, homeóstasis, ectotermos, endotermos, actividad muscular) o ideas relacionadas con el fenómeno en los modelos y en los registros para cada actividad a medida que avanzaba el proceso y, en grupo reducido, modelos más coherentes con un modelo de mecanismo luego de completar el proceso. Esto es consistente con la idea de una evolución de los modelos a medida que el estudiante consigue articular sus conocimientos, madurar sus ideas de manera tal que la consecución del objetivo del modelo se realiza gradualmente (BLANCO ANAYA et al. 2017)

Durante la implementación de la secuencia fue evidente la visión fenomenológica, centrada en aspectos macroscópicos, en el ente donde se produce el fenómeno (animal). En los resultados de cada etapa, se observaron las mismas dificultades reportadas por BUDDING (1996); ASSARAF ET AL. (2013); BARAK et al. (1999) para comprender aspectos fisiológicos, desarrollar apreciaciones dinámicas, representar y explicar interrelaciones; así como para identificar y representar relaciones causales.

Con ellos se pone de manifiesto, además de los obstáculos ya discutidos, un vacío en el tratamiento de procesos fisiológicos, un distanciamiento de la actividad científica en cuanto al abordaje de los mecanismos biológicos y las explicaciones causales a nivel de prácticas de aula. También se evidencia escasa disposición por parte de los profesores para abordar propuestas didácticas diferentes, para reorientar y reestructurar su planeación en función de propuestas consistentes con argumentos epistemológicos o de promover acciones didácticas interdisciplinares.

Aparte de los resultados propios de los objetivos de la investigación, en este documento también se exponen varias problemáticas asociadas con situaciones cotidianas del aula y de las instituciones educativas (espacios, tiempos, recursos físicos; tiempo, disposición y formación de los docentes; políticas etc.) que comúnmente no son reportadas en las investigaciones pese a que son fundamentales para que los resultados

de las investigaciones consigan ser comprendidos e incluidos en las prácticas de aula. También para que los profesores se involucren en prácticas de indagación.

La investigación también permite concluir que el videojuego Calangos permite abordar termorregulación en animales y apoyar actividades de modelización siempre que se logre equilibrar su función educativa con lo lúdico y, con la orientación del profesor, se consiga conectar con actividades retadoras cuya complejidad, en términos de los procesos de pensamiento asociados, aumente gradualmente durante el proceso de modelización. Calangos permite observar comportamientos, evidenciar fenómenos físicos y la manifestación de procesos fisiológicos. Siendo el propósito educativo del videojuego el aprendizaje de temáticas de ecología, su potencial para visualizar procesos fisiológicos es reducido e eso implica un uso en conexión con otras actividades.

2. Segundo ciclo. Prototipo 2:

2.1 Principios de diseño y actividades:

Atendiendo a las consideraciones anteriores, ajustamos los principios de diseño y algunas actividades del segundo prototipo. En la tabla 39 presentamos los aspectos sustantivos y procedimentales de los principios, posteriormente, discutimos sobre los ajustes en cada caso y en la tabla 40 sintetizamos los ajustes a las actividades que son detalladas en el anexo 6.

1. Primer principio: Abordar termorregulación en conexión con la homeóstasis. Este principio surgió por los límites cuanto al conocimiento de los estudiantes con relación a la homeóstasis, así como por la desconexión de sus modelos y comentarios con este fenómeno. Es necesario que en el desarrollo de cada actividad de la etapa de modelización, las diferentes explicaciones y observaciones se presenten en conexión con este fenómeno. Si bien homeóstasis no es el objetivo central de la secuencia, nuestros fundamentos teóricos y presupuestos de aprendizaje se focalizan en contribuir con la

comprensión de la homeóstasis como concepto central en el campo del conocimiento biológico.

Tabla 24. Aspectos sustantivos y procedimentales de los principios de diseño para el segundo prototipo en relación con los objetivos de la secuencia.

Aspectos sustantivos del principio de diseño	Aspectos procedimentales del principio de diseño
<p>1. Termorregulación, como un mecanismo de regulación homeostática, debe ser tratado en conexión con la homeóstasis.</p>	<p>a. Incluir de forma explícita homeóstasis y termorregulación en la planeación, buscando una secuenciación coherente con las demás temáticas propuestas en el currículo. b. En la etapa preliminar al desarrollo de las actividades de modelización, discutir sobre homeóstasis como propiedad de los seres vivos. c. Presentar explicaciones y discutir sobre la relación entre homeóstasis y termorregulación.</p>
<p>2. Abordar temáticas como metabolismo, energía térmica, calor, temperatura, mecanismos físicos de pérdida y ganancia de energía y, generar espacios de discusión antes de iniciar las etapas de modelización.</p>	<p>a. Promover discusiones que permitan recordar los conceptos citados. b. Realizar planeación de temas de forma conjunta con docentes de física y química, buscando continuidad y conexión entre ellos. Debe atender también a que termorregulación constituya un contexto para comprender metabolismo, energía térmica, calor, temperatura, fenómenos físicos de pérdida y ganancia de energía. Mantenemos la propuesta de que la secuencia sea implementada en el grado noveno o al finalizar el grado octavo buscando que haya secuencia y conexión, además de las temáticas citadas, con aquellas tratadas frecuentemente en el grado séptimo, esto es sistemas de órganos (excretor, inmune, nervioso, endocrino, óseo y muscular). c. Implementar la innovación educativa de manera tal que se atiendan las orientaciones curriculares oficiales y se conserve una consistencia curricular (En el contexto de Colombia, eso implica implementar al final del grado octavo o principio del grado noveno).</p>
<p>3. Presentar explicaciones sobre aspectos centrales de un mecanismo biológico, las formas de representación y cómo los científicos elaboran modelos de ellos.</p>	<p>a. Explicar a los estudiantes qué es un mecanismo en el contexto de la biología y presentar ejemplos que faciliten la comprensión. b. Exponer los pasos centrales en la identificación de un mecanismo biológico. c. Discutir sobre lo que son los modelos, los modelos de mecanismos y las formas de representación así como el papel de la modelización en la investigación científica.</p>

Tabla 25. Continuación...

Aspectos sustantivos del principio de diseño	Aspectos procedimentales del principio de diseño
<p>4. Reconocer la modelización como proceso y una práctica epistémica, de manera que las actividades propuestas sigan las etapas centrales del proceso de modelización propuestas por Justi (2006).</p>	<p>a. No presentar el modelo propuesto por Justi para que sea aprendido o estudiado por los estudiantes, usarlo solamente como guía del docente proponiendo y desarrollando las actividades en coherencia con los planteamientos centrales de cada etapa.</p> <p>b. Evitar presentar un modelo sobre termorregulación antes de que los estudiantes elaboren y socialicen el suyo, para no limitar la creatividad.</p> <p>c. Presentar y explicar el objetivo del modelo. Proporcionar orientaciones claras sobre la finalidad y dinámica de cada actividad.</p> <p>d. En cada etapa de la modelización los estudiantes deben tener claridad sobre la finalidad de la misma y recibir las orientaciones pertinentes de manera que las observaciones y discusiones no se desvíen del objetivo que atenderá el modelo.</p> <p>e. Guiar en el desarrollo de cada actividad, encaminando las discusiones y observaciones sobre aspectos del fenómeno que sean centrales y relevantes para la elaboración del modelo.</p>
<p>5. Usar el videojuego Calangos como contexto para que los estudiantes puedan hacer observaciones básicas del fenómeno objeto de modelización es decir, en la actividad tener experiencias con el objeto a modelar.</p>	<p>a. Apoyarse en el videojuego para que los estudiantes hagan observaciones sobre cómo influyen diversos factores externos en la temperatura del animal, qué respuestas fisiológicas y comportamientos desarrolla el animal, las causas y consecuencias de las diferentes respuestas. A partir de ello, también promover que hagan comparaciones con los otros animales vertebrados que forman parte de la situación modelada en el videojuego.</p> <p>b. Promover discusión sobre los órganos internos involucrados en las diferentes respuestas desarrolladas por el lagarto y otros vertebrados terrestres para mantener su temperatura interna en rangos de tolerancia y desempeño específicos.</p>
<p>6. Promover la construcción de modelos consensuados a partir de la revisión colectiva de los modelos expresados individualmente.</p>	<p>Desarrollar actividades grupales para la construcción de modelos consensuados, luego de que cada estudiante haya definido y expresado su modelo mental inicial.</p>
<p>7. Hacer un uso guiado del videojuego e involucrarlo en la formulación de las actividades experimentales para testear y evaluar el modelo. Estas actividades experimentales deben permitir al estudiante evidenciar procesos fisiológicos involucrados en la termorregulación que no son explícitos en el videojuego.</p>	<p>a. Promover y orientar sobre las posibilidades de uso del videojuego en la formulación de actividades experimentales para testear el modelo.</p> <p>b. Combinar el uso del juego con otras actividades de experimentación tradicionales que permitan a los estudiantes analizar situaciones cotidianas u otro tipo de situaciones en las que puedan evidenciar diferentes respuestas termorreguladoras en los humanos y otros vertebrados. Promover análisis comparativo de las situaciones y discutir sobre ello.</p> <p>c. Involucrar a los estudiantes en la formulación de los experimentos.</p> <p>d. Orientar y presentar sugerencias para que en las actividades experimentales se incluya el análisis de las gráficas generadas por el videojuego.</p>
<p>8. Discutir sobre las limitaciones de los modelos "finales" en función del objetivo propuesto, los resultados de las pruebas experimentales y los argumentos que surjan de los estudiantes en los espacios de socialización.</p>	<p>a. Plantear preguntas y hacer comentarios que permitan identificar el poder explicativo de cada modelo y elaborar un modelo consensuado por todos los estudiantes que participan de la actividad.</p> <p>b. Presentar a los estudiantes el modelo didáctico sobre termorregulación propuesto en la presente investigación (Figura 4,) establecer comparaciones con los modelos expresados por los estudiantes.</p>

Por tanto, a la luz de lo observado en la planeación y orientaciones curriculares, proponemos una reestructuración en la planeación de las temáticas propuestas para ciencias naturales de manera que haya ilación y articulación con homeóstasis y temáticas básicas e interdisciplinares como se indica en el segundo principio.

2. Segundo principio. Abordar temáticas asociadas antes de la etapa de socialización: metabolismo, energía térmica, calor, temperatura, mecanismos físicos de pérdida y ganancia de energía son conceptos asociados y básicos para comprender termorregulación. En el primer prototipo, se observó que, sin ser ellos el tema central, es conveniente hacer un tratamiento más directo o profundo mediante explicaciones que hagan mención a los mismos e indiquen su función en la termorregulación. Es importante también hacer planeación y trabajo interdisciplinar que sea consecuente con el proyecto pedagógico de cada institución y las orientaciones curriculares oficiales.

3. Tercer principio. Presentar explicaciones sobre aspectos centrales de un mecanismo biológico: Constituye un nuevo principio para el segundo prototipo. Los estudiantes deben comprender qué es un mecanismo biológico como punto de partida para identificar los componentes, actividades e interacciones que posibilitan la producción del fenómeno de termorregulación. Los resultados pusieron de manifiesto esta necesidad no sólo por la falta de trabajo en el aula sobre mecanismos sino por la complejidad que ello representa. Así además de comprender qué es un mecanismo biológico, es fundamental que se aborde lo relacionado con la elaboración de modelos de mecanismos y con ellos, los diagramas como principal forma de representación de los mecanismos biológicos, así, una vez identificados los componentes del mecanismo, podrán analizar sobre la ubicación espacial y temporal de los mismos, al igual que la forma cómo podrán ser representadas las diferentes relaciones e interacciones.

4. Cuarto principio. Modelización como proceso. Seguir etapas propuestas por Justi (2006): se pretende que los estudiantes logren comprender cuestiones centrales que a nivel de la biología y su filosofía han sido reconocidas respecto de los mecanismos y su modelaje, no que aprendan de memoria una definición de un mecanismo o que construyan explicaciones robustas sobre mecanismos biológicos.

Se trata de que los estudiantes entiendan que un mecanismo está constituido por un conjunto de componentes (entidades y actividades) que desempeñan funciones individuales y colectivas, organizadas e interrelacionadas para producir un fenómeno. Que las entidades son objetos materiales concretos, que tienen ciertas formas y tamaños, que son relativamente estables que se ubican en el espacio y el tiempo, son portadoras de propiedades, lo que les permite participar activamente o pasivamente en actividades específicas. Y que las actividades son las acciones producidas por las entidades, tienen una extensión temporal, poseen duraciones, tasas y fases características.

También se pretende con ello que los estudiantes comprendan que el modelo de un mecanismo describe o representa los componentes relevantes, la organización de las entidades, las actividades producidas y la forma como se articulan y armonizan las operaciones para producir el fenómeno. Para ello es importante que el estudiante reconozca que comúnmente los científicos cuando identifican y describen mecanismos, en primer lugar; identifican las partes, sus actividades y las relaciones con el fenómeno. Luego, su ubicación y las relaciones entre partes. En este principio se integró el principio tres propuesto para el primer prototipo como se evidencia en la tabla 39.

4. *Quinto principio. Calangos como contexto para que los estudiantes puedan hacer observaciones básicas del fenómeno:* fue ajustado procurando mayor análisis de procesos fisiológicos. Con el fin de que se generen espacios que permitan identificar los principales atributos del fenómeno y se promuevan observaciones más coherentes a partir del uso del videojuego.
5. *Sexto principio. Promover la construcción de modelos consensuados:* no fue modificado.
6. *Séptimo principio. Hacer un uso guiado del videojuego e involucrarlo en la formulación de las actividades experimentales:* fue ajustado siguiendo lo propuesto en el quinto principio como se detalla en la tabla 39.
7. *Octavo principio. Discutir sobre las limitaciones de los modelos:* no fue modificado. Es necesario tener en cuenta que en el proceso de modelización, el modelo didáctico que se propone en la presente tesis, no constituye un modelo a copiar sino una guía para el docente. En este caso, ha de ser analizado una vez toda la clase logre

consensuar un modelo general, estableciendo comparaciones con el modelo de la clase.

Tabla 260. Actividades del segundo prototipo. Describimos de manera general las modificaciones hechas a cada actividad de la secuencia. Las actividades del primer prototipo se describen en la página 238. El primer prototipo se detalla en el anexo 5 y las actividades que fueron ajustadas para el segundo prototipo son presentadas en el anexo 6.

ACTIVIDAD	AJUSTES REALIZADOS
1. ¿Qué son y cuál es el papel de los modelos?	Conservamos la actividad “Analogías con mapas”, incluimos orientaciones para explicar y discutir sobre mecanismos y formas de representación de modelos de mecanismos.
2. Explorar Calangos.	No fue modificada.
3. Introducción. Exploración de conceptos básicos.	Eliminamos el ítem 1A que se refería a la homeóstasis. En su lugar se colocó una orientación para que el docente discuta sobre conceptos básicos, asociados (Temperatura, homeóstasis, energía térmica, metabolismo, etc.). También fueron reestructuradas algunas preguntas para la discusión de manera que el estudiante pudiera pensar en las diferentes respuestas de los animales ante las variaciones de temperatura, en los órganos que participan en las respuestas y los fenómenos físicos de pérdida y ganancia de energía térmica. La actividad conservó la gráfica que representa variaciones de temperatura interna en dos animales y el hábitat. Incluimos una lectura sobre termorregulación y pedimos que elaboraran un esquema que contribuiría con la organización de ideas. Incluimos nota al profesor destacando el objetivo central de la actividad.
4. Definir el objetivo del modelo.	No modificamos el objetivo. Precisamos informando que el modelo debía evidenciar la relación entre termorregulación y homeóstasis
5. Tener experiencias con el objeto a modelar.	Fue ajustada en relación con las orientaciones sobre el tiempo de juego, procurando mayor libertad. El número de gráficas a transcribir fue reducido y se propuso una actividad con mayor orientación hacia lo lúdico y la competencia. La lectura fue eliminada y trasladada a la actividad 3 de manera tal que la actividad se centrara solamente en el videojuego.
6. Producir y expresar un modelo.	Incluimos orientaciones sobre algunas acciones concretas que le permitirían identificar componentes del mecanismo y redujimos la cantidad de ítems que implicaban transcribir comentarios.
7. Llevar a cabo experimentos mentales y ajustar el modelo.	Ajustes en la redacción de algunas preguntas que guían el test mental. Incluimos una pregunta para que el estudiante revise qué vías de pérdida y ganancia de energía térmica representó en el modelo.
8. Evaluar el modelo. Planear y ejecutar experimentos. Hacer ajustes.	El ítem asociado con la planeación de experimentos fue ajustado: presentamos mayores orientaciones sobre aquello que debían describir en el experimento diseñado, también propusimos una situación derivada del videojuego en la que se representa la muerte del lagarto por temperatura alta y baja. Incluimos nota al profesor destacando el objetivo central de la actividad.
9. Socializar los modelos	Incluimos algunas orientaciones para la socialización.

2.3. Resultados parciales sobre la implementación del segundo prototipo:

En la investigación de diseño, los métodos de recolección de datos son desarrollados y perfeccionados a la medida que la investigación avanza, buscando adaptarse al contexto de la situación de enseñanza/aprendizaje e ir agregando información de diferentes fuentes. En este procedimiento, generamos un gran volumen de datos, que se incrementó considerablemente, por lo que decidimos delimitar la información y tomar aquella de mayor relevancia, en este caso, una muestra de los modelos construidos como un medio importante para evaluar la innovación. Por ello, hicimos un análisis parcial de los modelos producidos antes de implementar el segundo prototipo de la secuencia y los expresados en la actividad 6 del segundo prototipo.

En total recolectamos 225 documentos del test previo y entre ellos seleccionamos aquellos en los que los estudiantes respondieron el ítem sobre elaborar un modelo (105 en total; 61%) y de ellos tomamos al azar 42²¹. Para la elección de los documentos, imprimimos los códigos de los estudiantes de una lista de Excel, los depositamos en una bolsa para cada institución y sacamos 18 códigos para las instituciones C y N, y 6 de la institución P (el grupo de estudiantes de esta institución fue menor que el de la C y N; 38 estudiantes). Tomamos los documentos de esos mismos estudiantes generados grupalmente en la actividad 6 (producir un modelo) y los modelos expresados luego de implementar la secuencia.

Este análisis, aunque parcial, refleja resultados favorables en relación con las formas de representación y los atributos del fenómeno incorporados en las representaciones. Evidenciamos mayores logros sobre la elaboración de modelos de

²¹ Este valor fue calculado para un error del 10%, nivel de confianza del 90% mediante el uso de tres calculadoras: www.ugr.es/~ecordon/master/docus/calculotamañomuestra.xls,

<https://es.surveymonkey.com/mp/sample-size-calculator/>, <http://www.mey.cl/html/samplesize.html> las

$$n = \frac{N \times Z_{\alpha}^2 \times p \times q}{d^2 \times (N - 1) + Z_{\alpha}^2 \times p \times q}$$

cuales siguen la fórmula

mecanismos comparado con lo alcanzado a partir de la implementación del primer prototipo. En la tabla 41 (matriz de análisis) se presenta el número y porcentaje de estudiantes que eligieron determinado tipo de representación, los atributos del fenómeno que son representados, así como los aspectos relevantes del análisis semántico. Los modelos previos individuales, fueron principalmente dibujos (37%) en los que se representa solamente un animal, el animal acompañado del sol o una roca y en algunos casos flechas que asocian términos que se refieren a vías físicas de pérdida y ganancia de energía térmica (Figura 15a y b).

Los diagramas (20%) también citan vías físicas de pérdida y ganancia de energía térmica y comportamientos, y en algunos casos se hace referencia a órganos o estructuras (figura 13a y b).

En los modelos previos fueron evidentes algunos obstáculos para la comprensión del fenómeno y la representación del mismo como considerar la ectotermia o endotermia como los ectotermos y endotermos como medio para termorregular (Figura 13b) o un animal como modelo, como entidad que produce o, donde se produce el fenómeno.

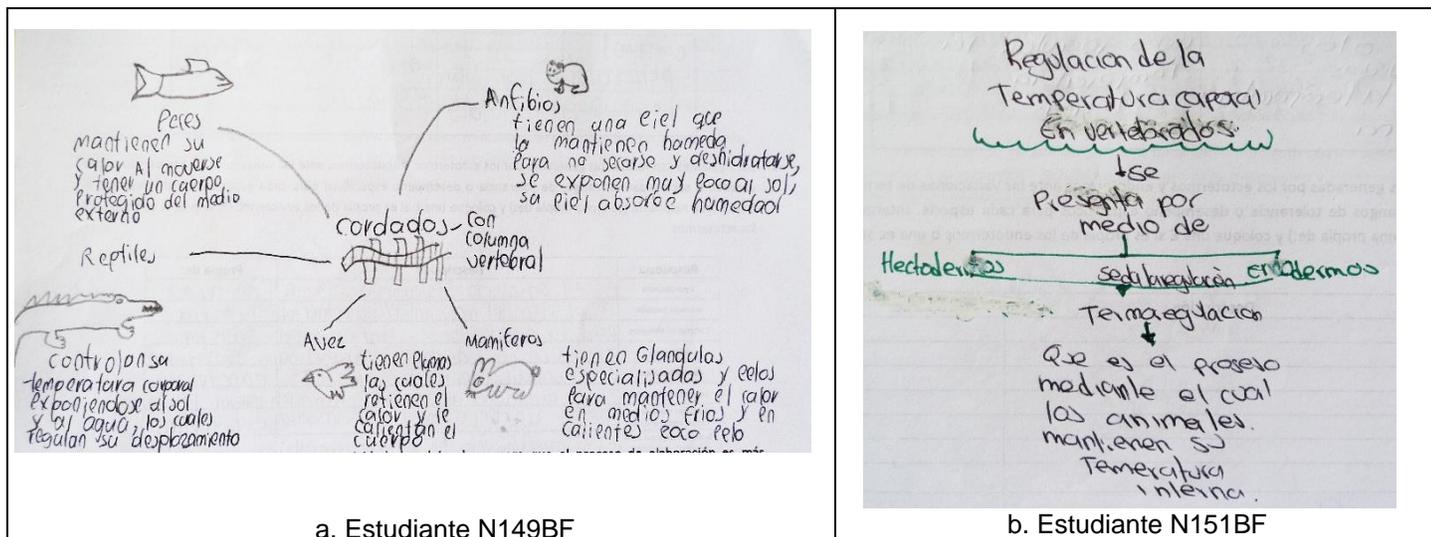


Figura 13. Ejemplos de diagramas elaborados antes de la implementación del segundo prototipo la secuencia.

Tabla 27. Matriz de análisis parcial de los modelos expresados en el segundo ciclo. El análisis se centra en los modelos expresados por cada estudiante previo a la implementación de la secuencia (P.I) y los expresados por los grupos en la actividad 6 del segundo prototipo (G). En la columna tipo de representación designamos como NC – NP aquellos casos donde las representaciones no corresponden o, los estudiantes no presentaron modelo.

Tipo de representación	n y %		Ejemplo (Figuras)		Aspectos del fenómeno que representa		Aspectos semánticos	
	P.I	G.	P.I	G.	P.I	G.	P.I	G.
Icónico – Diagrama	(6) 20	3 (10)	13a y 13b	14	Vías físicas, Clasificación animales, descripción general de cómo termorregulan, Sistemas involucrados, Ectotermo y endotermo como acción.	Algunos entes y funciones de los entes. Respuestas comportamentales, vías físicas, fuente energía.	Vías físicas, Características morfológicas que intervienen según clase de vertebrados, Hectotermos y endotermos como eventos para termorregular, Vías físicas como etapas. Sol fuente de energía.	Actividad de órganos y sistemas involucrados determinada por sistema nervioso, Sol fuente de energía. Ganancia o pérdida por vías físicas gracias a acción de sistemas.
Icónico - Dibujo	(11) 37	(17) 57	15a	15b	Animal donde se produce el fenómeno, Fuente de energía, vías físicas, comportamientos.	Vías físicas, fuente de energía, comportamientos. Animal como ente donde se produce el fenómeno, sistemas de órganos, sistema nervioso.	Sol fuente de energía, animal gana o pierde por vías físicas.	Termorregulación por vías físicas. Animal pierde energía por metabolismo. Aves tienen independencia del medio externo para regular la temperatura, Serpiente depende de temperatura externa. Alimento y sol fuente de energía. El cerebro del lagarto detecta variaciones de temperatura y genera respuestas comportamentales para perder energía térmica por vías físicas. Citan sistemas, refieren lo fisiológico.
(Icónico – teórico) Dibujo y texto	(4) 13	(4) 13	16a	16b	Entes: piel, sistema, nervioso, sistema muscular	Entes, acciones como sudoración, vías físicas	Serpiente termorregula mediante comportamiento	Animal donde se produce el fenómeno, fuentes de energía, órganos y sistemas que participan, actividades de cada uno. Descripción morfofisiológica.
NC - NP	30%	17%	17a	17b				

Hubo también cierta cantidad de modelos no coherentes (30%; Figuras 17a y 17b), que, en este caso, fue mayor a lo observado en el primer ciclo (17.7%).

Sin embargo, observamos que en los dibujos acompañados de texto (Figura 16a) así como en la mayoría de los modelos fueron incluidos elementos relacionados con atributos del fenómeno que son importantes en identificación de los componentes del mecanismo: vías físicas, órganos como glándulas o la piel, y el sistema nervioso. Estos atributos fueron citados con mayor frecuencia en los modelos producidos a nivel de los grupos en la actividad 6, en que debían producir un modelo. Como se observa en la Tabla 40, la mayoría de los modelos representan varios componentes del mecanismo, y señalan relaciones entre ellos (Figuras 14, 15b y 15b).

En la mayoría de los casos, presentamos los ejemplos de los modelos producidos en los tres momentos de expresión de los modelos, en una misma figura para ilustrar sobre modificaciones generales pese a que los ejemplos no corresponden al mismo estudiante. A partir de esa comparación escueta, y la revisión general de los datos observamos, como perspectiva de análisis, que es necesario examinar con mayor detenimiento sobre las progresiones en los modelos de cada estudiante. Si, por ejemplo, el modo de representación fue modificado o si existen diferencias entre grupos e instituciones.

Al centrarnos por ejemplo, en los modelos de las figuras 15, 15b y 16b observamos que se trata de tres formas de representación con mayor complejidad que los modelos iniciales. El modelo de la figura 14, es una de las representaciones más consistentes con un modelo de mecanismo.

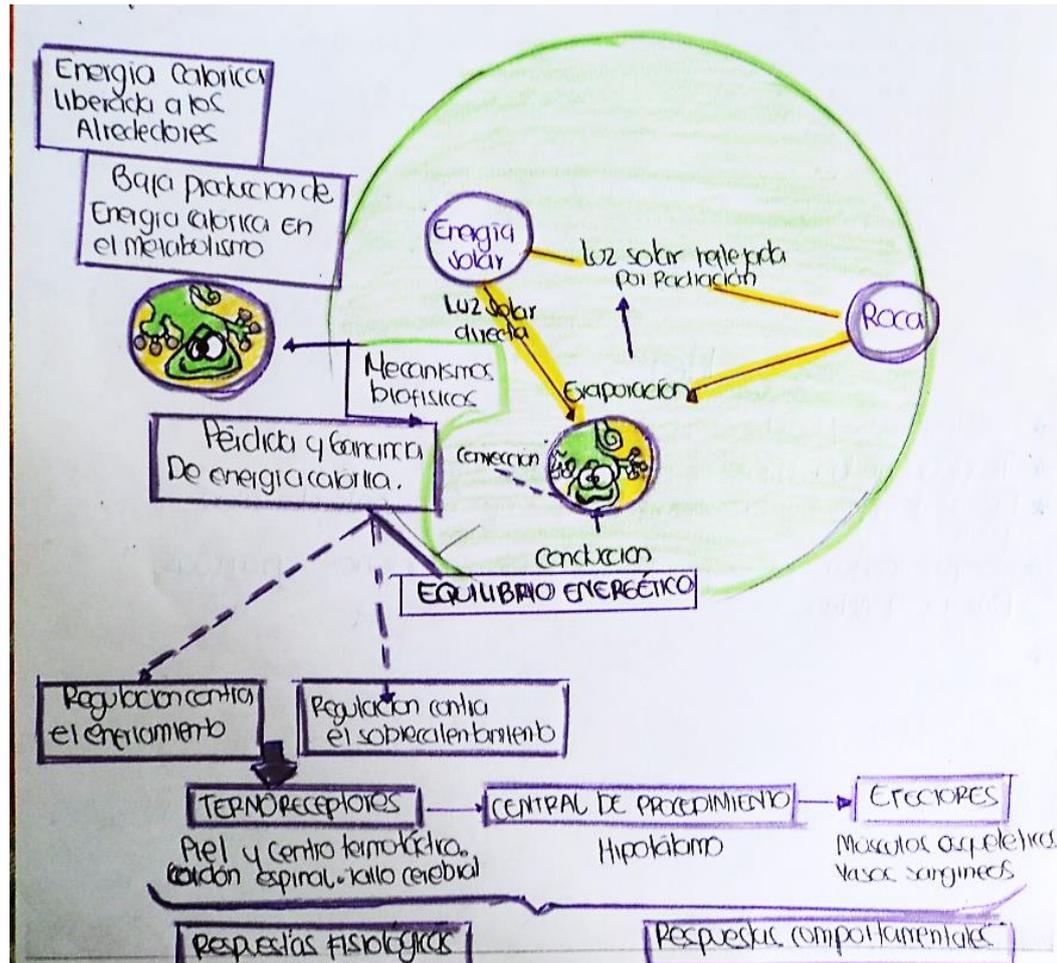


Figura 14. Diagrama elaborado por los estudiantes N110AF y N119AF en la actividad 7 del segundo prototipo.

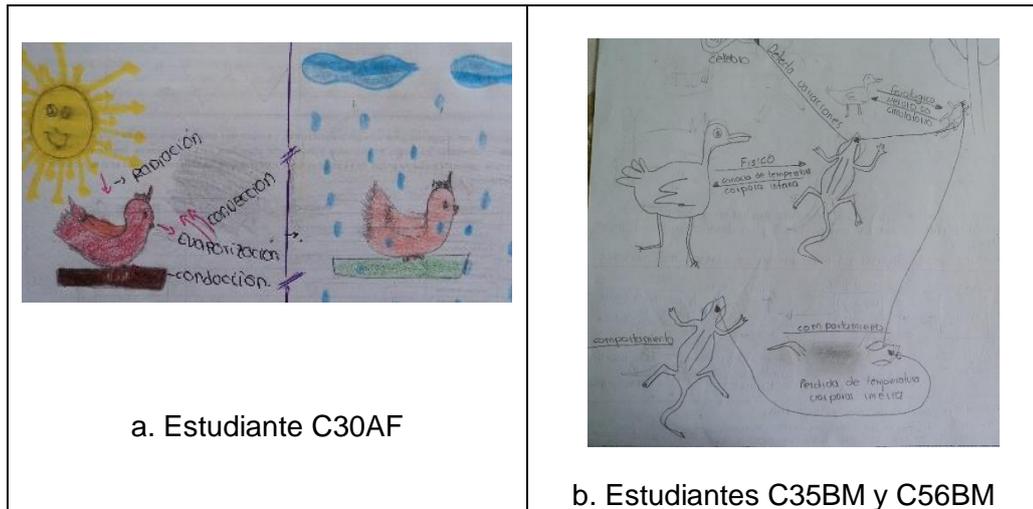
En él se reconocen los atributos relevantes del mecanismo: existencia de un equilibrio energético, asociado con la pérdida y ganancia de energía térmica, (denominada en el modelo como calórica), lo cual tiene una conexión con la regulación contra el enfriamiento y sobrecalentamiento ligada con los termorreceptores. Estos se conectan (llevando información) con la central de procesamiento y esta, por su parte, con los efectores. En el modelo se señalan los órganos involucrados (piel, hipotálamo, músculos), así como las respuestas generadas para termorregular. En el círculo verde se representan vías físicas de regulación, que son nombradas como mecanismos biofísicos de regulación para un lagarto, debido a la baja producción de energía en el metabolismo.

En ese modelo, consideramos que la relación con la homeóstasis no es explícita, pero hay una aproximación en la referencia a un equilibrio. En él se reconoce la existencia de entes y acciones, de submecanismos, de interacciones y relaciones

entre los componentes del mecanismo. Sin embargo, hay también límites, una vez que el modelo no satisface algunos criterios definidos en la matriz para modelos de mecanismo, como el de ser predictivo de todos los comportamientos del mecanismo, y además no es claro respecto del sentido de las relaciones y acciones entre los componentes. La carencia de una descripción limita la comprensión de algunas relaciones, así como la secuencia de los eventos en su ubicación espaciotemporal. Consideramos que hay logros importantes, a pesar de los límites, para estudiantes de este nivel de escolaridad, que no estaban acostumbrados a trabajar con modelos o mecanismos, y que no tenían un grado elevado de comprensión sobre termorregulación y homeostasis.

El modelo de la figura 16b, por su parte, presenta una secuencia de eventos. Aunque representa menos componentes del mecanismo, relaciones e interacciones que en el modelo anterior (Figura 14), incluye varios atributos relevantes como la actividad del sistema nervioso en la detección de variaciones y el papel de otros sistemas en el comportamiento. Las posibles relaciones que se señalan entre el ave y el lagarto no son claras pero la presencia del ave así como las acciones representadas tiene estrecha relación con una situación de juego en Calangos. Este modelo a diferencia del modelo 16a, elaborado previo a la implementación representa a través de las fechas una secuencia de eventos de tipo comportamental mientras que en el 16a apenas se señalan vías físicas, que aun siendo componentes del mecanismo, se centran en atributos externos, en aspectos fenomenológicos.

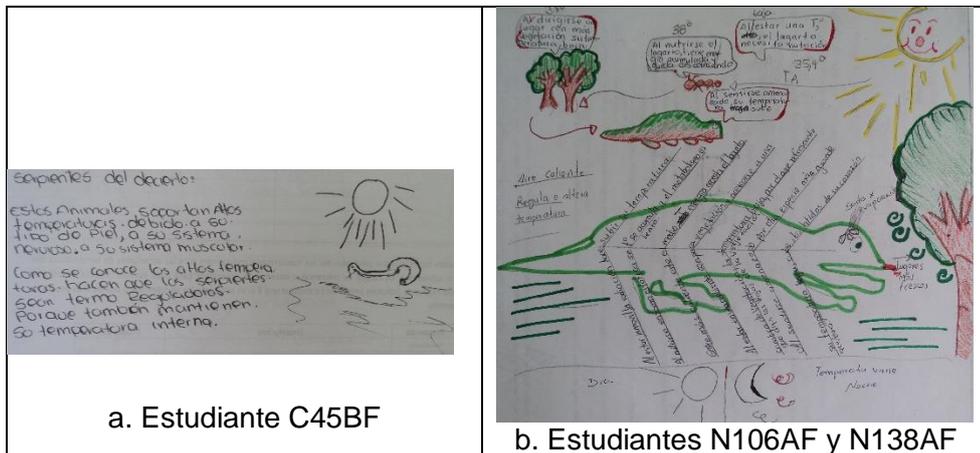
En la mayoría de los modelos producidos en la actividad 6 es evidente una influencia del videojuego, una vez que el modelo incluyó un lagarto o representó elementos de la interfaz (indicadores de juego, ecosistema etc.). Ello sugiere mayores logros en relación con la integración de ideas u observaciones derivadas del videojuego en el modelo sobre termorregulación.



a. Estudiante C30AF

b. Estudiantes C35BM y C56BM

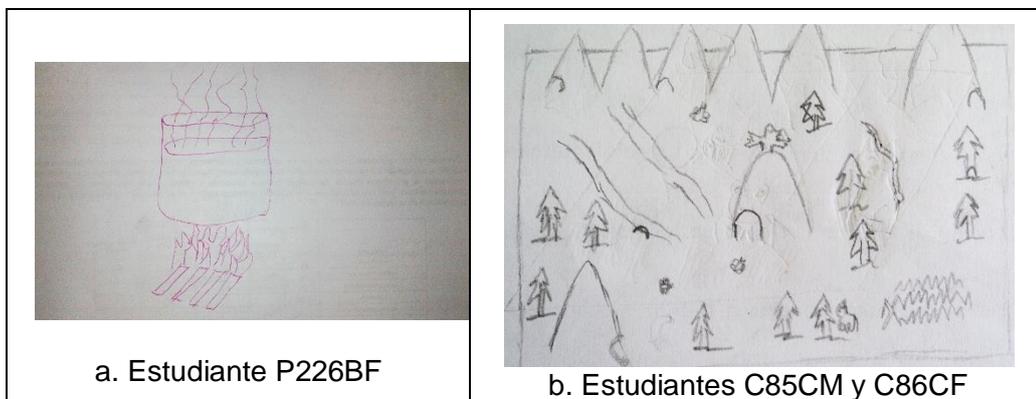
Figura 15. Ejemplo de modelos tipo dibujo, elaborados por los estudiantes antes de implementar el segundo prototipo de la secuencia (a) y en la actividad 7, expresar un modelo (b)



a. Estudiante C45BF

b. Estudiantes N106AF y N138AF

Figura 16. Ejemplo de modelos tipo dibujo que incluyen textos. Producidos antes de implementar el segundo prototipo de la secuencia la secuencia (a) y en actividad 7, expresar un modelo (b)



a. Estudiante P226BF

b. Estudiantes C85CM y C86CF

Figura 17. Representaciones no coherentes con el objetivo del modelo. Expresadas antes de implementar el segundo prototipo de la secuencia y en la actividad 6.

Aunque no disponemos de un análisis para todas las actividades de la secuencia, de todas las etapas de modelización, es probable que los ajustes en los principios de diseño asociados con la necesidad de promover observaciones en las situaciones de juego que posibilitaran a los estudiantes discernir sobre los procesos fisiológicos, órganos y sistemas responsables de los comportamientos del animal para incluirlos en sus representaciones.

Destacamos también otros modelos no incluidos en la matriz debido a que no fueron escogidos en la selección al azar pero que se evidencia en ellos una referencia más explícita a la homeóstasis o el equilibrio (Figura 18), que es un aspecto central en el objetivo del modelo. El modelo de la figura 18a señala un equilibrio interno debido al metabolismo y muestra que los sistemas nervioso y endocrino generan respuestas, que según la flecha, puede interpretarse como contribuyendo con la homeóstasis o, la homeóstasis como un tipo de respuesta involucrando estos sistemas.

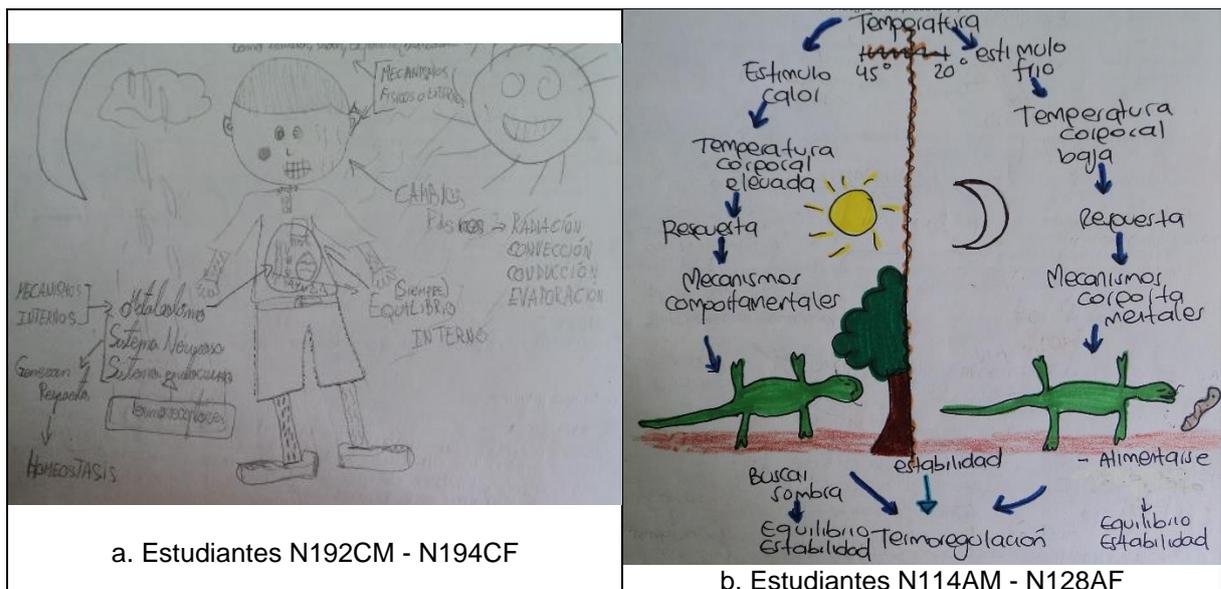


Figura 18. Modelos en los que se hace explícita una referencia a la homeóstasis.

En la figura 18b. no se señala la actividad de los órganos internos, se atribuye a respuestas comportamentales la regulación para alcanzar un equilibrio o una estabilidad en la temperatura corporal. Se reconoce que en la noche a través del alimento el animal puede ganar energía y esa energía contribuye con la estabilidad térmica lo cual constituye una limitación que también fue observada en comentarios y representaciones del primer ciclo donde señalamos que resulta complejo para los estudiantes establecer diferencias entre la energía térmica requerida para mantener

una temperatura interna adecuada para que se lleven a cabo los diferentes procesos y la energía requerida para los procesos en sí.

En suma, en este análisis parcial, fueron evidentes logros significativos en cuanto a la comprensión de termorregulación desde una perspectiva integral, su relación con la homeóstasis y la construcción de modelos en los que se evidencian relaciones entre sistemas, órganos, comportamientos y fenómenos físicos responsables del fenómeno. En ese sentido, los modelos elaborados en este ciclo son más consistentes con un modelo de mecanismo biológico.

Obstáculos relacionados con la comprensión y conocimiento de algunos conceptos como, por ejemplo, el señalar que el lagarto puede perder energía térmica a través de la sudoración (Figura 16b), o afirmar que ectotermo o endotermo es una acción que permite termorregular. Consideramos que este tipo de dificultades están asociadas con el aprendizaje de temáticas anteriores como aspectos de la morfología y fisiología de los vertebrados así como a la comprensión de fenómenos físicos.

En los modelos también observamos que para los estudiantes identificar, órganos, estructuras, incluso actividades involucradas en la termorregulación resultó menos complejo que representarlas como parte de un mecanismo. Señalar la ubicación espacio temporal de los componentes, así como las interrelaciones entre cada uno, según los modelos expresados, representó mayor dificultad. El sentido de las fechas, la ubicación de los componentes en las representaciones tenía mayor consistencia con un modelo de mecanismo reflejó la necesidad de realizar ajustes a la secuencia en ese sentido. Por ejemplo: presentar explicaciones sobre aspectos centrales de un mecanismo y los modelos de mecanismos biológicos, así como el presentar orientaciones para promover discusiones en torno a los órganos y sistemas que participan en el mecanismo que produce el fenómeno de termorregulación.

Aunque con frecuencia, los profesores, documentos y libros de texto de biología incluyen esquemas que representan relaciones y diagramas causales, los estudiantes carecen de la base de conocimientos para interpretar estos modelos correctamente. Por ejemplo no comprenden el significado de líneas o de las fechas que indican acciones (vanMil et al. 2013), no comprenden los cambios que se producen, qué los produce así como en qué secuencia están presentes las actividades y las entidades.

En ambos ciclos, la mayoría de modelos expresados fueron dibujos. En ellos, así como en los diagramas, observamos que las flechas y enlaces representaban principalmente relaciones asociativas y no causales, lo cual es coherente con las prácticas habituales de aula. Según los comentarios de profesores y estudiantes, en los años anteriores de escolaridad, las acciones didácticas no incluyeron trabajo con modelos, y menos aún con mecanismos. Generalmente, trabajan con diagramas de flujo o mapas conceptuales, de manera que su capacidad de elaborar modelos que impliquen un tratamiento de la causalidad compleja es limitada (PERKINS & GROTZER, 2000).

Termorregulación es un fenómeno fisiológico de naturaleza causal que puede ser explicado en el contexto de un mecanismo homeostático y como tal, requiere de la aplicación de conceptos de la física, la química y la biología. Por esta razón, a la luz de los resultados, es conveniente explorar la inclusión de un abordaje aún más explícito sobre los mecanismos biológicos y sobre la homeóstasis. En el primer caso, realizamos ajustes en el primer principio de diseño explicitado en la Tabla 39. También proponemos seguir lo propuesto por Modell et al. (2015) en cuanto a un tratamiento de la homeóstasis siguiendo un conjunto estándar de términos relacionados con el fenómeno, usar el modelo estándar que proponen los autores y restringir el uso del término “regulación homeostática”, refiriéndose preferiblemente a “termorregulación” como mecanismo relacionado con el mantenimiento de la consistencia del medio interno.

Por otra parte, es importante señalar que durante la implementación del prototipo, hubo mayor participación de los profesores de la institución educativa N, y en ella pese a que algunas actividades no consiguieron ser desarrolladas en su totalidad porque los estudiantes debían participar en otros eventos institucionales, en la revisión de los modelos observamos mayores logros. En la institución educativa P no fueron desarrolladas todas las actividades por las mismas limitaciones de tiempo presentadas en la institución N.

De acuerdo con los resultados del análisis parcial centrado en los modelos (Tabla 41) los modelos elaborados por los estudiantes de esa institución tienen mayores elementos coherentes con el objetivo del modelo. En sus modelos (modelos codificados con la letra N al inicio del código, ejemplo N106AF) los estudiantes incluyeron componentes centrales del mecanismo y establecieron algunas relaciones

entre los componentes reflejando mayor comprensión del fenómeno como un mecanismo en comparación con los modelos expresados por los estudiantes de las instituciones C y P.

Los modelos elaborados por los estudiantes de la institución educativa C (la letra C al inicio del código, ejemplo C45BF) representan algunos componentes del mecanismo, principalmente vías físicas y comportamientos y, comparado con los de la institución educativa N, son más reducidos en cuanto a la representación de relaciones entre componentes del mecanismo así como en la representación de acciones. Por su parte, los modelos de la institución educativa P son menos sofisticados que los presentados por los estudiantes de las demás instituciones educativas, las representaciones son principalmente dibujos de un lagarto sobre una roca.

También identificamos que en la actividad de expresar un modelo a nivel de grupos (actividad 6) participaron 99 estudiantes de la institución N, 95 de la institución C y 35 de la institución P y entre ellos, el 19% (19 estudiantes) de la institución N, 41 % (39 estudiantes) de la institución C y 43% (15 estudiantes) de la institución P, no elaboraron ningún tipo de modelo

Como fue descrito en el apartado 2.1.2 de la metodología, existen diferencias en relación con el enfoque de formación que se proyecta cada institución, el nivel de desempeño en las pruebas saber aplicadas por ICFES. La institución N, es clasificada en el máximo nivel (Muy superior) mientras que las instituciones C y P, se ubican en el nivel alto. De manera que las diferencias en cuanto a las características de los modelos pueden estar influidas por las dificultades en términos de aprendizaje que enfrenta cada institución y otros factores propios de la organización educativa como la disponibilidad de profesores. En las instituciones educativas C y P hubo cambios en los profesores mientras que en la N no hubo cambios y los profesores participaron en todas las actividades.

CONSIDERACIONES FINALES

Presentamos resultados de la revisión de literatura y orientaciones curriculares, así como de la implementación de dos prototipos de la secuencia didáctica, a partir de los cuales surgieron elementos teóricos y metodológicos relacionados con la elaboración de modelos de termorregulación como mecanismo, a nivel de la educación básica secundaria. El estudio aporta elementos curriculares para la enseñanza de las Ciencias Naturales en Colombia y fundamentos para el desarrollo de actividades que contribuyan con la superación de visiones fragmentadas de los fenómenos biológicos, aprender sobre termorregulación y su relación con la homeóstasis así como comprender la actividad científica a través de la elaboración de modelos de mecanismos biológicos.

También ofrece evidencias sobre el potencial del videojuego Calangos en el aprendizaje de temáticas de campos diferentes a la ecología, para lo cual fue originalmente planeado. El videojuego permite abordar termorregulación en animales y apoyar actividades de modelización siempre que con la orientación del profesor, se consiga vincular con actividades retadoras cuya complejidad, en términos de los procesos de pensamiento asociados, aumente gradualmente durante el proceso de modelización. Calangos permite observar comportamientos, evidenciar fenómenos físicos y la manifestación de procesos fisiológicos. Siendo el propósito educativo del videojuego el aprendizaje de temáticas de ecología, su potencial para visualizar procesos fisiológicos es reducido e eso implica un uso en conexión con otras actividades.

Mediante las actividades desarrolladas los estudiantes lograron identificar componentes del mecanismo que produce el fenómeno de termorregulación y representarlos en sus modelos. A medida que se avanzó en el proceso de modelización, principalmente cuando se incluyeron ajustes a la secuencia, es decir en el segundo ciclo, los estudiantes lograron elaborar modelos más coherentes con un modelo de mecanismo biológico evidenciando mayor comprensión del concepto como un fenómeno producido por la acción conjunta y coordinada de varios órganos, sistemas de órganos, comportamientos y fenómenos físicos. Y en algunos casos, también, comprender y representar la relación del mismo con la homeóstasis.

Considerando las características, el carácter innovador de la secuencia²² y el desempeño de los estudiantes en las diferentes actividades podemos afirmar que la secuencia constituye una herramienta de enseñanza con diversos ambientes de aprendizaje donde los estudiantes, mediante la elaboración de modelos como un proceso central en la investigación científica pusieron en juego habilidades para la indagación (observación, registro de datos, organización de ideas y datos, representación, emisión de hipótesis, socializar y discutir, evaluar) y se involucran en situaciones de indagación auténticas que también contribuyen en la comprensión de las formas de proceder en ciencias. Aunque estas habilidades se manifiestan progresivamente con cada actividad de la secuencia, lograron desarrollarse plenamente mediante la frecuente implementación de este tipo de actividades.

Los hallazgos de la investigación en términos de enseñanza y aprendizaje, habilidades manifestadas, obstáculos de tipo procedimental en relación con el desarrollo de las actividades en el aula, resultaron en principios de diseño y permitieron la consolidación de una secuencia didáctica cuyas actividades se citan en las Tablas 12 y 40 y son presentadas en los anexos 5 y 6.

Concluimos que en la construcción de una secuencia didáctica o intervención educativa que tenga como objetivo principal: la elaboración de modelos sobre termorregulación en vertebrados terrestres desde una visión del fenómeno como un mecanismo homeostático, para, a partir de ello, promover habilidades para la actividad científica, es conveniente seguir los principios de diseño explicitados en la Tabla 39 atendiendo a los siguientes ajustes:

1. Incluir de forma explícita homeóstasis y termorregulación en la planeación, buscando una secuenciación coherente con las demás temáticas propuestas en el currículo. Con ello se requiere además la elaboración de una planeación de forma conjunta con docentes de física y química, buscando continuidad y/o conexión entre temáticas como metabolismo, energía térmica, calor, temperatura, fenómenos físicos de pérdida y ganancia de energía.

²² En las instituciones involucradas en el estudio, termorregulación no es un concepto explícito y es citado de forma aislada, los profesores y estudiantes no habían trabajado en actividades de modelización tampoco han abordado cuestiones asociadas con mecanismos biológico y en las prácticas habituales de aula no se incluyen videojuegos.

2. Termorregulación debe ser abordado en conexión con la homeóstasis, siguiendo el modelo estándar explicitado en la figura 3 (Página 50) y referirse a termorregulación como mecanismo relacionado con el mantenimiento de la consistencia del medio interno. Esto implica que se presente una explicación de los componentes del modelo estándar de un mecanismo homeostático así como la función y relación entre cada uno.

3. Presentar explicaciones sobre aspectos centrales de un mecanismo biológico y cómo los científicos elaboran modelos de ellos. Para ello, resulta pertinente, además de lo presentado en los aspectos sustantivos y procedimentales del tercer principio de la secuencia (Tabla 39), apoyarse en los siguientes esquemas que hemos elaborado para explicar sobre los aspectos centrales de un mecanismo los cuales surgieron por las dificultades observadas en la identificación de componentes e interacciones del mecanismo de termorregulación, así como en la representación espaciotemporal.

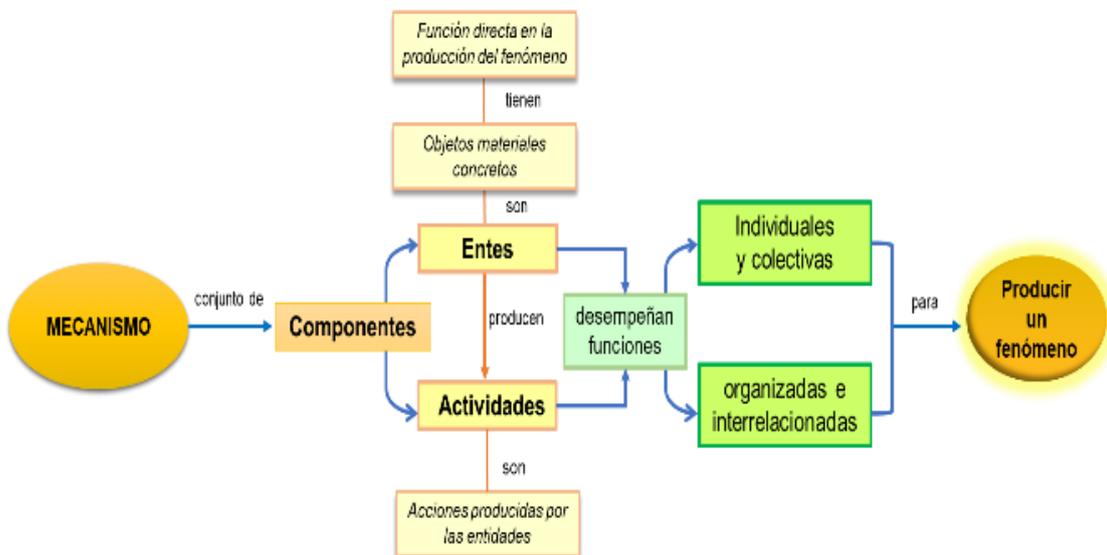


Figura 19. Esquema sobre aspectos básicos para comprender un mecanismo. Elaboración propia.

Con el uso de los mapas conceptuales anteriores no pretendemos desconocer la complejidad de un mecanismo o presentarlo como un sistema aislado, sino presentar elementos centrales para apoyar al profesor, y presentar orientaciones básicas, afines al nivel educativo al que está orientada la secuencia, que faciliten a los estudiantes abordar mecanismos y fenómenos que implican razonamiento causal.

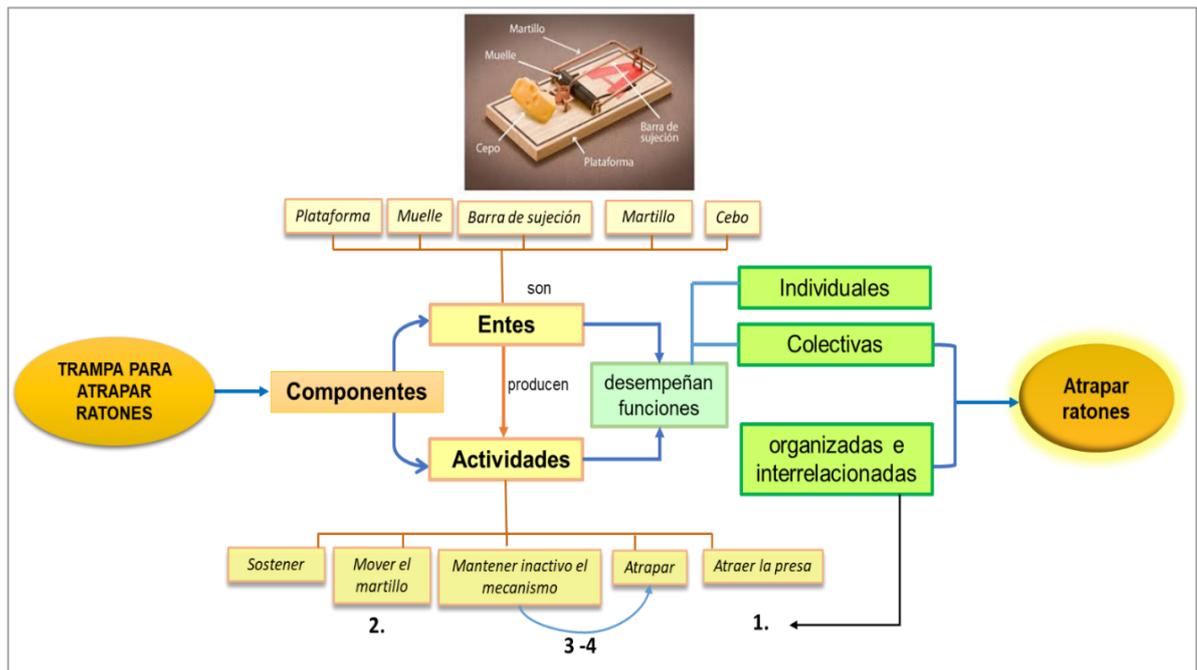


Figura 20. Esquema sobre aspectos básicos de un mecanismo explicado desde el ejemplo de la trampa de ratones propuesta por Craver y Betchel (2006) (Elaboración propia). El ejemplo no es un modelo de la trampa para atrapar ratones como mecanismo sino una forma de ilustrar con un ejemplo propuesto en el campo de la filosofía de la ciencia.

4. Atendiendo a que la secuencia resultó extensa en términos del tiempo requerido para su ejecución y a que la organización de tiempos y espación en las instituciones educativas es limitada por las mismas dinámicas escolares (eventos extraescolares de cada institución como izadas de bandera, encuentros deportivos etc.) por factores externos específicos de cada lugar y por los lineamientos de los entes gubernamentales, reiteramos la importancia de hacer una planeación secuencial y conjunta con la química y la física y sugerimos que se presenten como una sola, las actividades sobre la ejecución de experimentos mentales (actividad 7) y, planear y ejecutar experimentos (actividad 8) esto no quiere decir que no se desarrollen, sólo evitar que sean presentadas separadas y se tomen, dos clases diferentes para ello. Si bien, en el modelo de elaboración de modelos, se da la posibilidad de elegir entre estos dos tipos de tests para el modelo, proponemos apelar a esta indicación o, que el docente incite a los estudiantes a formular preguntas mentales mientras construye su modelo (actividad anterior) y al inicio de la actividad evaluar el modelo mediante experimentos, antes que los estudiantes ejecuten el experimento. Con ello proponemos además la integración entre el experimento

centrado en el cuerpo humano y el que incluye el videojuego atendiendo las sugerencias que se presentan a continuación.

5. Usar el videojuego Calangos en la actividad tener experiencias con el objeto a modelar integrado con la actividad experimental que centra las observaciones en el cuerpo humano. Para ello es conveniente que por ejemplo primero los estudiantes tomen los datos generados en la actividad física y luego ejecuten el videojuego en los tres niveles de dificultad, en edad joven y adulto (2 a 3 minutos en cada caso), que revisen las gráficas generadas por el videojuego (Temperatura Interna vs Tiempo, principalmente) y hagan comparaciones con los resultados de la otra actividad. El docente debe guiar y proponer cuestiones para que los estudiantes comparen las dos situaciones y consigan complementar sus observaciones.

Es fundamental promover la socialización en todas las etapas del proceso de modelización, motivar siempre a los estudiantes para que expongan sus ideas, hagan comparaciones entre las diferentes versiones de sus modelos, hagan observaciones y establezcan comparaciones entre la termorregulación del lagarto del videojuego con otros vertebrados involucrados en el mismo, como el leopardo y las aves, de manera que esto facilite la comprensión de diferencias en la termorregulación de ectotermos y endotermos.

Por último, resaltamos la necesidad fortalecer espacios que permitan a los profesores aumentar su interés y motivación para que participen de forma más activa en acciones de formación e indagación que ofrezcan elementos para que involucren en sus prácticas de aula la elaboración de modelos, los videojuegos educativos mediante actividades guiadas con conexión curricular coherente. También para que reorienten y reestructuren su planeación en función de propuestas consistentes con argumentos epistemológicos y acciones didácticas interdisciplinarias.

Como principal perspectiva del estudio, es necesario analizar los demás resultados de la implementación del segundo prototipo, para generar mayor información sobre cada etapa del proceso de elaboración de modelos, las habilidades manifestadas, establecer comparaciones entre las instituciones y, a partir de ello perfilar el prototipo, para que sea sometido a un estudio de validación.

BIBLIOGRAFÍA

- Abrams, E., Southerland, S. and Cummins, C. (2001). The how's and why's of biological change: How learners neglect physical mechanisms in their search for meaning. *International Journal of Science Education*, 23(12): 1271–1281.
- Annetta, L. A. (2008). Why and how video games should be used in education. *Theory Into Practice*, 47, 229 –239.
- Annetta, L. A., Minogue, J., Holmes, S. Y., & Cheng, M. T. (2009). Investigating the impact of video games on high school students' engagement and learning about genetics. *Computers & Education*, 53, 74-85.
- Árbelaez, R., Peña, L.Y., Arevalo, L.B., Bautista, M., Samacá, N.E., Henao, S., Ortiz, G.A., Robles, W.M., Restrepo, J.O., Orjuela, M.A. Y Ramirez, P.E. (2004). *Contextos Naturales 9*, Colombia: Santillana.
- Ariffin, A. Oxley, S. Sulaiman. (2014). "Evaluating Game-based Learning Effectiveness in Higher Education", *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, vol. 123, pp. 20-27, Mar.
- Assaraf O., Dodick J., Tripto J. (2013). High school students' understanding of the human body system. *Res Sci Educ* 2013; 43:33-56.
- Barak J., Sheva B., Gorodetsky M., Gurion B. (1999).As 'process' as it can get: students' understanding of biological processes, *International Journal of Science Education*, v. 21, n. 12, p.1281-1292.
- Bartholomew, G. A. (1982). Physiological control of body temperature. In C. Gans and F. H. Pough (eds.), *Biology of the Reptilia*, London and New York: Academic Press, v. 12, p. 167–211.

- Bechtel, W. & Abrahamsen, A. (2008). From reduction back to higher levels. Proceedings of the 30 th Annual Meeting of the Cognitive Science Society (pp. 559-564). Austin, TX: Cognitive Science Society.
- Bechtel, W., & Richardson, R. C. (1993/2010). Discovering complexity: Decomposition and localization as strategies in scientific research. Cambridge, MA: MIT Press. 1993 edition published by Princeton University Press.
- Bechtel, W. & Robert C. R. 1993/2010. Discovering Complexity: Decomposition and Localization as Strategies in Scientific Research. Repr., Cambridge, MA: MIT Press.
- Bechtel, W. (2006). Discovering cell mechanisms: The creation of modern cell biology. Cambridge: Cambridge University Press.
- Bicego, K; Barros, R; Branco, L. (2007). Physiology of temperature regulation: Comparative aspects. *Comparative Biochemistry and Physiology, Part A*. 147, p. 616–639.
- Black, M. (1962). *Models and Metaphors*. New York: Cornell University Press, Ithaca. Versión española: *Modelos y Metáforas*. Madrid: Tecnos, 1966.
- Blades, M., Blumberg, F., & Oates, C. (2013). The importance of digital games for children and young people. *Zeitschrift für Psychologie*, 221(2), 65-66.
- Blanco-Anaya, P., Justi, R. & Díaz, J. (2017). Challenges and opportunities in analysing students modelling, *International Journal of Science. Education*, 39:3, 377-402.
- Bertin, Jacques (1983). *Semiology of graphics: Diagrams, networks maps*, Madison: The University of Wisconsin Press.
- Blumberg, F. C., Blades, M., & Oates, C. (2013). Youth and new media: The appeal and educational ramifications of digital game play for children and adolescents. *Zeitschrift fr Psychologie*, 221, 67–71. doi: 10.1027/2151-2604/ a000133

- Bogert, C. (1949). Thermoregulation in reptiles, a factor in evolution. *Evolution*, v.3, n.3, p. 195-211.
- Braillard, P.-A. & Malaterre, C. (Eds) (2015). *Explanation in Biology: An Enquiry into the Diversity of Explanatory Patterns in the Life Sciences*, New York: Springer
- Buckley, B. C., & Boulter, C. J. (2000). Investigating the role of representations and expressed models in building mental models. In J. K. Gilbert & C. J. Boulter (Eds.), *Developing models in science education* (pp. 105–122). Dordrecht, the Netherlands: Kluwer.
- Buddingh, J. (1993). Students' Personal Knowledge of Regulation and Homeostasis: Pioneering in Biology Classrooms. In: *The proceedings of the third international seminar on misconceptions and educational strategies in science and mathematics, misconceptions*, Trust: Ithaca, NY, 1993.
- Boote, S.K. (2014). Assessing and understanding line graph interpretations using a scoring rubric of organized cited factors. *Journal of Science Teacher Education*, 25(3), 333-354.
- Burton, H. (1939). The Physical Properties of Colloidal Solutions. *The Journal of Physical Chemistry* 43 (3), 397-397.
- Cabañes, E. (2012). Del juego simbólico al videojuego: la evolución de los espacios de producción simbólica. *Revista de estudios de juventud*. No 98: 61-76.
- Cannon, W. (1929). Organization for physiological homeostasis. *Physiological reviews*, 9, p. 3.
- Carrillo, A.C., Gómez, F.B.; Cárdenas, M.; Sorzano, M.J.; Herrera, H. Y.; Ortiz, P.A.; Rodríguez, V.P. Y Ramirez, L.P. *Hipertexto* 9. (2010). *Ciencias Naturales*, Colombia: Santillana.
- Castro, J. & Valbuena E. (2007). ¿Qué biología enseñar y cómo hacerlo? Hacia una resignificación de la biología escolar, *Tecné, Episteme y Didaxis*, 22, p.126 – 145.

- Cannon, W. B. (1929). Organization for physiological homeostasis. *Physiol. Rev*, 9: 399.
- Çelik, H. (2016). An examination of cross sectional change in student's metaphorical perceptions towards heat, temperature and energy concepts. *International Journal of Education in Mathematics, Science and Technology*, 4(3).
- Cimer, A. (2012). What makes biology learning difficult and effective: Students' views? *Educational Research and Reviews*, 7, 61-71.
- Chang, S. (2007) Externalising students' mental models through concept maps, *Journal of Biological Education*, 41:3, 107-112.
- Chabalengula, V., Fateen, R., Mumba, F., Ochs, L. Effect of Inquiry-Based Computer Simulation Modeling on Pre-Service Teachers' Understanding of Homeostasis and Their Perceptions of Design Features. *Journal of Computers in Mathematics and Science Teaching*, v35 n3 p225-248.
- Clarke, A., Pörtner, H.-O. (2007). Temperature, metabolic power and the evolution of endothermy. *Biological reviews of the Cambridge Philosophical Society*, 85, p. 703-727.
- Clement, J. (1989). Learning via model construction and criticism: Protocol evidence on sources of creativity in science. In J. A. Glover, R. R. Ronning, & C. R. Reynolds (Eds.), *Handbook of creativity* (pp. 341–381). New York, NY: Plenum.
- Clopton J. R. (2009). Temperature: Humans Regulating, Ants Conforming. *The American Biology Teacher*, n. 69, v.5, p. 59-63.
- Cowles, R., Bogert, C. (1944). A preliminary of thermal requirements of desert reptiles. *Bulletin of the American Museum of Natural History*, 83, p.261 – 296,
- Craver, C. & Bechtel, W. (2006), Mechanism. In S. Sarkar & J. Pfeifer (eds.), *Philosophy of science: an encyclopedia* (pp. 469-478). New York: Routledge.

- Craver, C. F. & Darden, L. (2013). *In Search of Mechanisms: Discoveries across the Life Sciences*. Chicago, IL: University of Chicago Press.
- Cobb, P. (2000). The Importance of a Situated View of Learning to the Design of Research and Instruction, en Boaler, J. (Eds.). *Multiple perspectives on mathematics teaching and learning*, pp. 45-82. Londres: Ablex Publishing.
- Collins, A., (2006). Cognitive Apprenticeship. In: R. K. Sawyer, Ed. *The Cambridge Handbook of the Learning Sciences*. London: Cambridge University Press.
- Daza, E. & El Hani, C. Termorregulación en vertebrados terrestres como concepto explícito e integrador en la enseñanza de las ciencias naturales. En preparación.
- Daza-Pérez, E. & Pérez-Miranda, R. (2011). Termorregulación de lagartos en la formación de profesores de ciencias naturales y educación ambiental *Ciência & Educação (Bauru)*, v. 17, n. 3, p. 663-678.
- Daza-Pérez, E., El-Hani, C.N., Loula. Calangos. (2015). Un video juego más? Consideraciones sobre sus posibilidades didácticas. In: VIII Congreso Iberoamericano de Educación Científica y del II Congreso Internacional de Pedagogía, Didáctica y TIC aplicadas a la Educación, 2015, Bogotá. *Actas del VIII Congreso Iberoamericano de Educación Científica y del II Congreso Internacional de Pedagogía, Didáctica y TIC aplicadas a la Educación*. Bogotá, Colombia: Editorial Universidad Autónoma de Colombia, 2015. v. 1. p. 698-708.
- Dean, L. G.; Breslin A., Ross, E. (2013). Is it hot in here? Thermoregulation and homeostasis through an exercise activity, *Advances in Physiology Education*, 38, p.
- Design-Based Research Collective (DBRC). (2003). Design-based research: An emerging paradigm for educational inquiry. *Educational researcher* 32(1), 5-8.
- Dibley J, Parish J (2007) Using video games to understand thermoregulation. *Sci Scope* 8(30):32–35.

- Duggan, S. & Gott, R. (1995). The place of investigations in practical work in the UK National Curriculum for Science. *Int. Jour. Sci. Ed.* 17(2), pp. 137-147.
- Darden L (2008). Thinking again about biological mechanisms. *Philos Sci*, 75:958–969
- Edin, B. (2008). 'Assigning Biological Functions: Making Sense of Causal Chains'. *Synthese*, vol. 161, 203-18.
- Eliosa, H. & Silva A. (2011). El origen de la endotermia en los vertebrados. *Ciencias* 102, abril-junio, 28-36.
- Evens M, Michael J (2006). *One-on-one tutoring by humans and computers*. Lawrence Erlbaum Associates, Mahwah, NJ.
- Ferreira, P. (2006). Modelagem e suas contribuições para o ensino de ciências: uma análise no estudo de equilíbrio químico. 2006. Dissertação (Mestrado em Educação)- Faculdade de Educação, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.
- Frigg, R., & Hartmann, S. (2009). Models in science. In E. N. Zalta (Ed.), *Stanford encyclopedia of philosophy*. Stanford, CA: Stanford University.
- Shah, M. & Foster, A. (2015). Developing and assessing teachers' knowledge of game-based learning. *Journal of Technology and Teacher Education*. 23. 241-267.
- Galvao, V. (2009). O ensino da Fisiologia Humana. Um estudo com estudantes da Fonoaudiologia envolvendo o tema Homesotasia. *Investigações em Ensino de Ciências (Online)*, v. 14, p. 255-280.
- García, F. (2005). Videojuegos: Un análisis desde el punto de vista educativo. Civertice.Com,
http://www.irabia.org/departamentos/nntt/proyectos/futura/futura06/Analisis_educativo.pdf.

- Garson, J. (2017). Mechanisms, phenomena, and functions. In: Glennan, S. / Illari, P. (eds.): *The Routledge Handbook of Mechanisms and Mechanical Philosophy*. New York: Routledge. 104p.
- Gee, J. (2008). "Learning and Games." *The Ecology of Games: Connecting Youth, Games, and Learning*. Edited by Katie Salen. The John D. and Catherine T. MacArthur Foundation Series on Digital Media and Learning. Cambridge, MA: The MIT Press, 21–40.
- Gee, J.P. (2005). *Why video games are good for your soul: Pleasure and learning*. Melbourne, Australia: Common Ground.
- Gilbert, J. K. & Justi, R. (2016). *Modelling-based Teaching in Science Education. Models and Modeling in Science Education*. Springer.
- Glennan, S. (2002). Rethinking mechanistic explanation. *Philosophy of Science*, 69(Suppl.), S342–S353.
- Glennan, S. (2005). Modeling mechanisms. *Studies in History and Philosophy of Biological and Biomedical Sciences*, 36, 443–464.
- Graham, J. B., Dickson k. A. (1981) Physiological thermoregulation in the albacore *Thunnus alalunga*. *Physiological Zoology*, v. 54, n. p. 4, 470-486.
- Grotzer, T. A. (2003). Learning to understand the forms of causality implicit in scientifically accepted explanations. *Studies in Science Education*, 39(1), 1-74.
- Harris, D. (2008). "A comparative study of the effect of collaborative problem solving in a massively multiplayer online game (MMOG) on individual achievement" *Doctoral Dissertations*.
- Harrison, A., Grayson, D., Treagust, D. (1999). Investigating a Grade 11 Student's Evolving Conceptions of Heat and Temperature *Journal of Research in Science Teaching*, 36, pp. 55-87.

- Halina, M. (2017). Mechanistic explanation and its limits. . In: Glennan, S. / Illari, P. (eds.): The Routledge Handbook of Mechanisms and Mechanical Philosophy. New York: Routledge. 213p.
- Hays, R. T. (2005). The effectiveness of instructional games: A literature review and discussion. Orlando, FL: Naval Air Warfare Center.
- Hiebert, S., Noveral, J. (2007). Are chicken embryos endotherms or ectotherms? A laboratory exercise integrating concepts in thermoregulation and metabolism. *Advances in Physiology Education*, v. 31, n. 1, p. 97-109.
- Hjalmarson M. & Lesh, R. (2008). Design research. En-gineering, systems, products, and processes for innovation. In: English, L.D. (ed.). *Handbook of international research in mathematics education*, pp. 520-534. Londres: Routledge.
- Hodson, D. (2008). *Towards Scientific Literacy. A Teachers' Guide to the History, Philosophy and Sociology of Science*, Rotterdam, The Netherlands: Sense Publishers.
- Huizinga, J. (2007). *Homo ludens*. Madrid: Alianza Editorial.
- Hull, D. & Michael Ruse (eds.), (2007). *The Cambridge Companion to the Philosophy of Biology*, Cambridge University Press.
- Illari P., Williamson, J. (2012). What is a mechanism? Thinking about mechanisms across the sciences. *European Journal for Philosophy of Science*, 2, p. 119–135.
- Jungwirth, E. & Dreyfus, A. (1992). After this, therefore because of this: One way of jumping to conclusions. *Journal of Biological Education*. 26, 139-142.
- Justi, R. (2006). La enseñanza basada en la elaboración de modelos. *Enseñanza de las ciencias*, 24 (2), 173 – 184.
- Juul, J. (2005): *Half-real. Video Games between Real Rules and. Fictional Worlds*. Cambridge MA: The MIT Press.

- Kaiser, M. (2017). The components and boundaries of mechanisms. In: Glennan, S. / Illari, P. (eds.): *The Routledge Handbook of Mechanisms and Mechanical Philosophy*. New York: Routledge. 116p.
- Kingsbury, B. A. (1999) An Experimental Design for Examining Thermoregulatory Set Points in Ectothermic Animals. *The American Biology Teacher*, v. 61, n. 6, p. 448-452.
- Kingsbury, B. A. (1999). An Experimental Design for Examining Thermoregulatory Set Points in Ectothermic Animals. *The American Biology Teacher*, v. 61, n. 6, p. 448-452.
- Klisch, Y., Miller, L. y Crook, A. (2009). Science and Technology Integration: Using Web Adventures to Teach Middle School Students about Alcohol Abuse and Alcoholism. In I. Gibson et al. (Eds.), *Proceedings of Society for Information Technology & Teacher Education International Conference 2009* (pp. 3666-3673). Chesapeake: AACE
- Klopper, E., Osterweil, S., & Salen, K. (2009). *Moving learning games forward*. Cambridge, MA: The Education Arcade.
- Klopper, E., Osterweil, S., Groff, J., and Haas, J. (2009) *The Instructional Power of digital games, Social Networking, Simulations and How Teachers Can Leverage Them*. The Education Arcade: Massachusetts Institute of Technology.
- Klowden, M.J. (2007) *Physiological systems in insects*. USA: Elsevier.
- Kuht, J., Farmery, A. (2014). Body temperature and its regulation. *Anaesthesia and intensive care medicine*, v.15, n. 6, p. 273-278,
- Larsen J. L. (2012). Objects of desire: A reading of the reward system in world of warcraft. *Eludamos journal of computer game culture*, 6 (1): 15–24.

- Lee, S., & Kim H.-B. (2014). "Exploring Secondary Students' Epistemological Features Depending on the Evaluation Levels of the Group Model on Blood Circulation." *Science & Education* 23: 1075–1099.
- Lehrer, R., & Schauble, L. (2005). Developing modeling and argument in elementary grades. In T. A. Romberg, T. P. Carpenter, & F. Dremock (Eds.), *Understanding mathematics and Science matters* (pp. 29–53). Mahwah, N.J.: Erlbaum.
- López, G., Mora, G. C., Rodríguez, L.E., Gómez, A. M., Navarrete, G. (2013). *Los caminos del saber 8*. Colombia: Santillana.
- Loula, A.C., Castro, L.N., Apolinario J.R., Rocha, P.L.B., Carneiro, M. C., Reis, V. P., Machado, R. F., Sepulveda, C. y El-Hani, C. N. (2014). Modeling a Virtual World for Educational Game Calangos. *International Journal of Computer Games Technology*, 2014, 1-14.
- Machamer, P., Darden L., Craver C. (2000) Thinking about mechanisms. *Philos Sci* 67:1–25.
- Maia, P. F. (2009) *Habilidades investigativas no ensino fundamentado em modelagem*. 230 f. Tese (Doutorado), Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.
- Maia, P. F., & Justi, R. (2009). Learning of chemical equilibrium through modelling-based teaching. *International Journal of Science Education*, 31 (5), 603–630.
- McFarland, J., Wenderoth, M. P., Michael, J., Cliff, W., Wright, A., & Modell, H. (2016). A conceptual framework for homeostasis: development and validation. *Advances in Physiology Education*, 40, 213–222.
- McFarland, R. M. Price, M. P. Wenderoth, P. Martinková, et al. (2017). Development and Validation of the Homeostasis Concept Inventory. *CBE—Life Sciences Education*, 16:35, 1–13.
- Matthews, M. (Ed.). (2014). *International handbook of research in history, philosophy and science*.

- McGonigal J. (2011). *Reality Is Broken*. New York: Penguin Press.
- McLaughlin, P. (2001) *What Functions Explain. Functional Explanation and Self-reproducing Systems*. Cambridge University Press
- Méheut, M. (2005). Teaching-learning sequences tools for learning and/or research. In: *Research and the quality of science education (195-207)*. Dordrecht: Springer.
- Mena, J. (2000). Importancia de la biología térmica del vuelo en la configuración de las comunidades de coleópteros coprófagos en ecosistemas mediterráneos (Coleoptera: Scarabaeidae, Geotrupidae). Tesis (Doctorado en biología) - Universidad de Alicante, Alicante (España), 588.
- Michael, D., & Chen, S. (2006). *Serious games: Games that educate, train, and inform*. Boston, MA: Thomson.
- Michael JA, Rovick AA (1999) *Problem solving in physiology*. Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ.
- Ministerio de Educación Nacional de Colombia (2016). Derechos básicos de aprendizaje: Ciencias Naturales. Recuperado el 8 de julio. de 17 de http://aprende.colombiaaprende.edu.co/sites/default/files/naspublic/DBA_C.Naturales.pdf.
- Modell H., Cliff W., Michael J. Mcfarland J., Wenderoth M., Wright A. (2015). A physiologist's view of homeostasis. *Advances in Physiological Education*, 39, p. 259–266, 2015.
- Modell HI. (2000). How to help students understand physiology? Emphasize general models. *Advan Physiol Educ* 23: 101–107.
- Modell H. I. (2007) Helping students make sense of physiological mechanisms: the “view from the inside.” *Advan. Physiol. Edu.* ; 31:186-192.
- Molina, J. & Castro, E. (2011). Un acercamiento a la investigación de diseño a través de los experimentos de enseñanza. *Enseñanza de las Ciencias*, 29(1), 75–88.

- Morrison, S. F., Nakamura, K. and Madden, C. J. (2008). Central control of thermogenesis in mammals. *Exp. Physiol.* 93,773 -797.
- Morrison, M. & Morgan, M. (1999) Models as mediating instruments. In Morgan M S and Morrison M (Eds.) *Models as Mediators. Perspectives on Natural and Social Science*. Cambridge: Cambridge University Press. pp. 10-37.
- Mossio, M., Saborido, C., Moreno, A. (2009), "An organizational account of biological functions", *British Journal for the Philosophy of Science*, 60 (4) pp: 813-841.
- Mulligan G., Taylor N., Glen M., Tomlin D., Gaul, C. (2011). Cross-disciplinary thermoregulation and sweat analysis laboratory experiences for undergraduate Chemistry and Exercise Science students. *Advances in Physiological Education*, 35, p. 206–212.
- National Research Council [NRC]. *A new biology for the 21st century*. Washington, DC: National Academic Press, 2009.
- Nersessian, N. J. (1992). How do scientists think? Capturing the dynamics of conceptual change in science. In Giere, R. N. (ed.) *Cognitive Models of Science*. University of Minnesota Press. Minneapolis, MN. 3--45.
- Nersessian, N. J. (1999). Model-based reasoning in conceptual change. In Magnani, L., Nersessian, N. J., & Thagard, P. (eds.) *Model-Based Reasoning in Scientific Discovery*. Kluwer Academic/Plenum Publishers, New York. 5--22.
- Nicholson, D. (2012) The concept of mechanism in biology. *Stud Hist Philos Sci Part C* 43(1):152–163.
- O'Connor, M. (1999). Physiological and ecological implications of a simple model of heating and cooling in reptiles. *Journal Thermal Biology*, 24, p.113–136.
- Odenbaugh, J. (2005): 'Idealized, Inaccurate but Successful: A Pragmatic Approach to Evaluating Models in Theoretical Ecology', *Biology and Philosophy*, 20, pp. 231–55.

- Osbeck, L., Nersessian, N. J., Malone, K. R., & Newstetter, W. (2010). *Science as psychology: Sensemaking and identity in science practice*. New York: Cambridge University Press.
- Plomp, T. (2013). *Educational Design Research: An Introduction*. In J. van den Akker, N. Nieveen, R. M. Branch, K. L. Gustafson & T. Plomp (Eds.) *Design methodology and developmental research in education and training* (pp. 1–14). The Netherlands: Kluwer Academic Publishers.
- Plomp, T. & Nieveen, N. (2013). *References and Sources on Educational Design Research*. In J. van den Akker, N. Nieveen, R. M. Branch, K. L. Gustafson & T. Plomp (Eds.) *Design methodology and developmental research in education and training* (pp. 1–14). The Netherlands: Kluwer Academic Publishers.
- Pough, H. (1980). The advantages of ectothermy for tetrapodes. *The American Naturalist*, v.115, n.1, p. 92 -112.
- Pough, H., Janis, C. M., Heiser J. B. (2012). *Vertebrate Life*. San Francisco: Benjamin Cummings.
- Randall, D., Burggren, W., French, K. Eckert. (2001). *ANIMAL PHYSIOLOGY*. New York: W. H. Freeman.
- Reinartz-Estrada, M. (2012). Aportes del enfoque problémico en la enseñanza de la fisiología animal y la conceptualización científica. *Revista Iberoamericana de Educación*, n. 59, v. 3, p. 2-11.
- Rescher, N. (1996). *Process Metaphysics: An Introduction to Process Philosophy*. New York: State University of New York Press.
- Ryan R. & Deci, E. (2000) Self-determination theory and the facilitation of intrinsic motivation, social development, and well being, *American Psychologist*, 55, pp. 68–78.

- Ritzhaupt, A., Poling, N., Frey, C., & Johnson, M. (2014). A synthesis on digital games in education: What the research literature says from 2000 to 2010. *Journal of Interactive Learning Research*, 25(2), 261–280.
- Roux, S. From the mechanical philosophy to early modern mechanisms. In: The components and boundaries of mechanisms. In: Glennan, S. / Illari, P. (eds.): *The Routledge Handbook of Mechanisms and Mechanical Philosophy*. New York: Routledge. 26p.
- Rodriguez, L. E., Gómez, M., Muñoz, N., Navarrete, G., González, D., T. (2013). Los caminos del saber 6. Colombia: Santillana,
- Rodríguez-Hoyos, C. & Gomes, M.J. (2013). Videojuegos y educación: una visión panorámica de las investigaciones desarrolladas a nivel internacional. *Revista de Currículum y Formación del Profesorado*, 17(2), 479–494.
- Saricayir, H., Ay, S., Comek, A., Cansiz, G., Uce, M. (2016) Determining Students' Conceptual Understanding Level of Thermodynamics. *Journal of Education and Training Studies*, 4 (6). 69-79.
- Salen, K. (2008). "Toward an Ecology of Gaming." *The Ecology of Games: Connecting Youth, Games, and Learning*. Edited by Katie Salen. The John D. and Catherine T. MacArthur Foundation Series on Digital Media and Learning. Cambridge, MA: The MIT Press, 1–20.
- Salmon, W. (1984). *Scientific Explanation and the Causal Structure of the World*. Princeton, NJ: Princeton, University Press.
- Seebacher, F. & Craig E, F. (2005). Physiological mechanisms of thermoregulation in reptiles: a review. *Journal of Comparative Physiology B-Biochemical Systemic and Environmental Physiology*, 175, p. 533- 541.
- Souza, V. & Justi R. (2010). Estudo da utilização de modelagem como estratégia para fundamentar uma proposta de ensino relacionada à energia envolvida nas

transformações químicas. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, 10, 2, 1-26.

Stevenson, R. (1985). The Relative Importance of Behavioral and Physiological Adjustments Controlling Body Temperature in Terrestrial Ectotherms. *The American Naturalist*, 126, 3, 362-386.

Svoboda, J. & Passmore, C. (2013). The Strategies of Modeling in Biology Education. *Science & Education*, 22, 119–142.

Tansey, E. A.; Roe, S. M., Johnson, C. D. (2013). The sympathetic release test: a test used to assess thermoregulation and autonomic control of blood flow. *Advances in Physiology Education*, v. 38, n. 1, p. 87-92, 2014. DOI: 10.1152/advan.00095.

Trujillo C., Anderson T., Pelaez N. & Piberg A (2016) Tetrahedral Version of the MACH Model for Explaining Biological Mechanisms. *Instructional Innovation Materials*. (online). <http://docs.lib.purdue.edu/pibergiim/1>.

Trujillo C., Anderson TR, Pelaez NJ (2015). A model of how different biology experts explain molecular and cellular mechanisms. *CBE Life Sci Educ* 14, ar20.

Unsworth N, Redick TS, McMillan BD, Hambrick DZ, Kane MJ, Engle RW. (2015) Is playing video games related to cognitive abilities? *Psychol Sci*. 26(6):759–74.

Van den Akker, J. (1999). Principles and methods of development research. In J. van den Akker, N. Nieveen, R. M. Branch, K. L. Gustafson & T. Plomp (Eds.) *Design methodology and developmental research in education and training* (pp. 1–14). The Netherlands: Kluwer Academic Publishers.

van Mil, M., Boerwinkel, D. J., & Waarlo, A. J. (2011). Modelling molecular mechanisms: A framework of scientific reasoning to construct molecular-level explanations for cellular behaviour. *Science & Education*. Advance online publication.

- Verhoeff, R., Waarlo, A. & Boersma, K. (2008) Systems modelling and the development of coherent understanding of cell biology. *International Journal of Science Education* 30: 543–568
- Vitt, L. & Caldwell, J. (2013). *Herpetology: An Introductory Biology of Amphibians and Reptiles*. China: Academic Press.
- Westbrook, S. L. & Marek, E. A. 1992. A cross-age study of student understanding of the concept of homeostasis. *Journal of Research in Science Teaching*, 29 (1): 51–61.
- Whitton, N. (2009) *Learning with Digital Games: A Practical Guide to Engaging Students in Higher Education*. New York: Routledge
- Wynne, C., Stewart, J., & Passmore, C. (2001). High school students' use of meiosis when solving genetics problems. *International Journal of Science Education*, 23(5), 501–515.
- Young, M., Slota, S., Cutter, A.B. Jalette, G., Mullin, G., Lai, B., Simeoni, Z., Tran, M. and Yukhymenko, M. (2012). 'Our princess is in another castle: a review of trends in serious gaming for education', *Review of Educational Research*, 82, 1, 61–89.
- Zamer, E. & Scheiner, S. (2014). A Conceptual Framework for Organismal Biology: Linking Theories, Models, and Data. *Integrative and Comparative Biology*, v. 54, n. 5, p. 736–756.

ANEXOS

ANEXO 1. CUESTIONARIO EN EL APLICATIVO GOOGLE DRIVE® MEDIANTE EL CUAL SE CONSULTÓ A LOS DOCENTES SOBRE LA ENSEÑANZA DE TERMORREGULACION

Concepto de termorregulación en la enseñanza de las CN

Las preguntas que se presentan a continuación tienen como propósito identificar algunos elementos curriculares básicos para delimitar un problema de investigación relacionado con el concepto de termorregulación en los seres vivos y su enseñanza en el nivel de básica secundaria en el contexto colombiano. Muchas gracias por su colaboración.

*Obligatorio

Áreas de desempeño. *

Escriba el nombre de las asignaturas que orienta en el área de Ciencias Naturales y el grado correspondiente.

Material empleado *

¿Cuál es el título de los libros de texto (incluir editorial) que emplea para la enseñanza de las asignaturas anteriores.

Sobre el concepto *

¿Hace objeto de enseñanza el concepto de regulación de la temperatura (termorregulación) en los seres vivos?

- Si
 No

Si la respuesta anterior es afirmativa, escriba en qué grado o grados lo enseña?

¿Con qué temáticas asocia el concepto para enseñarlo y qué aspectos enseña?

Localización *

¿Cuál es el nombre del municipio o ciudad labora como docente?

Enviar

Nunca envíe contraseñas a través de Formularios de Google.

ANEXO 2. AUTORIZACIÓN RECTOR Y TÉRMINO DE CONSENTIMIENTO DE PARTICIPACIÓN LIBRE Y VOLUNTARIO DE PADRES Y ESTUDIANTES.

Profesor
XXXX
Rector
L.C.

Cordial saludo

Con el propósito de contribuir con el aprendizaje de las ciencias naturales y superar algunas dificultades asociadas a la motivación y el uso de los recursos tecnológicos, solicito su autorización para desarrollar la investigación titulada: ***Secuencia didáctica para la elaboración de modelos sobre termorregulación en animales usando el videojuego Calangos*** que tiene por objetivo identificar las características de una secuencia didáctica para que los estudiantes trabajen sobre elaboración de modelos sobre termorregulación mediante el uso del videojuego Calangos.

Su ejecución implica el desarrollo de diferentes actividades en las horas de clase de ciencias naturales del grado noveno, las cuales serán realizadas dentro de la programación curricular definida para el tercer periodo por las docentes titulares bajo mi orientación, y serán evaluadas como parte de las competencias a alcanzar en dicho periodo.

Durante la investigación, las clases serán filmadas, el material producido por los estudiantes será recolectado y se realizarán algunas entrevistas con estudiantes seleccionados aleatoriamente. Material que será usado únicamente con fines de investigación protegiendo la identidad de los estudiantes, los profesores y la institución educativa.

Agradezco su colaboración.

Investigadora responsable

AUTORIZACIÓN

Declaro que tengo claridad sobre los propósitos de la investigación "*Secuencia didáctica para la elaboración de modelos sobre termorregulación en animales usando el videojuego Calangos*", y autorizo el desarrollo de la misma en el grado noveno de esta institución.

Firma

Señor(a)

PADRE (MADRE) DE FAMILIA Y ESTUDIANTE DE GRADO NOVENO

Cordial saludo

Con el propósito de contribuir con el aprendizaje de las ciencias naturales y superar algunas dificultades asociadas a la motivación y el uso de los recursos tecnológicos, se desarrollará una investigación titulada: ***Secuencia didáctica para la elaboración de modelos sobre termorregulación en animales usando el videojuego Calangos*** que tiene por objetivo identificar las características de una secuencia didáctica para que los estudiantes trabajen sobre elaboración de modelos sobre termorregulación mediante el uso del videojuego Calangos.

Su ejecución implica el desarrollo de diferentes actividades en las horas de clase de ciencias naturales las cuales serán desarrolladas dentro de la programación curricular definida para el tercer periodo y serán evaluadas como parte de las competencias a alcanzar en este periodo.

Durante la investigación, las clases serán filmadas, el material producido por los estudiantes será recolectado y se realizarán algunas entrevistas con estudiantes seleccionados aleatoriamente. Material que será usado únicamente con fines de investigación protegiendo la identidad de los estudiantes, los profesores y la institución educativa.

Teniendo en cuenta que las actividades de la investigación son parte de las actividades de aula propias de la asignatura, todos los estudiantes participan en las actividades. Sin embargo, si por alguna razón, como estudiante no desea participar en el estudio, o como padre, no está de acuerdo con que su hijo(a) o estudiante a cargo participe de la investigación, no se analizarán los datos generados a partir de las actividades desarrolladas y se aclara que esto no perjudicará al estudiante.

Para cumplir con los principios de la ética de la investigación, respetuosamente solicito que diligencien el formato anexo y lo regresen. Si en el transcurso de la investigación desisten de la decisión, podrán retirar el consentimiento.

Agradezco su colaboración.

AUTORIZACIÓN

Declaramos que tenemos claridad sobre los propósitos de la investigación "*Secuencia didáctica para la elaboración de modelos sobre termorregulación en animales usando el videojuego Calangos*", y estamos de acuerdo con que el material e información generada sea utilizado para los fines de la investigación.

Nombre y firma del estudiante:

Nombre, firma del padre (madre) o responsable, número de cédula y teléfono:

ANEXO 3. CUESTIONARIO SOBRE MODELOS Y TERMOREGULACIÓN EN ANIMALES PREVIO A LA IMPLEMENTACIÓN DE LA SECUENCIA (Adaptada de Ferreira 2009)

Estimado estudiante: El presente cuestionario forma parte del proyecto de investigación "Construyendo modelos sobre termorregulación usando el videojuego CALANGOS" y tiene por objeto indagar sobre su conocimiento respecto de la elaboración de modelos en ciencias y la termorregulación en animales, no tiene fines de calificar o asignar una nota. Por ello es importante que resuelva todos los ítems con honestidad y responsabilidad.

Nombre: _____ Edad: _____ Grupo: _____

1. Nosotros tenemos una idea general sobre lo que es un modelo. Con base en esa idea general, analice los sistemas que son presentados y clasifíquelos como modelos o no. Escriba al frente el porqué de su respuesta.

Sistema	Modelo		¿Por qué?
	Si	No	
Carro de juguete			
Formula química del agua: H ₂ O			
Lámina con dibujo del sistema digestivo			
Gráfica de humedad versus temperara de un lugar			
Solución de permanganato de potasio en agua			
Mapa			
Descripción escrita de un elemento, acontecimiento o lugar			

2. Escriba de forma breve, ¿Qué es un modelo para usted?

3. Escriba en las siguientes líneas, de la forma más concreta posible, qué es termorregulación.

4. Represente en el siguiente espacio un modelo que le permita explicar cómo regulan la temperatura interna los animales vertebrados terrestres. Puede emplear dibujos, textos, símbolos, esquemas conceptuales, etc.

5. Elaborar un modelo puede resultar una actividad compleja de manera que el proceso de elaboración es más importante que el resultado final. Por eso, independiente del modelo que usted construyó, solicitamos que describa minuciosamente los pasos para construir el modelo solicitado. Emplee la siguiente tabla y escriba lo que usted haría etapa por etapa y escriba una justificación para cada etapa. Después enumere la primera columna indicando el orden que seguiría. Coloque todas las etapas que desee.

ORDEN	ETAPA	JUSTIFICACIÓN

ANEXO 4.
**CUESTIONARIO APLICADO LUEGO DE IMPLEMENTAR EL PRIMER
 PROTOTIPO DE LA SECUENCIA**

Nombre: _____ Grupo: _____ Fecha: _____

1. Observe el modelo sobre termorregulación en vertebrados que se encuentra anexo a la siguiente guía, compárelo con el modelo que construyó, mencione qué elementos incluiría en su modelo e intente reconstruirlo a partir de ello.

2. Complete la siguiente tabla a partir del esquema anterior y teniendo en cuenta los conceptos trabajados durante la secuencia de actividades sobre termorregulación.

Conceptos que desconocía	Conceptos que conocía pero no comprendía	Conceptos que comprendió pero con dificultad	Conceptos que comprendió fácilmente	Conceptos que no comprendió

3. Escriba brevemente qué es termorregulación:

2. Indique cuál de las actividades desarrolladas durante la secuencia le agrado más, cuál le generó menor dificultad, en cuál siente que aprendió más, cuál no le agrado.

- a. Jugar Calangos:
- b. Construir y analizar gráficas:
- c. Diseñar pruebas experimentales:
- d. Actividad práctica termorregulación en el ser humano:
- e. Construir modelo:
- f. Otra u otras, cuál (es):

3. ¿Qué le quitaría y qué le agregaría a las actividades desarrolladas?

ANEXO 5. ACTIVIDADES DEL PRIMER PROTIPO DE LA SECUENCIA

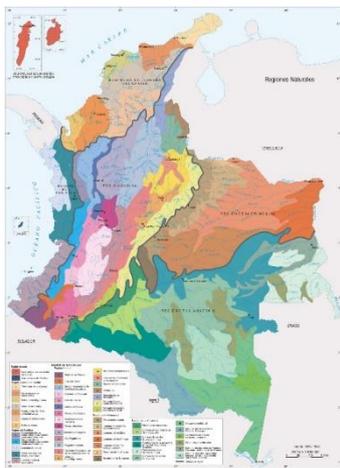
Actividad 1. ¿QUÉ SON Y CUÁL ES EL PAPEL DE LOS MODELOS? (Adaptada de Raviolo et al. 2010; Snir y Grosslight 1992)

Objetivo: Discutir y analizar sobre el concepto de modelo y su papel en la ciencia.

Estimado estudiante, observe los mapas, compárelos y responda las preguntas. Presente sus respuestas en la plenaria. El profesor orienta el debate, explica y clarifica dudas.

- a. ¿Qué muestra cada mapa? ¿Muestran las mismas cosas? ¿Es un mapa mejor que otro?
- b. ¿Por qué se necesita un mapa de un país?
- c. ¿Una foto es un mapa? ¿Y una foto satelital de la ciudad?
- d. ¿Un mapa puede no tener nada que ver con lo que representa?
- e. ¿Puede el mapa ser igual o copia de lo que representa?
- f. ¿Es importante en un mapa de un país que figure el nombre de todos municipios que lo conforman?
- g. ¿Influye nuestra experiencia previa con el uso de mapas al usar un mapa de una ciudad que no conocemos? ¿Influirá al usar el mapa si ya conocemos el país?
- h. ¿Cuáles son las funciones del mapa? ¿Qué podemos hacer con un mapa?
- i. ¿Un recorrido marcado en un mapa puede ser realizado por cualquier usuario? ¿Puede ser repetido?
- j. ¿Cómo se puede garantizar que un mapa esté bien hecho? ¿Es mejor un mapa hecho por una persona o por un conjunto de personas?
- k. ¿Cómo representan las cosas? ¿Cuándo decimos que un mapa está bien hecho?
- l. ¿Será útil un mapa viejo de Colombia? ¿Por qué?

1.



2.



3.



4.



5.



6.



Actividad 2. Explorar Calangos

Objetivo:

Que el estudiante conozca el objetivo del juego, la interfaz gráfica, las reglas y los comandos del juego.

Orientaciones:

Los estudiantes se organizan en parejas de acuerdo con las indicaciones del profesor. El profesor expone el videojuego con ayuda del proyector de video. Luego pide a los estudiantes que enciendan sus computadores y procedan a jugar (pese a estar en parejas, ambos deben jugar)

El profesor atiende los interrogantes de los estudiantes sobre el funcionamiento del videojuego durante la sesión que no debe superar los 30 minutos.

Actividad 3. Exploración de conceptos básicos

Objetivo:

Reconocer cuestiones básicas sobre mecanismos físicos de intercambio de energía térmica, metabolismo y homeóstasis para facilitar la comprensión de termorregulación.

1. Con la orientación del profesor, lean las siguientes afirmaciones, discuta con sus compañeros y el profesor siguiendo las preguntas orientadoras o formulando nuevas.

A. Desde 1926 es reconocido por la comunidad científica que los organismos vivos tienen la capacidad de mantener una estabilidad interna compensando los cambios del entorno mediante el intercambio de materia y energía con el exterior. Esto constituye un equilibrio posible gracias a la acción de diversos sistemas de control retroalimentados como ocurre en la regulación de la temperatura corporal interna de los animales termorreguladores

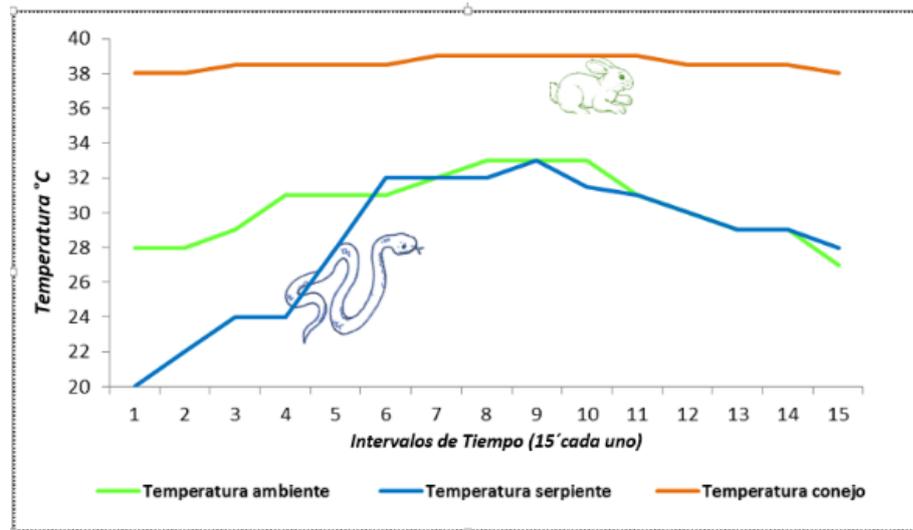
- ¿Cuál es su interpretación de la afirmación anterior?
- ¿Qué temáticas tratadas en el año anteriores se relacionan con la afirmación?
- ¿Por qué es importante para los animales mantener una estabilidad interna?
- ¿Cuál es la relación de la afirmación con la homeóstasis?
- ¿Qué recuerda sobre el metabolismo y cómo se relaciona con la homeóstasis? ¿Con la temperatura?

B. Un animal sobre la tierra está en un ambiente físico que varía en pequeñas proporciones y puede cambiar rápidamente. La temperatura en particular, varía en tiempo y espacio en ambientes terrestres, y los cambios en la temperatura ambiental tienen un impacto directo sobre animales terrestres especialmente en los de pequeño tamaño porque ellos pueden ganar o perder calor rápidamente.

- a. ¿Cuáles son los mecanismos físicos de pérdida y ganancia de energía térmica de los animales?
- b. ¿Todos los animales pierden o ganan energía térmica con la misma velocidad?
- c. ¿Cómo reaccionan los animales ante las variaciones de temperatura de su hábitat?
- d. ¿Los animales deben mantener su temperatura corporal entre ciertos rangos o no existe límite para ello? Si existen rangos, ¿son los mismos para todos los animales? ¿Qué animales tienen mayor dependencia de la energía solar?

- e. ¿Qué diferencias existen entre aves, reptiles, anfibios, peces y mamíferos en relación con su temperatura corporal?
- f. Si existen diferencias, ¿A qué se deben estas diferencias?
- g. ¿Cómo podría ser definida termorregulación?
- h. ¿Qué órganos, estructuras, sistemas, procesos, intervienen en la termorregulación?

2. En la gráfica se presentan las variaciones de temperatura corporal de un mamífero (el conejo) y un reptil (serpiente) y la temperatura del ambiente durante un lapso de tiempo en una situación hipotética. Analice la situación, discuta con sus compañeros, resuelva las preguntas propuestas y registre sus comentarios al respaldo de la hoja.



- a. ¿Qué información relacionada con la temperatura de la serpiente y del conejo puede extraer de la gráfica?
- b. ¿Existe relación entre la situación hipotética representada en la gráfica y una situación real?
- c. ¿Qué relación existe entre las variaciones de temperatura ambiental y la temperatura corporal de los animales?
- d. ¿Cuál es el papel del metabolismo en la regulación de la temperatura corporal de los animales?
- e. ¿Cuál es la función de la termorregulación en animales?
- f. Compare sus respuestas con la explicación del profesor.

Actividad 4. Definir el objetivo del modelo

El docente indica a los estudiantes que con base en lo discutido sobre termorregulación, en sus ideas previas, deberán elaborar un modelo del fenómeno de termorregulación en vertebrados terrestres así: Considerando que la termorregulación contribuye con la homeóstasis, elabore un modelo que le permita explicar cómo mantienen la temperatura corporal interna los animales vertebrados terrestres en rangos de tolerancia y desempeño específicos.

Para ello se seguirán las siguientes etapas: presentar las etapas del proceso de modelización propuesto por Justi (2006).

Actividad 5. Tener experiencias con el objeto a modelar

El videojuego Calangos tiene como objetivo la supervivencia y reproducción de un lagarto en un ecosistema de dunas de arena. En el juego, el animal dispone de los recursos bióticos y abióticos que le permiten sobrevivir.

Conformen parejas de acuerdo con las indicaciones de su profesor, seleccionen un adulto entre las especies de lagartos que tiene el juego y configuren el juego en el nivel medio.

1. Jueguen durante cinco minutos, detengan el juego e identifique y escriban los elementos presentes en la interfaz gráfica del juego (ambiente virtual) que influyen directamente en la regulación de la temperatura corporal interna del lagarto y aquellos que el animal puede usar para este mismo fin.
Identifiquen y describan situaciones donde se evidencien los mecanismos físicos de pérdida y ganancia de energía térmica.
2. Continúen jugando durante diez minutos analicen su estado de avance en el juego. Observen detenidamente los indicadores de temperatura interna, nutrición, temperatura y humedad ambiental que presenta el juego y respondan cómo han influido en el estado del animal.
 - a. Observen la gráfica de temperatura interna vs tiempo que se ha generado, cópienla, hagan un análisis de la misma y realicen una predicción del comportamiento de la misma asumiendo que continúan con la misma estrategia de juego.
Planeen otra estrategia en caso de que la predicción les indique dificultades o muerte del animal en los próximos minutos de juego.
 - b. ¿Cuáles son los rangos de tolerancia térmica para su lagarto en el juego? Describan las estrategias que puede desarrollar para mantener su temperatura corporal en esos rangos.
3. Lean y analicen siguiente texto. Pidan explicación al profesor siempre que sea requerido.

Regulación de la temperatura en animales

(Adaptada de: Biología. Curtis H., Barnes S., Schnek A. y Massarini A. (2008) 7ª Edición. Editorial Médica Panamericana)

La termorregulación o regulación de la temperatura es la capacidad que tiene un organismo biológico para modificar su temperatura dentro de ciertos límites, incluso cuando la temperatura circundante es muy diferente. El término se utiliza para describir los procesos que mantienen el equilibrio entre ganancia y pérdida de energía térmica.

Hay dos mecanismos de intercambio de calor entre el cuerpo de un animal, incluido el humano, y el ambiente: pérdida evaporativa de energía térmica e intercambio no evaporativo. El intercambio de energía no evaporativa representa la suma de los flujos de energía debidos a radiación, convección y conducción. Como la energía es transferida a favor del gradiente de temperatura, el "calor" del cuerpo se disipa al ambiente siempre que el ambiente este más frío que el cuerpo. La temperatura corporal de los endotermos, como el humano, es generalmente superior a la temperatura ambiental, por lo cual la mayor parte de la energía térmica que producen estos organismos se pierde por radiación, conducción o convección. Cuando la temperatura ambiental es superior a la corporal, la evaporación es la única forma de pérdida de energía térmica, constituyéndose en un mecanismo esencial para el mantenimiento de la homeotermia. Es importante tener en cuenta que la efectividad relativa de estas rutas de intercambio de energía térmica depende de las condiciones ambientales

Los organismos termorreguladores u homeotermos mantienen la temperatura corporal esencialmente constante en un amplio rango de condiciones ambientales. Por otra parte, los termoconformistas o poiquilotermos son organismos cuya temperatura corporal varía con las condiciones ambientales. Según la forma de obtención de energía térmica, los organismos se clasifican en endotermos y ectotermos. Los organismos endotermos controlan la temperatura corporal mediante la producción interna de energía térmica, y mantienen habitualmente dicha temperatura por encima de la temperatura ambiental. Los organismos ectotermos dependen, para regular su temperatura corporal, fundamentalmente de una fuente de energía térmica externa.

Los términos endotermo y ectotermo hacen referencia a la fuente generadora de calor de un animal. Así, un ectotermo es un animal cuya temperatura es controlada, principalmente, por una fuente externa de calor, y su capacidad de generar calor metabólico es insignificante. Ejemplos típicos de animales ectotérmicos son los reptiles, los anfibios, los peces y los invertebrados. Los mamíferos, las aves y muy pocas especies de reptiles, peces e insectos son endotermos. En ellos, la fuente principal de producción de calor es interna, y se debe principalmente al alto metabolismo oxidativo. Las divisiones entre endotermia y ectotermia -o entre homeotermia y poiquilotermia- representan extremos ideales y que rara vez se encuentran en la naturaleza. Muchos endotermos mantienen su temperatura constante cuando las temperaturas del ambiente permiten esta estrategia o cuando la disponibilidad de comida es alta, pero su temperatura corporal baja rápidamente cuando las condiciones externas empeoran. Otros animales nunca alcanzan la homeotermia, pero producen suficiente calor metabólico como para elevar la temperatura corporal por sobre la del medio ambiente.

Ectotermos: Los ectotermos acuáticos y terrestres se enfrentan con problemas diferentes. Están rodeados por una gran masa de agua que tiene una gran capacidad para absorber y conducir el calor; esto limita severamente la regulación de la temperatura corporal de estos animales. Aunque los procesos metabólicos de estos animales generan calor, por lo general éste es mucho menor que la cantidad generada por un endotermo típico, y además, se disipa rápidamente, aun en los animales grandes. Una gran proporción de este calor se pierde por las branquias.

Las grandes masas de agua mantienen una temperatura muy estable. En las masas de agua más pequeñas, donde ocurren los cambios de temperatura más grandes, los peces buscan un nivel de temperatura óptima en el que mejor se desarrollen sus procesos metabólicos pero pueden ser víctimas de cualquier cambio rápido y drástico en la temperatura del medio acuático.

Las temperaturas en tierra firme, en contraste con las del agua, pueden variar mucho. Así, la regulación de la temperatura, al igual que la conservación del agua, constituye un problema para los animales terrestres. Por otro lado, el aire tiene una menor conductividad térmica y capacidad calorífica que el agua, lo cual permite a los ectotermos terrestres mantener una temperatura diferente a la del medio ambiente.

Los reptiles son capaces de mantener temperaturas corporales notablemente estables durante sus horas de actividad, variando la cantidad de radiación solar que absorben. Orientando sus cuerpos de modo de exponer la máxima superficie a la radiación solar, pueden calentarse rápidamente y cambiando frecuentemente de posición y así, son capaces de mantener su temperatura dentro de una gama muy estrecha mientras brille el Sol.

Como el metabolismo depende de la temperatura, cuando no están expuestos al Sol, sus temperaturas corporales caen y se inhiben los procesos metabólicos. Como resultado de esto, se vuelven muy lentos en sus movimientos y, para no quedar expuestos a los depredadores, buscan refugio.

Muchos ectotermos tanto acuáticos como terrestres pueden sobrevivir e incluso funcionar normalmente a bajas temperaturas. Cuando el tejido se congela, la formación y el crecimiento de cristales de hielo rompe las células. Varios ectotermos, como los artrópodos polares, poseen mecanismos que previenen el congelamiento de sus tejidos: pueden aumentar la

concentración de sustancias de sus fluidos de manera de disminuir la temperatura a la cual se congelan (depresión osmótica del punto de congelamiento). Otra estrategia consiste en permitir que los fluidos se superenfrien, es decir, que se mantengan líquidos a temperaturas por debajo de su punto de congelamiento.

Por otra parte, un ectotermo terrestre puede responder a temperaturas ambientales elevadas previniendo o reduciendo el aumento de la temperatura corporal mediante el enfriamiento por evaporación. Pero esto trae el problema de la pérdida de agua que diferentes animales "resuelven" de distintas maneras.

La forma más sencilla de reducir la temperatura de la superficie corporal es la evaporación pasiva. En los ectotermos terrestres hay distintos mecanismos de termorregulación que actúan a distintos niveles: el jadeo, la disminución de calor al exponer el cuerpo al Sol o a la sombra, la variación de la frecuencia cardíaca y el flujo de sangre a los tejidos periféricos para evitar el sobrecalentamiento.

Los ectotermos acuáticos hacen uso de una estrategia distinta. Algunos de ellos simplemente evitan ambientes térmicos desfavorables. Cuando el aumento de temperatura ambiente es gradual, el organismo puede ajustar su maquinaria bioquímica de forma de introducir cambios en la cantidad y calidad de las proteínas, y cambios en la composición y fluidez de la membrana.

Endotermos: En los endotermos, la oxidación de la glucosa y otras moléculas productoras de energía dentro de las células del cuerpo constituye la principal fuente de calor. En general, la producción endógena de calor permite la regulación precisa de la temperatura corporal. Esa es la razón principal por la que la mayoría de los endotermos son buenos homeotermos, es decir, que mantienen la temperatura corporal relativamente constante a pesar de las fluctuaciones de la temperatura ambiente. Todos los homeotermos son endotermos. La homeotermia trajo consigo un número de ventajas, de las cuales tal vez la más importante fue la capacidad de funcionar al máximo de la eficiencia posible, aun a bajas temperaturas externas.

Las aves y los mamíferos son endotermos homeotérmicos, es decir, generan calor interno y, además, mantienen la temperatura del cuerpo relativamente constante e independiente de las fluctuaciones externas. La temperatura corporal es mantenida por un sistema de regulación automático -un termostato- situado en el hipotálamo, en la base del cerebro.

La temperatura corporal en los mamíferos está regulada por una red compleja de actividades, que implica tanto al sistema nervioso como al endocrino. El centro regulador de la temperatura está en el hipotálamo. El hipotálamo recibe la información de los termorreceptores situados en la piel y ciertas estructuras internas, como el mismo hipotálamo.

La elevación de la temperatura corporal, conocida como fiebre, no se debe a un mal funcionamiento del termostato hipotalámico sino que, por el contrario, se debe a un reajuste del valor de referencia. El reajuste del termostato se inicia en presencia de sustancias llamadas pirógenos (que producen fiebre).

Se ha comprobado que la temperatura elevada mejora la respuesta inmune reduciendo el crecimiento de patógenos. Sin embargo, por encima de 42°C el organismo puede sufrir un shock térmico que puede ser fatal si no se toman medidas adecuadas oportunamente.

Cuando varía la temperatura corporal se producen respuestas fisiológicas que compensan esos cambios. Los animales ajustan su gasto energético. Consumen menos energía cuando están en reposo que cuando están activos; ahorran combustible al disminuir el valor de la temperatura de referencia del termostato, ya que disminuye la velocidad de los procesos metabólicos responsables de la generación de calor. Algunos animales hibernan reduciendo su metabolismo.

Numerosos animales tienen mecanismos que les permiten conservar el calor en algunas partes del cuerpo y permitir que disminuya la temperatura en otras mediante un dispositivo de contracorriente que por ejemplo, mantiene el calor en el cuerpo y lo aleja de las extremidades.

Jueguen nuevamente durante 15 minutos. Usen la información de la lectura para mejorar su estrategia de juego.

- Al finalizar la sesión de juego revisen las gráficas de dispersión, copienlas y analícelas.
 - A partir de ellas, escriban cuál sería la mejor estrategia de juego para alcanzar el mayor éxito reproductivo.
 - Supongan que el protagonista del juego es un endotermo, intenten predecir el comportamiento de las gráficas.
4. Jueguen libremente el tiempo restante, mejoren su estrategia de juego y escriban otras observaciones sobre el juego en función de la termoregulación en endotermos y ectotermos.
 5. Indiquen qué dificultades tuvieron mientras jugaban, ¿cómo fue su desempeño en el juego?

Actividad 6. Producir y expresar un modelo mental

Teniendo en cuenta lo discutido en clase sobre modelos, modelación y termorregulación en los animales, con su compañero, analice, discuta y proponga un modelo sobre la termorregulación en animales que permita alcanzar el objetivo propuesto en la actividad 4:

Considerando que la termorregulación contribuye con la homeóstasis, elabore un modelo que le permita explicar cómo regulan la temperatura corporal interna los vertebrados terrestres.

1. Use este espacio para registrar sus sobre el modelo a construir.
2. Elijan una forma de representación para expresar su modelo mental e indiquenla acá. Listen los materiales que emplearían para construir su modelo para que el docente pueda suministrarlos.
3. Construya su modelo usando el medio de representación elegido.
4. Siguiendo las orientaciones del profesor, formen un grupo con otra pareja, analicen y discutan los dos modelos y definan un solo modelo a partir de los dos modelos anteriores, este será un modelo consensuado.

Actividad 7. Llevar a cabo experimentos mentales y ajustar el modelo

Revise si su modelo es coherente con el objetivo propuesto. Suponga que explicarán a un grupo sobre termorregulación en animales usando su modelo, analice las posibles preguntas que formularan sus compañeros y si puede resolverlas usando el modelo que usted propone. Revise también lo discutido y observado en el juego así como lo planteado en la lectura de apoyo.

1. Escriba las posibles preguntas que pueden formular y escriba cómo las resuelve usando su modelo.
 - Indique cuáles son las fortalezas de su modelo y explique por qué.
2. Intente testearlo a partir de preguntas, acá se sugieren algunas:

- a. ¿Qué respuestas fisiológicas son desarrollados por los vertebrados para regular la temperatura corporal?
 - b. ¿Cuáles son las actividades comportamentales que desarrollan los vertebrados para regular la temperatura corporal?
 - c. ¿El modelo permite superar la visión de que en los ectotermos no existen rangos de tolerancia térmica?
 - d. ¿Por qué a través del modelo se puede entender la termoregulación como un proceso homeostático?
3. ¿Qué debe modificar a su modelo? ¿Por qué?

Actividad 8. Evaluar el modelo. Planear y ejecutar experimentos. Hacer ajustes

Objetivo: Diseñar y realizar experimentos que permitan evaluar el poder explicativo de su modelo para ajustarlo y presentarlo en grupo.

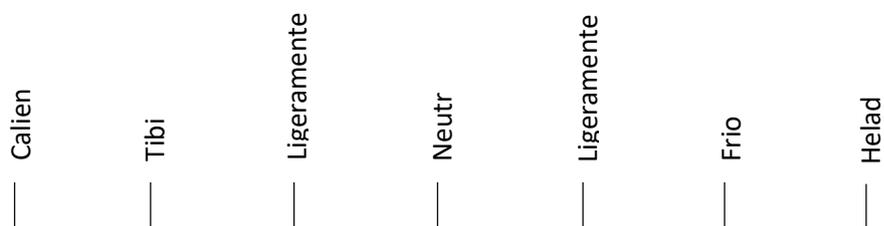
A. Planificar pruebas experimentales:

En esta actividad se pretende que junto con su grupo diseñen una actividad que permita poner a prueba su modelo. La actividad debe comprender el uso del videojuego, principalmente las gráficas que genera. Si identifica que las características de Calangos, limitan su uso en la actividad experimental no lo tenga en cuenta y explique por qué no lo hace.

B. Realizar pruebas experimentales. Termorregulación en endotermos.

1. **¿Hace calor aquí?** (Adaptado de: Dean et al. 2014) Mediante la siguiente actividad, podrá evaluar su modelo en relación con el poder que tiene el mismo para explicar la termoregulación como un proceso homeostático y los mecanismos utilizados por endotermos para mantener una temperatura corporal relativamente constante. Además podrá identificar la diferencia térmica de la temperatura interna y externa del cuerpo mediante el seguimiento de cambios en las mismas durante el ejercicio.

Necesitamos: un termómetro digital y la siguiente escala:



- a. Tome los valores de temperatura de la superficie de su cuerpo, la temperatura interna con el termómetro de oído y registre en una tabla estos junto con la percepción de su temperatura corporal según la escala de la tabla.

Construya aquí la tabla:

- b. Trote durante un minuto y vuelva a registrar los mismos datos en la tabla. Ahora colóquese una chaqueta, repita la misma actividad y registre nuevamente los valores anteriores.

Desarrolle esta actividad en otras seis ocasiones agregando elementos de dificultad en cada caso. Por ejemplo, hacerlo más rápido, con alguna carga adicional. Registre los datos en cada caso.

- c. Construya una gráfica con los datos registrados y explique sus resultados.
- d. Discuta con su grupo de trabajo sobre las razones por las que el ejercicio prolongado aumenta la temperatura corporal periférica (tales como los músculos que producen calor metabólico), porqué la temperatura interna se mantiene relativamente estable y cómo el cuerpo regula la temperatura durante este tiempo (redistribución del flujo de sangre, sudor, y la disipación de calor) Escriba sus comentarios.
- e. ¿Cómo explicaría los resultados usando su modelo? Explíquelos.
- f. ¿Qué dificultades tuvo para explicar los resultados usando su modelo?
- g. Identifique qué aspectos de termorregulación han sido modelados y cuáles no. ¿Es necesario modelarlos?

El profesor debe proponer otras cuestiones a la clase que surjan a partir de las observaciones que haga. Es importante que siempre esté orientando y cuestionando a los grupos.

AJUSTAR EL MODELO

Registre en este espacio los ajustes que hará en su modelo a partir de lo observado en la actividad experimental. Haga los ajustes y prepara su modelo para socializarlo con los demás compañeros de la clase.

ANEXO 6. SEGUNDO PROTIPO DE LA SECUENCIA

Actividad 1. ¿QUÉ SON Y CUÁL ES EL PAPEL DE LOS MODELOS?

Objetivos:

- Discutir y analizar sobre el concepto de modelo y su papel en la investigación científica.
- Explicar aspectos básicos de los mecanismos biológicos y los modelos de mecanismos.

- A.** Actividad 1 primer prototipo (Analogías Adaptada de Raviolo et al. 2010; Snir y Grosslight 1992) (Anexo 5)
- B.** Luego de discutir sobre los modelos en ciencia y su papel en la investigación científica. El profesor presenta una explicación sobre los mecanismos y modelos de mecanismos. Su explicación puede usar como ejemplo la analogía de la trampa para ratones propuesta por Craver, C. y Bechtel, W. (2006) y debe centrarse en los siguientes elementos centrales:
- a. ¿Qué es un mecanismo biológico?
 - b. ¿Cómo identifican los biólogos y filósofos de la biología un mecanismo?
 - c. ¿Qué atributos de un fenómeno son representados en un modelo de mecanismo?, ¿Cómo podrían ser representados?

Actividad 2. Explorar Calangos. Actividad no modificada

Actividad 3. Introducción. Exploración de conceptos básicos.

Objetivo: Reconocer cuestiones básicas sobre vías físicas de pérdida y ganancia de energía térmica, sobre metabolismo y homeóstasis para facilitar la comprensión de termorregulación.

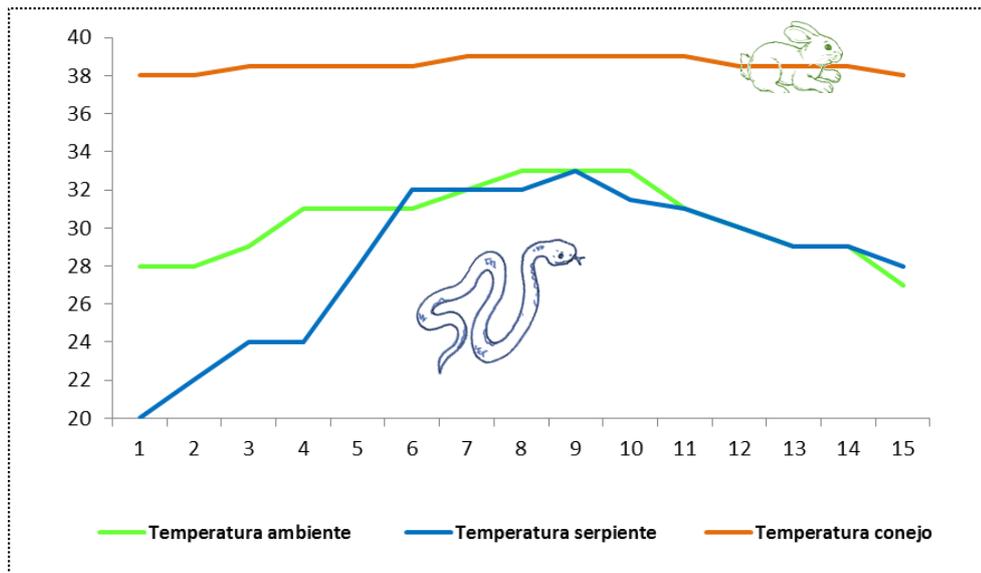
1. El profesor pregunta a los estudiantes qué conocen, o qué saben sobre el metabolismo, la energía térmica, la temperatura, las adaptaciones y la homeóstasis. Guía la discusión buscando sintetizar elementos centrales y evidenciar relaciones entre esos conceptos.

2. Analizar la siguiente situación:

Un animal sobre la tierra está en un ambiente físico que varía en pequeñas proporciones y puede cambiar rápidamente. La temperatura en particular, varía en tiempo y espacio en ambientes terrestres, y los cambios en la temperatura ambiental tienen un impacto directo sobre animales terrestres especialmente en los de pequeño tamaño porque ellos pueden ganar o perder energía térmica rápidamente.

- i. ¿Qué respuestas desarrollan los animales ante las variaciones de temperatura de su hábitat?
- j. ¿Qué órganos, estructuras, sistemas, procesos considera que intervienen en esas respuestas?
- k. ¿Qué diferencias existen entre aves, reptiles, anfibios, peces y mamíferos en relación con su temperatura corporal?
- l. ¿Cuáles son los fenómenos físicos de pérdida y ganancia de energía térmica en los animales?

3. En la gráfica se presentan las variaciones de temperatura corporal de un mamífero (el conejo), un reptil (serpiente) y la temperatura del ambiente durante un lapso de tiempo en una situación hipotética. Analice la situación, discuta con sus compañeros, resuelva las preguntas propuestas y registre sus comentarios al respaldo de la hoja.



- g. ¿Qué información relacionada con la temperatura de la serpiente y del conejo puede extraer de la gráfica?
- h. ¿Qué relación existe entre la situación representada en la gráfica y una situación real?
- i. ¿Qué relación existe entre las variaciones de temperatura ambiental y la temperatura corporal de los animales?
- j. Discuta sus respuestas con sus compañeros de la clase y la orientación del profesor.

4. Realice la siguiente lectura intente construir un esquema sobre los elementos centrales (Regulación de la temperatura en animales, Adaptado de Curtis y Schnek 2008 Lectura punto 3. Actividad 5. Primer prototipo. Anexo 5)

Nota al profesor: Es importante que se guíen las discusiones de manera que se logre introducir a los estudiantes al concepto de termorregulación y su función en los vertebrados terrestres.

Actividad 4. Definir el objetivo del modelo: El docente indica a los estudiantes que con base en lo discutido sobre termorregulación, en sus ideas previas, deberán elaborar un modelo del fenómeno de termorregulación en vertebrados terrestres. El objetivo del modelo es: *Explicar cómo regulan la temperatura corporal interna los vertebrados terrestres. En el modelo debe ser evidente la relación entre termorregulación y homeóstasis de manera que posibilite explicar por qué termorregulación es un mecanismo homeostático.*

Actividad 5. Tener experiencias con el objeto a modelar (Desarrollar en parejas):

Objetivo: Permitir a los estudiantes aproximarse al fenómeno objeto de modelaje para recordar ideas previas y obtener información relevante.

El videojuego Calangos tiene como objetivo la supervivencia y reproducción de un lagarto en un ecosistema de dunas de arena. En el juego, el animal dispone de los recursos bióticos y abióticos que le permiten sobrevivir. Inicie el juego con su compañero y resuelva los interrogantes propuestos.

A. Jueguen durante 5 minutos y mientras juegan:

1. Identifiquen y escriban los elementos del ecosistema que influyen directamente en la regulación de la temperatura corporal interna del lagarto y aquellos que el animal puede usar para este mismo fin.
2. Describan situaciones donde se evidencien fenómenos físicos de pérdida y ganancia de energía térmica por parte del lagarto.

3. Después de 2 a 4 minutos de juego, observen detenidamente los indicadores de temperatura interna, nutrición, temperatura y humedad ambiental que presenta el juego y describan cómo han influido en el estado del animal.

B. Ahora jueguen por turnos, determinen cuánto tiempo jugará cada uno o cómo pierde el turno quien esté jugando.

a. En una tabla coloquen los logros y desaciertos de cada uno durante el juego. Revisen la tabla de logros (realizações) que genera el juego, comparen con sus registros y determinen quien tuvo mayor éxito.

b. Durante el juego revisen las gráficas y analicen las variables que influyen en el comportamiento del animal y la regulación de su temperatura corporal a partir de ellas:

1. Listen las acciones claves dentro de la estrategia de juego de quien alcanzó mayor éxito jugando.
2. Escriban qué variables han tenido mayor influencia en los resultados de cada uno y explique por qué.
3. Supongan que el protagonista del juego es un endotermo, intenten predecir el comportamiento de las gráficas que relacionan las variables.

En todos los casos, copie las gráficas que considere relevantes para explicar sus respuestas.

Actividad 6. Producir y expresar un modelo: Teniendo en cuenta lo discutido en clase sobre modelos, modelación y termorregulación en los animales, con su compañero, analicen, discutan y propongan un modelo sobre la termorregulación en animales que permita alcanzar el siguiente objetivo: *Explicar cómo regulan la temperatura corporal interna los vertebrados terrestres. En el modelo debe ser evidente la relación entre termorregulación y homeóstasis de manera que posibilite explicar por qué termorregulación es un mecanismo homeostático.*

Para elaborar su modelo tenga en cuenta, lo aprendido sobre termorregulación en las actividades anteriores y lo discutido sobre modelos y mecanismos:

1. Identifique el fenómeno, es decir aquello que el mecanismo hace.
2. Determine si es necesario dividir el fenómeno en varios fenómenos diferentes.
3. Identifique los componentes del mecanismo y sus actividades.
4. Detecte la organización del mecanismo, es decir cómo los componentes y las actividades están organizadas. Se sugiere identificar una organización lineal o central y luego adicionar elementos.
5. Defina mentalmente un modelo, registre en este espacio ideas sobre el modelo a construir.
6. Elijan una forma de representación para expresar su modelo mental. Puede plasmar el modelo en este espacio, si el medio de representación elegido se ajusta o informar al profesor sobre los materiales requeridos para elaborar su modelo.

Actividad 7. Llevar a cabo experimentos mentales y ajustar el modelo. Revisen si su modelo es coherente con el objetivo propuesto. Para ello se sugieren algunas actividades:

A. Suponga que explicarán a un grupo sobre termorregulación en vertebrados terrestres usando su modelo, analice las posibles preguntas que formularan sus compañeros y si pueden ser resueltas usando el modelo que proponen.

- Revise también su modelo a la luz de lo discutido en las actividades anteriores, lo observado en el juego así como lo planteado en la lectura de apoyo.
- Escriba las posibles preguntas que pueden formular y cómo las resolvería usando su modelo.
- Intente testarlo a partir de otras preguntas, acá se sugieren algunas:
 1. ¿En su modelo se identifican las diferentes respuestas de los vertebrados ante las variaciones de su temperatura interna por fuera de los rangos de tolerancia específicos?
 2. ¿Qué respuestas fisiológicas son representadas?
 3. ¿Su modelo permite ver con claridad los órganos y sistemas que intervienen en la termorregulación?
 4. ¿Su modelo permite ver con claridad las relaciones entre los órganos, sistemas, comportamientos y fenómenos físicos que intervienen en la termorregulación?

5. ¿Por qué a través del modelo se puede entender que la termorregulación está asociada con la homeóstasis? ¿Cuáles son las fortalezas del modelo?
6. ¿Qué debe ser modificado en el modelo? ¿Por qué?

Nota al profesor: es importante que las preguntas propuestas sean empleadas para mediar la actividad y no que sean entregadas a cada estudiante para que las resuelva sin una orientación. Es prioritario que se favorezca la formulación de preguntas.

C. Hagan los ajustes que consideren necesarios para su modelo; si consideran pertinente, pueden hacer sub modelos. Recuerden que un mecanismo puede estar formado por otros sub mecanismos. Revisen si los componentes han sido identificados con claridad, también las actividades de cada uno y las relaciones entre ellos.

D. Socialicen su modelo con otro grupo de trabajo, analicen y discutan los modelos propuestos por los dos grupos. A partir de ello, hagan otros ajustes si lo consideran necesario. Escriban qué aspectos deben ajustar y expliquen por qué.

Actividad 8. Evaluar el modelo. Planear y ejecutar experimentos. Hacer ajustes (grupos de 4 estudiantes)

Objetivo: Diseñar y/o realizar experimentos que permitan evaluar el poder explicativo de su modelo para ajustarlo y presentarlo en grupo. Esta actividad comprende dos experimentos:

A. Termorregulación en endotermos. La actividad pretende probar el modelo que ustedes han propuesto para explicar la regulación de la temperatura corporal en endotermos a partir de situaciones cotidianas. Actividad: ¿Hace calor aquí? (Adaptado de: Dean et al. 2014). Actividad 8A del primer prototipo.

B. Termorregulación en ectotermos. Deben proponer una actividad experimental para testear el modelo usando el videojuego. Es necesario que se detalle la secuencia de actividades, así como los datos que se deben recolectar y que hagan uso de las gráficas que se genera el videojuego.

Adicionalmente se proponen unas situaciones que puede usar en caso de que no logren proponer un experimento. Si es este el caso, debe explicar por qué no logró proponerlo, cuáles fueron las principales dificultades.

- a. Analice las siguientes situaciones propias de una sesión de juego con Calangos y explíquelas usando su modelo.





b. Programe el juego para una sesión de ocho minutos en nivel de dificultad medio y edad adulta. Genere los siguientes grupos de gráficas para que establezca comparaciones entre ellas y explique cada caso usando el modelo propuesto.

- Temperatura interna e hidratación.
- Temperatura interna, alimentación y gasto energético.
- Temperatura interna vs temperatura del suelo y temperatura del aire.

Nota al profesor: es necesario que se generen espacios de discusión de los resultados del primer experimento se compare con lo propuesto para los ectotermos.

C. Registren en este espacio los ajustes que harán en su modelo a partir de lo observado en la actividad experimental. Hagan los ajustes y preparen su modelo para socializarlo con los demás compañeros de la clase.

Actividad 9. Socializar los modelos. Cada grupo expone su modelo al resto de la clase. El docente debe orientar la discusión sobre el poder explicativo de cada modelo. Una vez los estudiantes hayan presentado sus modelos, el profesor presentará el modelo didáctico sobre termorregulación que se desarrolló en la presente investigación (Figura 3, página 49) y guiará hacia la posible consolidación de uno o varios modelos consensuados en a nivel de todo el grupo.