

Un modelo de investigación en didáctica de la programación

Autor:

Federico Gómez

Instituto de Computación – Facultad de Ingeniería

Universidad de la República

Montevideo, Uruguay

fgfrois@fing.edu.uy

Noviembre 2021

Supervisora y orientadora:

Dra. Sylvia da Rosa

Instituto de Computación – Facultad de Ingeniería

Universidad de la República

Montevideo, Uruguay

darosa@fing.edu.uy

Revisor:

Dr. Javier Blanco

Facultad de Matemática, Astronomía, Física y Computación

Universidad Nacional de Córdoba

Córdoba, Argentina

blanco@famaf.unc.edu.ar

Capítulo 2

Marco teórico para el modelo: La teoría epistemológica de Jean Piaget

En este capítulo se introduce la teoría epistemológica de Jean Piaget como marco teórico para el modelo de investigación propuesto en este trabajo. La teoría explica el proceso de construcción de conocimiento, en particular conocimiento *científico*, dando descripciones detalladas de los mecanismos y herramientas cognitivas que intervienen en dicha construcción. Es aplicable a todos los dominios de conocimiento científico y en todos los niveles de desarrollo. La teoría, denominada *Epistemología Genética*, tiene como punto central explicar cómo se da la transición desde un nivel de conocimiento hacia otro nivel de más conocimiento [71]. En este sentido, en el resto del trabajo se usa, en múltiples ocasiones, la palabra *conceptualización* como sinónimo de dicha transición (aunque en otros contextos puede no tener el mismo significado).

Los datos que dan sustento a la teoría provienen principalmente de dos fuentes. Por un lado, de estudios empíricos llevados a cabo por Piaget sobre la construcción de conocimiento por parte de los sujetos, desde el nacimiento y hasta la adolescencia, los cuales dieron origen a la *psicología genética* de Piaget [14, 15, 17]. Por otro lado, de un *análisis crítico de la historia de las ciencias*, elaborado por Piaget y García, para investigar el origen y desarrollo de las ideas, conceptos y teorías científicas. En [13], los autores presentan una síntesis de sus investigaciones y brindan una perspectiva de sus explicaciones acerca de la construcción del conocimiento. Encuentran un posible paralelismo entre los mecanismos de desarrollo psicogenéticos relacionados con la evolución de la inteligencia en los niños y el desarrollo sociogenético sobre la evolución de las ideas y teorías principales en diversos dominios de la ciencia. A lo largo de los capítulos, presentan ejemplos de este paralelismo relativos a la historia del álgebra, la geometría, la mecánica y el conocimiento de la física en general.

La teoría establece ciertos paralelismos entre los mecanismos generales que permiten pasar de una forma de conocimiento a otra, tanto en la psicogénesis como en la evolución histórica de las ideas y las teorías científicas, donde la noción más importante de dichos mecanismos es la tríada de etapas, llamadas *intra*, *inter* y *trans* por Piaget y García. A grandes rasgos, la tríada explica el proceso de construcción del conocimiento mediante el paso de una primera etapa enfocada en objetos aislados (etapa *intra*), a otra que toma en cuenta las relaciones entre los objetos y sus transformaciones (etapa *inter*), lo que lleva a la construcción de estructuras generales

que involucran los elementos generalizados y sus transformaciones (etapa *trans*), integrando las construcciones de las etapas previas como casos particulares.

En la sección 2.1 se describen brevemente los principios básicos de la teoría y sus fuentes. En la sección 2.2 se presenta un componente central de la teoría: la *ley general de la cognición*. En la sección 2.3 se enumeran las *herramientas cognitivas* que intervienen en el proceso de construcción del conocimiento. En la sección 2.4 se describe la *tríada de etapas (intra, inter y trans)*. Finalmente, en la sección 2.5 se introduce el modelo de investigación en didáctica de la programación, propuesto en base al marco teórico dado por las secciones anteriores.

2.1 Principios básicos y fuentes de la teoría

En la Teoría de Piaget, el conocimiento humano se considera esencialmente activo. Según dice el propio Piaget en [71]: *knowing an object does not mean copying it - it means acting upon it. It means constructing systems of transformations that can be carried out on or with this object (conocer un objeto no significa copiarlo - significa actuar sobre él. Significa construir sistemas de transformaciones que pueden ser llevadas a cabo con o sobre dicho objeto, t.d.a)*.

Piaget sostiene que el conocimiento, en particular el conocimiento científico, no es estático, sino que está en constante evolución. Según Piaget, el conocimiento en cualquier área científica no se *adquiere*, sino que se *construye* en forma progresiva, en un proceso de construcción y reorganización continua. La teoría no se ocupa de estudiar el significado del conocimiento en sí mismo, sino sus mecanismos de construcción. Esta postura representa un cambio importante respecto de la forma en la cual se estudiaba el problema del conocimiento previo a la Epistemología Genética. Según dice García en [8], su estudio era competencia de la *filosofía especulativa* antes de su "derrumbe" a inicios del siglo XX. García proporciona explicaciones detalladas de los intrincados sucesos históricos que, en cierta forma, "quitaron" a la filosofía el estudio del problema del conocimiento y lo instalaron en el campo de la ciencia, posibilitando así el surgimiento de la *Epistemología Genética* como una teoría científica que explica la construcción del conocimiento. En el marco de dicha ruptura, el conocimiento deja de considerarse una noción existente *a priori* y pasa a considerarse como una que se *construye*, tanto a nivel del sujeto (*psicogénesis*) como del desarrollo histórico (*análisis crítico*).

La teoría plantea que la construcción del conocimiento constituye un proceso cognitivo continuo. Provee un modelo aplicable al estudio de la construcción de conocimiento científico en todos los dominios y en cualquier etapa del desarrollo. Explica la construcción a partir de los orígenes psicológicos de las nociones y operaciones elementales en las que se basa el conocimiento, de su historia y de su sociogénesis. El conocimiento se construye a través de un proceso continuo de interacción con el medio, cuyas fuentes son las acciones sobre lo concreto que, por medio de la reflexión, se transforman en operaciones en el plano del pensamiento. Todo el proceso se

desarrolla de manera gradual y dialéctica, sin que existan límites claramente demarcados entre una etapa y la siguiente. Se trata de una transición permanente, proactiva y retroactiva, en la cual hay una reorganización continua del pensamiento y de las ideas relativas al conocimiento que se está construyendo.

La *Epistemología Genética* estudia y explica los mecanismos de transición desde un estado de menor hacia otro estado de mayor conocimiento. Las nociones de "menor" y "mayor" tienen connotaciones formales inherentes a la propia naturaleza del dominio de conocimiento que se está construyendo. Es decir, no compete a esta teoría determinar si un determinado estado de conocimiento es superior o inferior a otro, sino a la propia disciplina a la cual corresponden dichos estados (matemática, física, biología, etc.). La teoría explica el proceso de construcción de conocimiento en forma independiente de su naturaleza científica específica. En palabras del propio Piaget en [71]: *We can formulate our problem in the following terms: by what means does the human mind go from a state of less sufficient knowledge to a state of higher knowledge? (podemos formular nuestro problema en los siguientes términos: mediante qué mecanismos pasa la mente humana de un estado de conocimiento menos suficiente a otro estado de mayor conocimiento?, t.d.a).*

Las dos fuentes de las cuales se nutre la teoría son la *psicología genética* y el *análisis crítico de la historia de las ciencias*. La *psicología genética* [14, 15, 17] estudia los mecanismos mentales que llevan a la construcción de conocimiento en el sujeto. Surgió con el objetivo de constituir un programa de investigaciones para el análisis de dichos mecanismos mentales, mediante los cuales se construye conocimiento en general y conocimiento científico en particular. Piaget buscó de esta manera obtener evidencia empírica para su teoría epistemológica. De acuerdo con García en [75], al plantearse el estudio del problema del conocimiento, Piaget recurre a la realización de estudios con niños y adolescentes, lo cual resulta novedoso para la época. Tales estudios permiten ver de qué forma el niño empieza a construir conceptos tales como espacio, tiempo o número, así como una lógica que contiene la semilla de las formas más elementales de razonamiento. Según García, la teoría establece que la construcción es continua en el sentido de que no hay discontinuidad en los instrumentos constructivos, lo cual es aplicable a cualquier persona, desde un niño hasta un científico. Establece que la forma en que un niño construye conocimiento no es diferente a la forma en que lo hace un joven, un adulto no "corrompido" por la ciencia, o un científico.

Respecto del *análisis crítico de la historia de las ciencias* [13], Piaget y García introducen dicha expresión con el fin de designar con precisión el tipo de material histórico requerido para un análisis epistemológico del desarrollo del conocimiento científico. No interesó a los autores realizar una cronología del desarrollo de la ciencia, sino más bien un estudio comparativo de los procesos que llevaron a la construcción del conocimiento científico en diversas civilizaciones y contextos socioculturales y económicos. La interpretación de dicho material histórico constituye una base fundamental para entender todo aquello que, posteriormente, fue catalogado como actividad científica y qué papel cumple en la construcción de conocimiento.

En resumen, la teoría propone explicaciones sobre cómo la humanidad construye conocimiento científico, tanto a nivel de los sujetos (*psicología genética*), como a nivel del desarrollo histórico de las ciencias (*análisis crítico de la historia de las ciencias*). El presente trabajo pone el foco en la construcción de conocimiento a nivel de los sujetos, pues busca investigar cómo es que las personas construyen conocimiento relativo a conceptos de programación. En particular, para explicar la construcción de conocimiento en los sujetos, la teoría formula una ley denominada *ley general de la cognición*, que se describe en la siguiente sección.

2.2 Ley general de la cognición

El problema principal del desarrollo cognitivo consiste en determinar el papel de la experiencia y las estructuras operativas del sujeto y en examinar los instrumentos mediante los cuales el conocimiento se ha construido en forma previa a su formalización. Este problema fue estudiado en detalle por Piaget en sus experimentos sobre construcción de conocimiento desde el nacimiento y hasta la adolescencia (dando lugar a la *psicología genética*), en base a cuyos resultados formuló la ley general de la cognición [14]. La misma regula la relación entre el conocimiento y su construcción, generada en la interacción entre el sujeto y los objetos que manipula para resolver problemas o llevar a cabo tareas. Tales objetos pueden ser físicos (por ejemplo, un juguete) o abstractos (por ejemplo: la noción de número). Se trata de una relación dialéctica en la que, a veces, las acciones guían el pensamiento y, otras veces, el pensamiento guía las acciones.

La teoría establece que la fuente del conocimiento se remonta a las acciones del sujeto en interacción con objetos en su medio. Tales acciones constituyen un conocimiento en el plano de la acción, un *saber hacer* sobre los objetos. Tras un proceso reflexivo y nuevas interacciones, las acciones son progresivamente interiorizadas y se transforman en conceptos, dando lugar a lo que Piaget denomina *operaciones* (acciones en el plano del pensamiento). La teoría da cuenta de la continuidad en el proceso de construcción de conocimiento, desde conceptos básicos hasta conceptos complejos, en un proceso regulado por la ley general de la cognición, (también conocida como ley de la toma de conciencia). Los mecanismos que intervienen en la construcción del conocimiento son siempre los mismos (ya sea que se trate de un niño construyendo la noción de número o bien de un matemático investigando una sofisticada teoría nueva). La teoría explica dichos mecanismos y cómo actúan en el proceso de construcción. Piaget ilustra la ley general de la cognición mediante el siguiente diagrama:

$$C \leftarrow P \rightarrow C'$$

donde P es lo que Piaget llama la *periferia* y C y C' lo que llama *centros*. La periferia es la reacción más inmediata y externa del sujeto al confrontar los objetos para resolver un problema o realizar una tarea. Esta reacción se asocia a la búsqueda de un objetivo y al logro de resultados, sin que haya ninguna reflexión sobre cómo se logra el objetivo y por qué lo que se hace funciona (o no funciona). La transición $P \rightarrow C$ representa el

proceso de conceptualización de la coordinación de las acciones realizadas sobre los objetos manipulados (centro C), mientras que la transición $P \rightarrow C'$ representa el proceso de conceptualización de los cambios que tales acciones imponen a los objetos, así como sus propiedades intrínsecas (centro C'). El proceso de transición de P a los centros, representado por las flechas, es gradual y dialéctico, y desemboca en la construcción de los conceptos. Es un proceso de toma de conciencia de métodos y razones donde los elementos *inconscientes* se vuelven *conscientes*.

Las transiciones hacia C y C' explican la conceptualización de las acciones realizadas y de los cambios que ellas producen sobre los objetos. En este proceso, el sujeto utiliza un objeto para un determinado fin y toma nota del resultado (a nivel inconsciente), asimilando el mismo a un esquema mental previo a la utilización del objeto. Esto desencadena que inicialmente no sea capaz de explicar cómo hizo lo que hizo con el objeto y su primera reacción inconsciente es atribuir el resultado a las propiedades del objeto. Progresivamente, las acciones realizadas y la reflexión sobre las mismas generan una reestructura de su esquema mental. Conforme esto sucede, el sujeto comprende que son sus acciones las que generan efectos sobre el objeto, lo cual le permite construir conocimiento. Deja de atribuir los efectos a las propiedades del objeto y comprende que dichos efectos son consecuencia de las acciones. Este proceso se explica por las herramientas cognitivas que se describen en la siguiente sección.

Los mecanismos por los cuales el esquema mental del individuo se reestructura se denominan *asimilación y acomodación* [15]. La asimilación consiste en amoldar los hechos constatados en el plano de la acción al esquema mental del sujeto, lo cual produce un desequilibrio en dicho esquema. Este desequilibrio lleva a un proceso de acomodación, que implica una reestructura del esquema mental que posibilita la integración de los hechos constatados en la acción, generando así un nuevo esquema mental. La asimilación y la acomodación son mutuamente indisolubles, se dan en forma permanente y simultánea y ocurren en la construcción de conocimiento de cualquier índole y en todo nivel.

2.3 Herramientas cognitivas

Piaget describe dos herramientas cognitivas que intervienen en el proceso de la toma de conciencia regulado por la ley general de la cognición, denominadas *abstracción* (en sus dos formas: *empírica y reflexiva*) y *generalización* (también en dos formas: *inductiva y constructiva*) [14, 15, 16, 17]. En la sección 2.3.1 se describen las dos formas de la abstracción y en la sección 2.3.2 se describen las dos formas de la generalización. Luego, en la sección 2.3.3 se detalla cómo ambas herramientas cognitivas explican la construcción de nuevo conocimiento. Junto con las descripciones, se proponen algunos ejemplos concretos para ilustrar las mismas.

2.3.1 Abstracción (empírica y reflexiva)

La *abstracción empírica* consiste en la abstracción de lo percibido por el sujeto a partir de los objetos. Se trata de la extracción de características comunes a una clase de objetos a partir de las características observadas en un objeto concreto. Es un primer nivel de abstracción, que surge de lo inmediato en la interacción con objetos concretos. Inicialmente, el sujeto intenta naturalmente asimilar dicha interacción concreta como algo general a su esquema mental. Su primer impulso inconsciente es construir relaciones generales, en el plano del pensamiento, a partir de las relaciones concretas experimentadas en el plano de la acción. Cuando el sujeto realiza alguna tarea con un objeto y tiene éxito (o no), inicialmente atribuye el éxito (o el fracaso) a las propiedades del objeto, sin tomar en cuenta las acciones que ha realizado sobre el mismo.

La *abstracción reflexiva* es un proceso doble. En primer lugar, constituye una transposición al plano del pensamiento de relaciones establecidas en el plano de la acción. Las coordinaciones concretas logradas en el plano de la acción se convierten en coordinaciones inferenciales a nivel del pensamiento. Este proceso puede ser más o menos lento, porque implica reconstruir en el último las relaciones establecidas en el primero. Qué tan lento (o no) sea depende de cada sujeto así como de su contexto. Según Coll y Miras en [26], el desarrollo cognitivo depende de cuatro tipos de factores especificados por Piaget (biológicos, de equilibrio, de intercambio entre individuos y de transmisión educativa y cultural). En el plano de la acción, la coordinación se logra por ensayos sobre el conjunto de resultados posibles, los que permiten seleccionar inconscientemente los resultados favorables. En el plano del pensamiento, en cambio, la coordinación inferencial debe construirse generalizando todas las acciones posibles y ubicando a la acción actual en ese conjunto de posibilidades.

En segundo lugar, la abstracción reflexiva es una reconstrucción, en el plano del pensamiento, de las relaciones establecidas en el plano de la acción. Esta reconstrucción agrega un nuevo elemento: la comprensión de las condiciones y las motivaciones, generada por lo que Piaget llama la *búsqueda de razones de éxito (o falla)* [14]. Esta comprensión coloca el caso de éxito como uno más entre los casos posibles realizables en condiciones similares. Al realizar una tarea, el sujeto ya no atribuye el éxito (o el fracaso) de la misma a las propiedades del objeto, sino que comprende que son las acciones realizadas las que producen efectos sobre el mismo.

Para ilustrar las dos formas de abstracción, se brinda el siguiente ejemplo concreto. Supóngase un niño que empuja un juguete sobre una mesa y éste cae al suelo. El primer impulso del niño es pensar que "*se cayó porque es pesado*" (*abstracción empírica*). Tras múltiples interacciones con el juguete, el niño asimila que es su acción sobre el objeto la que genera el cambio de estado, y no la propiedad de "*ser pesado*". Llega un punto en que ya no piensa que "*se cayó porque es pesado*", sino que "*se cayó porque yo lo empujé*" (*abstracción reflexiva*). El caso de éxito en este ejemplo está dado por la caída del juguete cuando es empujado. El niño reconstruye mentalmente la acción realizada

y logra así concientizar que la acción aplicada por él sobre el objeto es la que genera un cambio de estado en el mismo.

2.3.2 Generalización (inductiva y constructiva)

Piaget denomina *generalización inductiva* a un proceso mediante el cual el sujeto intenta generalizar, hacia otros problemas nuevos, el conocimiento construido en un problema anterior, sin tener en cuenta las características del nuevo problema. Al enfrentar un nuevo problema que presenta similitudes y diferencias con respecto al anterior, el individuo intenta aplicar (de forma inconsciente) el conocimiento construido en ese problema previo. La generalización inductiva consiste solamente en transferir hacia el nuevo problema los hechos o relaciones constatados en el problema anterior. Constituye una generalización de "algunos" a "todos" en la cual se suman ideas preconcebidas, traídas del problema anterior, que falsean la lectura que el sujeto hace del nuevo problema. Esto provoca un desequilibrio de su esquema mental, que debe transformarse para alcanzar un nuevo equilibrio.

Piaget denomina *generalización constructiva* a un proceso que, a diferencia de la generalización inductiva, no consiste en asimilar nuevos contenidos a formas ya construidas, sino a engendrar nuevas formas y contenidos, que conducen a nuevas organizaciones estructurales, haciendo posible la construcción de conocimiento para el nuevo problema. Un proceso de inferencias y reflexiones sobre las acciones u operaciones del sujeto, mediante generalización constructiva, da lugar a nuevos métodos y posibilita construir nuevas estructuras. La generalización constructiva no implica una generalización de "algunos" a "todos", sino un proceso de adaptación que permite resolver el nuevo problema a partir del conocimiento construido a raíz del problema anterior, posibilitando la construcción de conocimiento nuevo, adaptado al nuevo problema.

Para ilustrar las dos formas de generalización, se propone la siguiente ampliación al ejemplo de la sección anterior. Una vez que el niño comprende que el juguete se cae al empujarlo, empuja luego una pared, esperando inconscientemente el mismo resultado: que la pared se caiga (*generalización inductiva*). Tiene la idea preconcebida de que cualquier objeto se mueve cuando se lo empuja. Constatar que la pared no se mueve al empujarla, como sí ocurre con el juguete, genera un desequilibrio en su esquema mental. El caso de éxito en este ejemplo habría sido que la pared se moviera, tal como sucede con el juguete. Ante la falla, el niño eventualmente llega a comprender que no todo objeto se mueve al empujarlo. Concluye que no alcanza con empujar un objeto para que se mueva, sino que hay otros factores que lo impiden, por ejemplo, que la pared está adherida a la casa (*generalización constructiva*).

2.3.3 Herramientas cognitivas y construcción de conocimiento

La *abstracción empírica* y la *generalización inductiva* permiten realizar constataciones en el plano de la acción pero no permiten construir conocimiento nuevo por sí solas. La *abstracción reflexiva* y la *generalización constructiva* hacen posible la toma de conciencia de la coordinación de las acciones y de los cambios que imponen a los objetos involucrados, procediendo de la periferia a los centros (en el marco de la ley general de la cognición). Posibilitan la construcción de nuevas formas y nuevos contenidos, construyendo así conocimiento nuevo. La *abstracción reflexiva* lo explica para el caso de situaciones puntuales, en tanto la *generalización constructiva* lo explica a nivel de nuevas situaciones. La combinación de ambas herramientas cognitivas explica la expansión en la construcción de conocimiento por parte del sujeto, permitiendo la apertura a la construcción de nuevas formas de conocimiento.

En la distinción entre *abstracción empírica* y *abstracción reflexiva* es que se construye conocimiento sobre un problema dado. A partir de la coordinación de las acciones realizadas sobre el objeto, el sujeto pasa a un nivel de representación mental de tales acciones. La *abstracción reflexiva* consiste en relacionar dichas representaciones en un todo ordenado. Así como los procesos de asimilación y acomodación son mutuamente indisolubles, la *abstracción empírica* y la *abstracción reflexiva* no se dan de manera aislada y por separado, sino que por momentos predomina una y por momentos predomina la otra. Ambas formas de *abstracción* se dan en forma gradual y dialéctica, siendo la *abstracción reflexiva* la que posibilita reestructurar el esquema mental del sujeto, conduciendo así a la construcción de conceptos. En el marco de este proceso es que opera la ley general de la cognición.

Para ilustrar el vínculo entre las dos formas de *abstracción* y la ley general de la cognición, se considera nuevamente el ejemplo del niño de las dos secciones anteriores. Inicialmente, cuando el niño empuja el juguete y atribuye el resultado a la propiedad de "ser pesado" (*abstracción empírica*) su pensamiento está en la periferia (P). Posteriormente, se traslada progresivamente hacia los centros C y C'. El centro C está dado por la comprensión de que la acción aplicada sobre el juguete genera el cambio de estado. El centro C' está dado por la comprensión de que tiene la propiedad de "ser pesado", pero que por sí sola no basta para producir movimiento en el objeto, sino que es la acción de empujarlo la que genera el cambio (*abstracción reflexiva*).

De la misma forma, la distinción entre *generalización inductiva* y *generalización constructiva* permite construir conocimiento sobre un nuevo problema a partir del conocimiento construido sobre un problema anterior. Nuevamente, la ley general de la cognición opera en este nuevo proceso. El conocimiento construido anteriormente constituye la periferia (P) en el nuevo problema. A partir de ese punto, el pensamiento inicia nuevas transiciones hacia centros C y C' enmarcados en el contexto del nuevo problema. Para ilustrar esto, se retoma nuevamente el ejemplo del niño, quien inicialmente cree que la pared, como el juguete, se caerá tras empujarla (*generalización inductiva*). Esto constituye la periferia (P) del nuevo problema. El centro C está dado

por la comprensión de que la acción de empujar la pared no es suficiente para moverla, mientras que el centro C' está dado por la comprensión de que la pared se encuentra adherida a la casa, lo que impide que se mueva a pesar de la acción ejercida (*generalización constructiva*). El niño comprende finalmente que no cualquier objeto se mueve tras ser empujado. El conocimiento construido en la situación previa sirve como base para la construcción de nuevo conocimiento.

2.4 Tríada de etapas: *intra*, *inter* y *trans*

Como se indica al inicio del capítulo, la noción más importante que describe los mecanismos generales de pasaje de un nivel de conocimiento considerado inferior a otro nivel superior es la denominada tríada de etapas *intra*, *inter* y *trans* por parte de Piaget y García [13]. De acuerdo con ellos, el conocimiento (cualesquiera sean su dominio y nivel de desarrollo) se construye pasando por una primera etapa enfocada en objetos aislados (etapa *intra*), pasando luego por una segunda etapa que toma en cuenta relaciones entre dichos objetos y sus transformaciones (etapa *inter*) y llegando a una tercera etapa en la cual se construye un esquema general que involucra tanto los objetos generalizados como sus transformaciones (etapa *trans*).

De acuerdo con la teoría, el pasaje de cada etapa a la siguiente es gradual y dialéctico, ocurre en cualquier dominio de conocimiento y en cualquier nivel de desarrollo. El pasaje ocurre tanto a nivel de la construcción de conocimiento por parte del sujeto (*psicogénesis*), como a nivel del desarrollo del conocimiento científico por parte de la humanidad (*análisis crítico de la historia de las ciencias*). En el primer caso, se trata del pasaje individual que el pensamiento de cada persona realiza por las tres etapas durante su proceso de construcción sobre cualquier área en particular. Por ejemplo, cómo una persona construye conocimiento sobre termodinámica. En el segundo caso, se trata de la evolución del conocimiento de cada disciplina científica a nivel global, en el marco del desarrollo histórico de la misma. Por ejemplo, cómo evolucionó la termodinámica como disciplina científica a lo largo de la historia. El modelo que se propone en el presente trabajo se concentra en el primer caso, ya que busca estudiar cómo los sujetos construyen conocimiento relativo a temas de programación. Es decir, cómo su pensamiento transita por las tres etapas de la tríada durante el proceso.

Según Piaget y García, la tríada constituye la expresión de las condiciones que los mecanismos de asimilación y acomodación imponen a toda construcción de conocimiento. A partir de la interacción de un sujeto con objetos aislados (etapa *intra*) se produce un desequilibrio en su esquema mental que lo lleva a un proceso de acomodación. Los hechos constatados en la interacción con objetos concretos se asimilan a su esquema mental anterior, construyendo así un nuevo esquema mental. En forma gradual y dialéctica, esta reestructura da paso a la construcción de relaciones entre los objetos manipulados y a la caracterización de los cambios sufridos por tales objetos a raíz de la manipulación (etapa *inter*). Posteriormente, otro proceso de asimilación y acomodación (nuevamente gradual y dialéctico) lleva al sujeto a una nueva modificación de su esquema mental para construir estructuras generales (etapa

trans), en las cuales los hechos específicos inicialmente constatados al manipular objetos concretos se integran como casos particulares de dichas estructuras generales.

Desde la perspectiva psicogenética, cada etapa de la tríada refiere al nivel de conocimiento del sujeto en cada una, los mecanismos que describen cómo pasa de una etapa a la siguiente se explican por la *ley general de la cognición* (sección 2.2) y en cada pasaje intervienen las herramientas cognitivas: *abstracción* y *generalización* (sección 2.3). La etapa *intra* refiere al conocimiento en el plano de la acción al manipular objetos concretos. La etapa *inter* refiere al conocimiento que se conceptualiza a partir de este, donde las acciones se transforman en operaciones en el pensamiento. La etapa *trans* refiere al conocimiento que se generaliza a partir del saber conceptualizado y se integra en estructuras mentales generales.

Piaget y García proponen en [13] explicaciones detalladas de la naturaleza de cada etapa de la tríada tanto en el campo de la física (por ejemplo, involucrando nociones como fuerza, peso, calor, etc.) como del conocimiento lógico-matemático (por ejemplo, nociones como número, conjunto, etc.). Más allá de las diferencias inherentes a cada dominio del conocimiento, concluyen que el pasaje por las tres etapas se da en toda construcción de conocimiento científico, sin importar si se trata de ciencias naturales o exactas. También detallan cómo operan las herramientas cognitivas: *abstracción (empírica y reflexiva)* y *generalización (inductiva y constructiva)* durante el proceso de construcción en cualquier dominio científico. Brindan ejemplos relativos a la construcción de nociones vinculadas a ciencias naturales (por ejemplo: peso y velocidad en física) y a ciencias exactas (por ejemplo: área y distancia en geometría). Sin importar la naturaleza específica del conocimiento, concluyen que ambas herramientas cognitivas siempre intervienen en todo el proceso de construcción.

Un aspecto importante es que el pasaje de cada etapa de la tríada a la etapa siguiente no se caracteriza por un incremento en el volumen de conocimientos construidos respecto a la etapa anterior, sino por un proceso de reorganización del esquema mental del individuo. El desarrollo cognitivo no se da por acumulación de conocimientos, sino que implica, en cada nivel, una reconstrucción de lo conceptualizado en el nivel anterior. Se trata de una reorganización de conocimientos a la luz de nuevos elementos y de una reinterpretación de los conocimientos de base previamente construidos.

La transición de cada etapa a la siguiente se da de manera gradual y dialéctica y forma parte de un proceso que no culmina tras haber construido determinado conocimiento en particular sino que se repite permanentemente. Esto posibilita la construcción de nuevo conocimiento en niveles superiores. Este proceso se puede pensar como una secuencia de muchas tríadas *intra-inter-trans* encadenadas, una a continuación otra, en un proceso continuo que no termina. Las estructuras que un sujeto construye al alcanzar la etapa *trans* vinculada a la construcción de un conocimiento determinado dan paso a su vez a una nueva etapa *intra* correspondiente a un nivel de conocimiento superior, la que a su vez conducirá a una nueva etapa *inter*, a una nueva etapa *trans*, y así sucesivamente.

Para ilustrar la tríada de etapas, se propone como ejemplo hipotético un niño que cuenta piedritas repartidas en dos montones, habiendo tres piedritas en el primer montón y cinco en el segundo. Cuenta las del primer montón y luego las del segundo y posteriormente lo hace al revés. En ambos casos, obtiene como resultado ocho piedritas. El niño manipula objetos concretos (las piedritas) y realiza una operación específica sobre ellas (las cuenta). Constata, en el plano de la acción, que la suma es una operación conmutativa, pero aún no tiene conceptualizada dicha propiedad como algo general. Su pensamiento está en la etapa *intra*. Piensa en piedritas y no en números. La etapa *intra* supone el análisis de casos particulares no vinculados entre sí, o vinculados de manera insuficiente. El niño cuenta inicialmente piedritas, pero también cuenta otros objetos en otros momentos, como ser juguetes o lápices. En todos los casos, constata en el plano de la acción el cumplimiento de la propiedad conmutativa de la suma, pero siempre trabajando con los objetos concretos y sin tener conciencia aún de que se trata de una propiedad general que trasciende a dichos objetos concretos. En forma progresiva, su esquema mental pasa por un proceso de acomodación y asimila que puede contar las piedritas empezando por cualquiera de los dos montones y obtener el mismo resultado.

Las operaciones concretas inicialmente constatadas en la acción se transforman luego en operaciones en el plano del pensamiento. El niño comprende que siempre que cuente las piedritas, obtendrá el mismo resultado tras contarlas en cualquier orden, sin necesitar volver a realizarlo expresamente con piedritas concretas. Lo mismo sucede con las cuentas de otros objetos. En todos los casos, reconstruye dichas cuentas a nivel del pensamiento, logrando abstraerse de la manipulación de objetos específicos (etapa *inter*) pero sin integrarlos aún a un esquema general aplicable a todos los casos. Más adelante, el niño comprende que contar objetos de cualquier tipo, sin importar en qué orden lo haga, produce siempre el mismo resultado, aun cuando se trate de objetos concretos que nunca ha contado expresamente, llegando eventualmente a comprender que siempre que sume dos números cualesquiera, obtiene el mismo resultado, sin importar en qué orden sume. Generaliza finalmente la propiedad conmutativa de la suma (etapa *trans*), habiendo integrado la interacción inicial con objetos concretos (piedritas, juguetes o lápices) como casos particulares. Todo el proceso (desde la interacción con las piedritas hasta la construcción de la noción de conmutatividad de la suma) es gradual y dialéctico y se explica por la ley general de la cognición. En él intervienen las herramientas cognitivas mencionadas en la sección anterior. A su vez, este conocimiento sobre la propiedad conmutativa de la suma será la base para que el niño construya nuevo conocimiento relativo a, por ejemplo, la conmutatividad de otras operaciones, como ser la multiplicación. Dicho conocimiento previo formará parte de una nueva etapa *intra* vinculada a la construcción de conocimiento nuevo. Su pensamiento pasará luego por una nueva etapa *inter* y llegará eventualmente a una nueva etapa *trans*, construyendo así conocimiento sobre la propiedad conmutativa de la multiplicación.

2.5 Modelo de investigación en didáctica de la programación

El modelo de investigación en didáctica de la programación que se propone en este trabajo constituye una síntesis de múltiples investigaciones realizadas y procura contribuir a explicar cómo las personas construyen conocimiento sobre conceptos de programación. Se basa en la aplicación de diversos conceptos de la Teoría de Piaget, destacando entre ellos la tríada de etapas *intra-inter-trans*. Para ello, el modelo interpreta cada etapa de la tríada en el campo específico de algoritmos, estructuras de datos y programas. Explora la relación entre el *saber hacer* en el plano de la acción (conocimiento *instrumental*, etapa *intra*) de los sujetos al resolver tareas, aplicando métodos asimilables a *instancias* concretas de algoritmos, el conocimiento que construyen en el plano del pensamiento (conocimiento *conceptual*, etapa *inter*) sobre los *algoritmos* aplicados y el conocimiento *formal* (etapa *trans*) sobre los *programas* que los implementan. El modelo estudia cómo el conocimiento en el primer nivel se transforma en conocimiento en los siguientes dos niveles. Esta interpretación de las tres etapas surge tras estudios empíricos llevados a cabo durante años de trabajo, incluyendo el que se presenta en el capítulo 3. Las palabras *instrumental*, *conceptual* y *formal* se introducen como terminología en el modelo para referir específicamente a conocimiento sobre programación y se utilizan para denotar, respectivamente, los niveles de conocimiento en las etapas *intra*, *inter* y *trans*.

En el contexto de la investigación sobre construcción de conocimiento relativo a conceptos de programación, el modelo interpreta que el conocimiento de todo sujeto en la etapa *intra* se evidencia por la aplicación de instancias concretas de algoritmos en el plano de la acción (tales como resolución de juegos, ordenación de objetos, búsquedas, etc.). Dicho conocimiento se construye por sucesivas repeticiones de la tarea. Por ejemplo, si se trata de un juego, el sujeto intenta jugar repetidas veces hasta que logra dominarlo en la acción, pero aún no expresa de manera consciente cómo lo resuelve. En la etapa *inter*, el conocimiento se evidencia por su capacidad para describir en lenguaje natural los algoritmos conceptualizados a partir de las instancias concretas iniciales y explicar por qué funcionan y producen el resultado esperado. En la etapa *trans*, el conocimiento se evidencia por su capacidad de formalizar dichos algoritmos en un lenguaje *formal*, mediante la escritura de *programas* que los implementan, junto con la habilidad de explicar cómo y por qué funcionan cuando se ejecutan en una computadora.