

HACIA UN PROGRAMA DE INVESTIGACIÓN DE LA ENSEÑANZA/APRENDIZAJE DE LA ARITMÉTICA ELEMENTAL A LA LUZ DEL EMPLEO DE CALCULADORAS ELECTRÓNICAS DE BOLSILLO

por

Antonio Fernández Cano

Departamento de Pedagogía. Area MIDE
Universidad de Granada

1. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

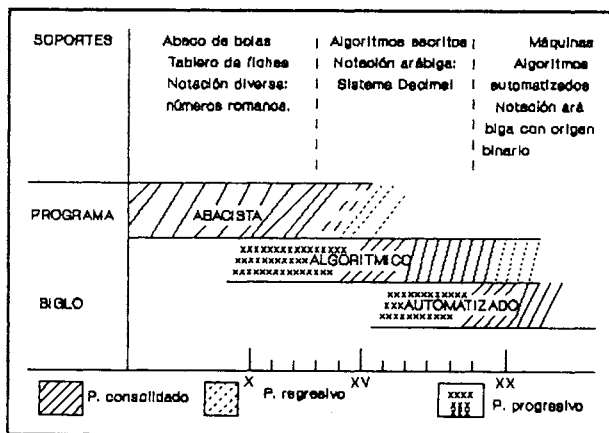
Asumiendo la conocida paráfrasis kantiana: «La filosofía de la ciencia sin la historia de la ciencia es vacía; la historia de la ciencia sin la filosofía de la ciencia es ciega» podemos dar una fundamentación teórica consistente y relevante al programa que se pretende caracterizar.

1.1. Histórica

Han existido tres momentos históricos en el desarrollo del cálculo aritmético: tres programas sucesivos y rivales que determinaron tres teorías específicas de la cuantificación (Boyer, 1968).

1.2. Filosófica

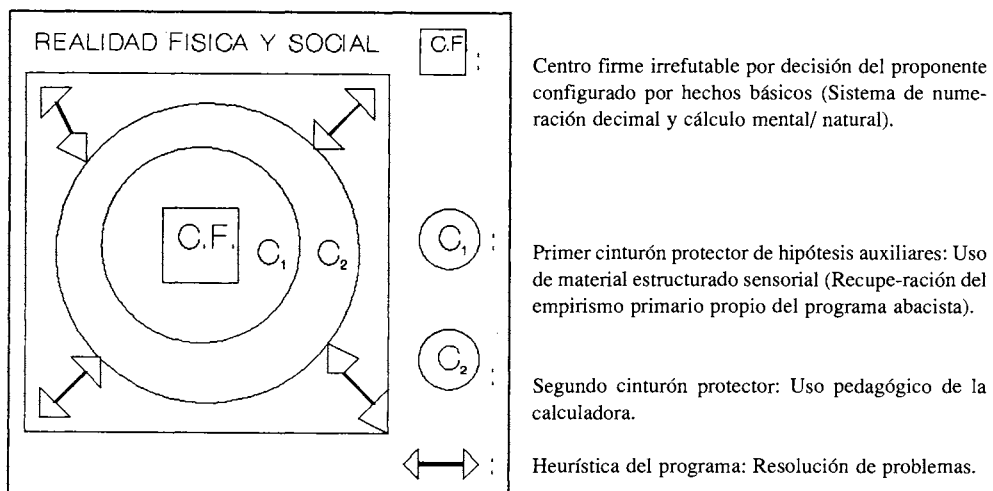
Lakatos (1983) aporta una normativa para evaluar programas de investigación en conflicto a partir de tres criterios:



- a) Crecimiento teórico: $P_1 > P_2$ si P_1 explica más elementos de la realidad que P_2 .
- b) Crecimiento empírico: si el exceso de contenido teórico de P_1 se ve contrastado por la realidad.
- c) Crecimiento heurístico: entendido en un doble sentido, valor propedeúico (de preparación/utilidad para la vida) y fuerza interna (que refuta las anomalías incorporándolas al propio programa mediante estrategias non ad hoc).

En un trabajo previo he intentado plasmar la caracterización y demarcaciones entre estos tres programas basándome en la criteriología lakatosiana (Fernández Cano, 1990).

Así, podríamos caracterizar un programa de investigación de la enseñanza/aprendizaje de la Aritmética elemental por cálculo automatizado (empleo universal de calculadoras simples) como un programa anidado dentro del programa general de cálculo automatizado conformado por:



2. RACIONALIDAD DEL PROGRAMA DE INVESTIGACIÓN DE LA ENSEÑANZA/APRENDIZAJE DE LA ARITMÉTICA ELEMENTAL POR CÁLCULO AUTOMATIZADO

1.2. Racionalidad interna

- A) El programa algorítmico de enseñanza/aprendizaje de la Aritmética ha entrado en degeneración manifiesta por cálculos no significativos, falta de vigor heurístico para la resolución de problemas, discalculias; en definitiva, «fracaso escolar en Matemáticas».
- B) El programa de cálculo automatizado que se manifiesta como progresivo puede engendrar su programa de enseñanza/ aprendizaje también progresivo. La situación actual de anclaje de la comunidad docente en tal programa algorítmico no debe entenderse con la visión kuhniana («la ciencia/ docencia normales oponen resistencia a los esfuerzos reiterados de los miembros más capaces del grupo dentro de cuya competencia entra» (Kuhn, 1975: 27) ni con la postura popperiana de carácter externalista («los científicos/ docentes no han aprendido a ser lo bastante críticos y revolucionarios como para falsar continuamente sus propuestas» (Popper, 1963: 239). Lakatos (1983: 166) aporta más luz cuando plantea la disyunción entre teoría anómala (programa algorítmico) y teoría alternativa progresiva (programa automatizado) pues ante la tesitura de no contar con una teoría alternativa, las anomalías se ignoran.

2.2. Racionalidad externa

Presiones externalistas de expertos y autoridades académicas y administrativas aportan también racionalidad al programa. Así en el caso español, el MEC (1989: 376-424) propone el uso de calculadoras en Enseñanza Primaria (6-12 años) cuando manifiesta: «es necesario invertir la tendencia actual del sistema educativo a permanecer de espaldas a las innovaciones tecnológicas. El empleo de la Calculadora es significativo: se sigue ignorando o incluso prohibiendo su presencia en la enseñanza de las Matemáticas cuando, por su bajo coste y por la utilización que se hace de ella en la vida cotidiana, debería ser de especial interés, además de contemplarse como instrumento pedagógico y didáctico de primer orden».

Ese propio documento normativo-externalista propone como contenido matemático: «Utilización de determinados contenidos a los que no siempre se les ha prestado la atención que merecen (ejem. la calculadora,...)».

Dentro de los bloques de contenidos, en el Bloque I-Hechos, conceptos y principios, destaca el nº 5: Reglas de uso de la Calculadora.

El Objetivo General 5 del DCB manifiesta: «Utilizar instrumentos de cálculo (calculadora,...) decidiendo la posible pertinencia que implica su uso y sometiendo los resultados a una revisión sistemática».

Las Orientaciones Didácticas y para la Evaluación dan un tratamiento específico al uso de calculadora mediante la Orientación 52 en la que se especifica que «*es necesario determinar cómo debe introducirse y que los niños empleen razonablemente esta máquina cuando convenga hacerlo*».

3. DESARROLLO DEL PROGRAMA DE INVESTIGACIÓN DE LA ENSEÑANZA/APRENDIZAJE DE LA ARITMÉTICA ELEMENTAL POR CÁLCULO AUTOMATIZADO (Crecimiento teórico lakatosiano)

Este programa es susceptible de desarrollo a partir del modelo propuesto por Dunkin y Biddle (1974) al ponderar las cuatro macrovariables clásicas en el estudio/investigación de la enseñanza.

4. HALLAZGOS INVESTIGACIONALES SOBRE EFECTOS DE LA CALCULADORA (Crecimiento empírico lakatosiano)

La tradición metodológica proceso-producto ha producido un corpus consistente de hallazgos que Hembree (1984) ha sintetizado mediante meta-análisis. Incluyo

Nivel 3º V. Dependiente	Modalidad	M.A. de Hembree Efecto	Significación	Fdez. Cano Efecto	Significación
Adquisición de destrezas de cálculo	Man.	+	SI	x	x
	Ext.	+	SI	+	SI
	Inf.	x	x	+	SI
Adquisición de conceptos numéricos	Man.	=	NO	=	NO
	Ext.	NP	NP	NP	NP
	Inf.	NP	NP	NP	NP
Resolución de problemas	Man.	+	SI	x	x
	Ext.	=	NO	=	N
	Inf.	x	x	=	NO
Cálculo mental	Mant	=	NO	-	SI
Actitud hacia las matemáticas	Mant.	+	NO	x	x
	Ext.	+	SI	+	SI
	Inf.	x	x	-	SI
Rendimiento general en matemáticas (*)	Mant.	+	SI	x	x
	Ext.	+	SI	=	NO
	Inf.	x	x	=	NO
Cognición Numérica	Mant.	x	x	=	NO

Efectos: + (positivo); = (nulo); - (negativo).
 Significación mínima: 0.05
 NP: no permite tal contraste; x: no considerado tal contraste.
 (*) Hembree calcula rendimiento general como el sumatorio de destrezas de cálculo más conceptos numéricos.
 Este autor lo resume mediante las cuatro variables desempeño numéricas: conceptos, destrezas, problemas y cálculo mental.

tabla parcial de resultados en paralelo con los hallazgos de este autor centrándose sólo en un nivel educativo, 3^o.

Hembree destaca dos tipos de efecto o modalidades: de mantenimiento (todos los tests se realizan con lápiz y papel; no se permite calculadora en los exámenes) y de extensión (uso no restringido de calculadora).

Este autor ha propuesto otro tipo de modalidad que denomina «uso informal» y que consiste permitir el uso de calculadora en exámenes a un grupo de control sin tratamiento (enseñanza de la Aritmética sin asistencia de la Calculadora/enseñanza habitual) en tests de destrezas de cálculo y resolución de problemas. Este grupo se contrasta con un grupo de control puro (enseñanza habitual-no calculadora en los exámenes).

Al grupo experimental puro (enseñanza asistida por calculadora-uso no restringido de calculadora en exámenes) y la grupo «informal» no se les facilita la calculadora en tests de hechos básicos (conceptos numéricos y cálculo mental) ya que estimo sería manifiesto una posible dependencia con la máquina como la orientación cognotivista advierte.

La conclusión que se extrae de ambas realizaciones, evidentemente las metaanalíticas más consistentes, es que *la calculadora no produce ningún efecto nocivo profundo en el desempeño matemático del alumno*. Hembree que sintetizó los resultados sobre 32 variables dependientes (modalidades incluidas) en los grados k-12 sólo encontró efectos negativos en adquisición de destrezas de cálculo y en destrezas operatorias totales en 4^o grado, achacables en parte a la no homogeneidad de los tamaños del efecto (la varianza excede al valor esperado a partir del error de muestreo).

En la modesta investigación primaria española se detecta que el uso de calculadora constituye un aprendizaje informal (los alumnos conocen su manejo y la utilizan a «hurtadillas») o bien que el manejo es tan sencillo que en el momento del examen puede ejercerse con eficacia. Además se detecta un efecto negativo en cálculo mental, significativo sólo al 5% más no al 1%.

5. REALIZACIONES ACTUALIZADAS DEL PROGRAMA DE INVESTIGACIÓN DE LA ENSEÑANZA / APRENDIZAJE DE LA ARITMÉTICA ELEMENTAL POR CÁLCULO AUTOMATIZADO (Crecimiento heurístico)

- Estudios comparados sobre implantación de la calculadora (Suydam, 1980).
- Programas y proyectos múltiples. Es ejemplar el caso sueco donde el Gobierno estatal se comprometió en un estudio a gran escala a partir de los 9 años (Bjorn y Brolin, 1984): «Analys as Raknedosornas konsekvernser-ARK Proyecto». El proyecto alemán, Projeckt TIM 5/12: Taschenrechner im Mathematikunterricht für 5-bis 12 jährige, (Meissner, 1978) podría sernos de cierta utilidad ya que se inserta en un modelo federal de administración educativa similar a nuestro estado autonómico.

- Declaraciones normativas de administraciones escolares, expertos y asociaciones profesionales avalando el uso y perfilando la investigación futura (NCTM, 1988).
- Multitud de investigaciones, casi todas en USA, en la línea proceso producto (grupo con calculadora versus grupo sin calculadora), sintetizadas por Hembree, sobre efectos experimentales.
- Abundantes materiales para el aula en forma de libros de apoyo específicos, cuadernos de actividades, fichas y cartas de trabajo pero no lo suficientemente integrados en un currículum regular.

Desgraciadamente las realizaciones en el ámbito español son escasas y genéricas (Canals, 1986, 1986; Rico et al. 1990). Estimo que la investigación experimental sobre efectos, realizada por este comunicante, es pionera.

6. APERTURAS DEL PROGRAMA PROPUESTO: HACIA UNA CONSOLIDACIÓN DEL PROGRAMA

6.1. Optimizar la variable proceso

Hasta ahora la mayoría de las investigaciones y realizaciones del programa han propuesto un *uso funcional* de la calculadora (sólo como instrumento de cálculo), pero la calculadora puede tener un *uso pedagógico*, como facilitador de la enseñanza y aprendizaje de las matemáticas. Esto implica pasar de la práctica habitual (ejercitación, chequeo de trabajos hechos con lápiz y papel y cálculo directo en ejercicios y problemas) a elaborar unos currícula de matemáticas escolares específicos. Una propuesta atrevida es la que vengo a denominar «currícula orientados por la calculadora» y que desarrollarían los contenidos matemáticos según el programa de investigación que se propone. Rasgos genéricos de tales currícula para la Enseñanza Primaria serían:

- a) Fortalecimiento del centro firme: dominio de hechos numéricos básicos (Sistema de Numeración Decimal) y Cálculo Mental (exacto y estimativo).
- b) Definición de *Numeración básica* según niveles y contenidos.
- c) Supresión de los algoritmos tradicionales de papel o algoritmos standarizados escritos: «no más cuentas».
- d) Uso pedagógico de la calculadora con funciones de:

- | | |
|---|--|
| — Motivar al alumno. | — Promover la discusión. |
| — Focalizar actividades. | — Aportar un diagnóstico/retroalimentación inmediatos. |
| — Dar confianza y oportunidades a los menos capaces. | — Expandir los conocimientos de los más capaces. |
| — Apoyar al trabajo con materiales estructurados facilitando el | — Presentar un entorno matemático no restringido. |

- | | |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> transfer del pensamiento. — Permitir el número de números reales. — Generalizar y demostrar — Apoyar al desarrollo de estrategias personales. | <ul style="list-style-type: none"> — Explorar e investigar mediante conjetura y contraste de hipótesis. — Facilitar la concentración en métodos y conceptos. — Priorizar contenidos matemáticos. (Readings, 1979; 1983; 1987) |
|--|--|

6.2. Dinamizar variables presagio y contexto mediante:

- a) Formación inicial y continua del profesorado.
- b) Apertura de un diálogo social sobre el uso de la calculadora
- c) Elaborar nuevos materiales y promover incluso la fabricación de una calculadora más pedagógica.

VARIABLES CONTEXTO	
Generales	Específicas del programa
<ul style="list-style-type: none"> - Experiencias formativas del alumno. - Propiedades del alumno. - Contexto de la escuela y la comunidad - Contexto en el aula - Contexto de la máquina 	<ul style="list-style-type: none"> - Determinación de la edad de acceso al programa: propuesta 8 años (3º E.G.B.). - Repercusión del programa en alumnos de diversas aptitudes, sexo, estatus socioeconómico, nivel escolar, ... - Seguimiento total y consecutivo en todas las escuelas y niveles - Aceptación del programa por la comunidad: actitudes de padres y administradores. - Elaboración de nuevos materiales escolares - Repercusión del programa en los agrupamientos. - Asignación de espacios a las máquinas: "el rincón de las calculadoras". - Selección de la máquina: tipo, lógica, precio, prestaciones y mantenimiento. - Disponibilidad: individual o grupal.
VARIABLES PRODUCTO	
Generales	Específicas del programa
<ul style="list-style-type: none"> - Desempeño inmediato del alumno - Efectos a largo plazo en el alumno - Efecto en el profesor 	<ul style="list-style-type: none"> - Rendimiento general en Matemáticas a diversificar en conceptos numérico, cálculo mental, cálculo apoyado y resolución de problemas. - Actitudes hacia las Matemáticas - Actitudes hacia la escuela. - Rendimientos en áreas afines: Educación Científica-Técnica. - Adecuación/éxito en habilidades ocupacionales y profesionales. - Satisfacción y autoestima docentes.

VARIABLES PRESAGIO	
Generales	Específicas del programa
<ul style="list-style-type: none"> - Experiencias formativas del profesor - Propiedades del profesor 	<ul style="list-style-type: none"> - Nueva formación inicial continua. - Nuevas experiencias en la praxis docente - Rasgos personales: edad, clase y sexo. - Motivación intrínseca hacia el programa: aceptación del reto tecnológico. - Capacidad docente para la instrucción en Matemáticas. - Rasgos/estilos docentes.
VARIABLES PROCESO	
Generales	Específicas del programa
<ul style="list-style-type: none"> - Conductas del profesor y del alumno en clase - Estructura del contenido 	<ul style="list-style-type: none"> - Nuevas dinámicas de enseñanza: generación de conductas a la luz del programa. - Uso funcional o pedagógico de la calculadora - La calculadora como mediador cognitivo - Tipos de currícula: asistido, orientado o modulado por la calculadora

6.3. Investigar en profundidad las relaciones causales y procedimientos entre variables desarrollando al par:

- a) Nuevos instrumentos de evaluación/valoración que contemplen el uso de calculadora para su ejecución.
- b) Equipos de investigación compactos, pluridisciplinarios y estables.
- c) Modelos teóricos que vinculen con consistencia enseñanza y aprendizaje.

BIBLIOGRAFÍA

- A.T.M. y M.A. (1983): *Calculator in the Primary School*. Reading extraído de *Mathematics in School* y *Mathematics Teaching*.
- BJORK, L. E. y BROLIN, H. (1984): *The ARK Project: Progress Report for the Period 1976-83*. National Board of Education y Liber Utbildugsförlaget. Estocolmo.
- BOYER, C. (1968): *Historia de las matemáticas*. Vol. 1. Alianza, Madrid.
- CANALS, M. A. (1986): *El cálculo mental i la calculadora/1º-2º*. (Dos cuadernos de trabajo y guía del profesor). Eumo. Vic.
- DUNKIN, M. J. y BIDDLE, B. J. (1974): *The study of teaching*. Holt, Rinehardt & Winston. Nueva York.
- FERNÁNDEZ CANO, A. (1990): *Aproximación al desarrollo del cálculo como un programa de investigación lakatosiano*. Universidad de Granada (no publicado).
- HEMBREE, R. (1984): *Model for Meta-analysis of research in education, with a demonstration in mathematics education: Effects of hand-held calculator*. En DAI, Vol 45/10-A. Orden nº GAX84-29597 a UMI. Ann Arbor.
- KUHN, T. H. (1975): *La estructura de las revoluciones científicas*. F.C.E. México.

- LAKATOS, I. (1983): *La metodología de los programas de investigación científica*. 2ª edc. Alianza Universidad. Madrid.
- M.E.C. (1989): *Diseño curricular Base. Educación Primaria*. Servicio de Publicaciones. Madrid.
- MEISSNER, H. (1978): *Projekt TIM 5/12. Taschenrechner im Mathematikunterricht für 5/bis 12-jährige*. Zentralblatt für Didaktik der Mathematik, 10, 4.
- N.C.T.M. (1979): *Calculators*. Reading extraído de *Arithmetics Teacher* y *Mathematics Teacher*. Reston, Va.
- N.C.T.M. (1987): *Calculator: Focus Issue*. Reading extraído de A.T. y M.T.
- N.C.T.M. (1988): *Research agenda in mathematics education. Setting a research agenda*. J. D. Sowder, editor. NCTM. Reston. Va.
- POPPER, K. R. (1963): *Conjectures and refutations*. Routledge and Keagan Paul. Londres. Traducción al castellano «El desarrollo del conocimiento científico: conjeturas y refutaciones», Paidós. Buenos Aires.
- RICO, L. et al. (1990): *Matemáticas, 3º, 4º y 5º*. (Serie de libros de texto y guía del profesor para Ciclo Medio de E.G.B.) Algaída. Sevilla.
- SUYDAM, M. N. (1980): *International calculator review. Working paper on hand-held calculators in*