

# revista de **e**DUCCIÓN

Nº 391 ENERO-MARZO 2021



**Clase Invertida Síncrona en asignaturas STEM**

**Synchronous Flipped Classroom in STEM subjects**

**Celia Maya Díaz  
Javier Iglesias Sigüenza  
Xavier Giménez**



# Clase Invertida Síncrona en asignaturas STEM

## Synchronous Flipped Classroom in STEM subjects

DOI: 10.4438/1988-592X-RE-2021-391-469

Celia Maya Díaz

Javier Iglesias Sigüenza

*Universidad de Sevilla*

Xavier Giménez

*Universitat de Barcelona*

### Resumen

Se presenta una metodología de clase invertida, con modificaciones sincrónicas para adaptarse a la dificultad propia de las materias STEM. La Clase Invertida Síncrona refuerza la tutoría inicial, para resolver las dudas de los alumnos que les impiden progresar a través del material que trabajan fuera del aula. A continuación, una dinámica de trabajo en grupo, aprendizaje basado en problemas, cuestionarios de integración, y evaluación formativa por pares, dan lugar a una destacable mejora de los resultados académicos, junto a una reducción del tiempo de trabajo y un incremento significativo en el grado de satisfacción del alumnado. Se discute su aplicación a tres asignaturas del Grado en Química de la Universidad de Sevilla, así como una asignatura del Grado de Química de la Universidad de Barcelona.

*Palabras clave:* Clase Invertida Síncrona, Trabajo en Grupo, Aprendizaje Basado en Problemas, Cuestionarios de Integración, Evaluación Formativa por pares, Enseñanza Universitaria, Enseñanza de la Química.

### Abstract

A variant of flipped classroom based on synchronous sessions, aimed at solving intrinsic difficulties of STEM subjects, is presented. Synchronous Flipped Classroom provides initial tutoring, so as to fix students' weaknesses that prevent

autonomous, homework progress. Thereafter, group work, problem-based learning, integration questionnaires, along with formative peer-evaluation, have been assembled to yield remarkable increases in students' performance, as well as personal satisfaction. Application to three Chemistry subjects, at the University of Seville, as well as one Chemistry subject, at the University of Barcelona, is thoroughly discussed.

*Keywords:* Synchronous Flipped Classroom, Group Work, Problem-Based Learning, Integration Questionnaires, Formative, peer evaluation, University Education, Chemistry Teaching.

## Introducción

Los nuevos alumnos llegan a las aulas inmersos en un mundo digital y tecnológico, donde la interactividad de los dispositivos abre nuevas vías a la acción docente. Sin ir más lejos, la información que un profesor pueda proporcionar en clase, la obtienen los alumnos, hoy en día, de forma instantánea. Este contexto está facilitando el uso de recursos pedagógicos sofisticados, para incrementar la eficiencia del aprendizaje (Fletcher, 2013).

El paradigma básico, escenificado en Europa a través del denominado proceso de Bolonia (Bologna Process, 2020), es que la mejora de rendimiento en el aprendizaje no debe resolverla el alumno solamente, sino que se fundamenta en un mayor acompañamiento académico por parte del profesor (Biggs y Tang, 2011).

Por tanto, el profesor universitario ha dejado de ser un elemento transmisor de conocimientos. Su principal misión es ahora acompañar y guiar al alumno, a través de su proceso personal de aprendizaje, empleando para ello mayores recursos pedagógicos y todos los recursos que la digitalización pone a su alcance (Seery, 2012).

Los estudiantes, por su parte, deben adquirir habilidades más complejas, que les permitan emplear los conocimientos adecuados para resolver situaciones también complejas. Ello requiere una docencia más experiencial y, sobre todo, activa, que contrasta fuertemente con la metodología expositiva tradicional, comúnmente identificada como

“clases magistrales”, donde el alumno adopta un rol esencialmente pasivo (Freeman, 2014).

Por estos motivos, los docentes universitarios se encuentran inmersos, desde hace más de dos décadas (Mazur, 1997), pero con especial intensidad desde inicios de la presente década, en un cambio en su forma de enseñar. El denominado aprendizaje activo, conjunto de metodologías en las que la actividad en el aula pivota alrededor del alumno, está incrementando su presencia en multitud de centros universitarios, principalmente en Europa, Estados Unidos, Australia y Nueva Zelanda (Biggs y Tang, 2011; Christersson, 2019; Mintzes y Walter, 2020). Destacan poderosamente las metodologías generales basadas en “invertir el aula”, es decir, dejar que el alumno adquiera una primera base de información, a partir de su trabajo personal, para después trabajar en el aula la aplicación y adquisición de destrezas y habilidades (Medina, 2016; Prieto, 2017).

Este esquema general de aprendizaje activo admite entonces muchas metodologías particulares de enseñanza, que vertebran la forma concreta de trabajar los contenidos: el aprendizaje basado en proyectos, en problemas, en competencias o en el pensamiento, el aprendizaje cooperativo, la gamificación o el “Design Thinking” (Pensamiento de diseño) forman ya parte del día a día de muchos centros universitarios en áreas muy variadas (de Alba, 2020).

En las áreas STEM (Science, Technology, Engineering and Mathematics), y por tanto en la Química, el uso de estas metodologías es menos frecuente (Freeman, 2014). Aún así, se han descrito numerosos (y exitosos) casos, destacando la clase invertida original, aplicada por Sams y Bergmann por primera vez en 2007, en la Química de Secundaria (Sams, 2013; Bergmann, 2014), la profunda reforma de contenidos, basados en el constructivismo, llevada a cabo a través del Concept Development Studies, por J. Hutchinson en la Rice University, desde 1998 (Hutchinson, 2000), o la propuesta denominada Project Based Guided Inquiry, de L. Wheeler y colaboradores en la Universidad de Virginia (Wheeler, 2017). Otras propuestas serían el método POGIL (Straumanis, 2012) o la aplicación de ABP, Aprendizaje Basado en Problemas, que ha crecido en el campo de la química analítica, y se utiliza también en química industrial, farmacéutica, del medio ambiente o forense (Belt, 2002; Summerfield, 2003; Belt, 2005; Belt y Overton, 2007; McDonnell, 2007; Williams y Parker, 2012; Clarke, 2012; Dicks y Batey, 2013).

Sin embargo, las áreas del conocimiento menos aplicadas son más resistentes al desarrollo del aprendizaje activo. La complejidad de los conceptos, en ocasiones demasiado abstractos o con fundamentos matemáticos complicados, suponen un obstáculo fundamental. Dejar esa parte del aprendizaje al trabajo autónomo del alumno es entonces un contrasentido desde el punto de vista de la acción tutorial del docente (Lespiau, 2019). Debido a ello, el profesorado percibe una desconexión del alumnado en sus explicaciones, que conlleva menor motivación y resultados académicos insuficientes. Por tanto, cualquier metodología de aprendizaje activo demanda, en estos casos, refuerzos adicionales para asegurar que los alumnos mantienen el esfuerzo constante a lo largo del curso (Arévalo, 2018).

¿Qué puede hacerse, entonces, cuando los alumnos tienen muchas dificultades para entender los materiales previos?, ¿Cómo podemos solucionar el retraso de aquellos que rápidamente pierden el ritmo de trabajo? Incidentalmente, éstas son algunas de las preguntas recurrentes que los profesores resistentes al cambio utilizan para no cambiar, como si las metodologías tradicionales dieran una respuesta satisfactoria (Cooper, 2015). Cuando es, precisamente, la situación generada por las clases tradicionales la que ha provocado las anteriores preguntas y cuyas respuestas llevaron, al menos en parte, al desarrollo de las metodologías de aprendizaje activo (Mazur, 2009).

La estrategia seguida en la metodología desarrollada en el presente artículo, para solventar el problema anterior, se fundamenta, desde un punto de vista general, en la aportación de David C. Geary, resumida en su importante publicación *“El origen de la mente”* (Geary, 2006), así como por los trabajos de John Sweller sobre *“Cognitive Load Theory (CLT)”* (Kirchner, 2010). Estos autores proponen, cuándo sea necesario, una mayor guía por parte del profesor, desde el inicio del trabajo hasta que los alumnos sean más capaces de funcionar con mayor autonomía.

La CLT permite discernir qué parte del aprendizaje requiere un seguimiento cercano, y qué parte permite mayor autonomía. Básicamente, aquellas materias cuyo contenido se puede impartir en base a las experiencias vitales individuales, el conocimiento lingüístico, así como el uso de los sentidos, permiten un alto grado de aprendizaje propio. Es lo que, en cada vez más contextos, se conoce como “conocimiento primario”. Por otro lado, las materias que requieren un bagaje cultural y niveles crecientes de abstracción, sobre todo matemática, necesitan

de una mayor guía por parte del profesor, desde el inicio. Este tipo de contenido aduce al “conocimiento secundario” (Geary, 2016).

Por ello, y sin menoscabo de otras y exitosas variantes de la clase invertida (Francl, 2014; Blau, 2017; Prieto, 2018), se expone en el presente trabajo una variante de la clase invertida, que inicia el trabajo sobre un determinado tema siempre en el aula, bajo la tutela del profesor desde el primer momento. Esta variante, denominada “*Clase Invertida Síncrona (CIS)*”, ha sido gradualmente desarrollada desde 2009, por uno de los autores (Giménez, 2016a; 2016b; Medina, 2016), hasta llegar a su formato actual, que se describe detalladamente en este artículo.

La comparación de los resultados académicos finales, entre los años 2009–2020, contra grupos de control que han seguido la metodología expositiva tradicional, ha permitido comprobar cómo el rendimiento académico es claramente más elevado, en consonancia con otras prácticas exitosas de aprendizaje activo, en un entorno STEM (Freeman, 2014).

El presente trabajo muestra, además, la aplicación práctica de la metodología CIS, a varias asignaturas del grado de Química, de las Universidades de Sevilla y de Barcelona, para las que CIS se ha consolidado como una metodología madura y altamente apreciada por los estudiantes.

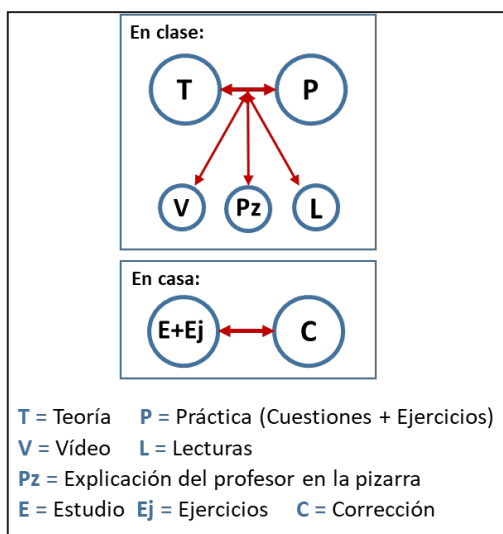
## La metodología CIS

Como acabamos de mencionar, la implementación de esquema CIS de trabajo en el aula se ha ido desarrollando desde 2009, en diversas etapas, en la Universidad de Barcelona, y desde el año 2017 en la Universidad de Sevilla. Como en el resto de modalidades de clase invertida, el esquema CIS elimina la mayor parte de las clases magistrales y las substituye por trabajo de los alumnos en el aula, bajo supervisión del profesor.

Debe enfatizarse, además, que la clase invertida tradicional, CI, y método CIS constituyen extremos de un grado variable de sincronidad. Efectivamente, este último aspecto puede visualizarse como un parámetro variable; en función del curso, madurez del grupo específico de estudiantes, y por supuesto del contenido. A mayor madurez, o menor contenido abstracto, la guía inicial que proporciona el profesor puede substituirse por la lectura o visualización de material previo, siempre en cantidades que impliquen esfuerzos moderados por parte de los

estudiantes. No debemos olvidar que la excesiva carga de trabajo es uno de los factores que conllevan el abandono del trabajo constante por parte del alumno (Medina, 2016).

**FIGURA 1.** Esquema de las actividades en el aula, y en casa, implicadas en la Clase Invertida Síncrona, CIS. El peso de cada actividad depende principalmente del a) contenido; y b) grado de madurez de los estudiantes. Mayor dificultad conceptual de los contenidos y menor grado de madurez, implican una mayor guía por parte del profesor y, por tanto, un incremento de las actividades con interacción directa entre el profesor y el alumno.



El contenido del método CIS se esquematiza en la Figura 1. Durante el desarrollo de las clases se trabajan conceptos nuevos de teoría, a los que siguen actividades de carácter práctico. Las primeras consisten principalmente en lecturas de textos seleccionados o elaborados por el profesor, así como la visualización de vídeos, ya sean también elaborados por el profesor, o disponibles en la red. Estas actividades se realizan previamente, en el método CI, y en cambio se realizan simultáneamente en el aula en la variante CIS. Las actividades prácticas se basan en responder cuestiones relacionadas con los conceptos teóricos y su aplicación a casos prácticos.

Se exponen a continuación los principales elementos que componen la dinámica de la clase, bajo el esquema CIS:

### **Sobre el material del curso y el calendario**

- Se trabajan las denominadas *Hojas de Actividad* (HA), en grupos de entre 3 y 5 alumnos.
- El calendario de todas las HA que componen el curso (típicamente, entre 10 y 15 para un curso semestral de 6 créditos) es público y conocido desde el inicio.
- Las HA han sido redactadas por el profesor y contienen el guión detallado de actividades que el alumno debe realizar, con la ayuda del profesor, en las sesiones presenciales.
- Los alumnos trabajan en clase la redacción de un dossier. Aunque trabajan en grupo, la redacción del dossier es individual. Contiene las respuestas a las cuestiones que plantea cada HA.
- El dossier con las respuestas a las HA se entrega a través del Campus Virtual, antes de la fecha y hora establecidos como límite.
- Dado que las competencias de planificación de los alumnos no están totalmente desarrolladas, sobre todo en los primeros cursos, es muy conveniente ir recordando los plazos de entrega de la HA. Este punto resulta crítico en entornos de enseñanza a distancia.

### **Sobre el trabajo en clase y la interacción profesor-alumno**

- Las respuestas a las cuestiones planteadas en las HA deben basarse en la bibliografía, apuntes, prácticas anteriores, libros de texto y, muy aconsejable, la red. Por tanto, las respuestas no pueden contener hipótesis no respaldadas por la bibliografía.
- Consecuentemente, toda respuesta debe incluir la fuente de la que se ha obtenido la información.
- Las HA plantean determinadas lecturas, principalmente del libro de texto o de las notas del profesor, como actividad inicial. Estas lecturas, así como las cuestiones que se plantearán más adelante, deben ser comentadas en grupo.

- Las argumentaciones necesarias se discuten entre los miembros del grupo, así como entre diferentes grupos. Los alumnos pueden consultar entre grupos de forma espontánea, o lo harán siguiendo las indicaciones del profesor.
- Los grupos de trabajo se constituyen de manera libre. Es más, su composición debe ir cambiando a lo largo de las sesiones de clase. Como apuntan destacados autores (Hutchinson, 2020), no es un parámetro crítico, por lo que puede utilizarse para crear una mayor comodidad, al alumno, cuando se juzgue pertinente.
- El rol de los diferentes miembros (conductor, receptor...) tiene que ir rotando a lo largo de una misma sesión, o en diferentes sesiones si éstas son cortas, siguiendo siempre las indicaciones del profesor.
- Cualquier tema que, después de discutirse en el grupo, o entre grupos, no permita llegar a una respuesta clara, será consultado con el profesor. Esto incluye las lecturas, las cuestiones, así como, muy importante, las fuentes de información externa.
- La pregunta forma parte del proceso de aprendizaje; en ningún caso las preguntas servirán como criterio de evaluación. Por ello, es necesario que los alumnos sean capaces de traducir al formato de pregunta, cualquier duda que pueda surgir.
- No es adecuado, ni operativo, suponer que el alumno posee la competencia de formular correctamente la pregunta que expresa su duda o su confusión. El profesor ayudará en esta fase de formulación de preguntas, sobre todo inicialmente. La reflexión explícita sobre estas dificultades es de gran valor pedagógico para el alumno.

## **Sobre la corrección de las Hojas de Actividad**

- La corrección de las cuestiones planteadas en las HA no se realiza en horario de clase. Debe insistirse en este punto y en que los alumnos pregunten al profesor todo lo referente a las cuestiones. Además, normalmente, dispondrán de información que les sirva de referencia, como los valores numéricos de la solución, cuando corresponda.
- Sin embargo, sí que se realizará una corrección por pares durante las últimas sesiones del curso (Karpicke y Blunt, 2011).

- Cada alumno debe corregir una o dos HA de cualquier otro alumno, en función de la longitud de la asignatura y de su posición dentro del Grado o Máster que se está cursando. Esta corrección se realiza en clase, bajo la tutela del profesor.
- La corrección no se limita a otorgar puntuación a las cuestiones. Los alumnos deben identificar las causas de los errores o de los aciertos. Este análisis es una fuente de aprendizaje muy importante y proporciona una sensación de progreso muy relevante.
- Este análisis de las causas de error y/o acierto se puede realizar en grupo, pero las correcciones se deben entregar individualmente.
- Tanto las HA, como las correcciones y análisis de los errores y aciertos, se deben finalizar fuera del horario de clase, si es necesario. Es decir, se atiende a los alumnos desde el inicio del trabajo, pero se les reclama que sepan planificar el trabajo de finalización. Se resuelven las dificultades al principio, y se incentiva el trabajo autónomo cuando los alumnos han adquirido “velocidad de crucero”.

## **Sobre la evaluación continua y formativa**

- El profesor puntuará las correcciones, tanto para el alumno corregido, como para el alumno corrector. La calificación representa un 30% del total. Además, se evaluará también el trabajo en clase (básicamente, la constancia en el trabajo) y ponderará otro 30% en el total de la calificación final.
- Antes de empezar las HA, los alumnos responden a un cuestionario corto, de unas 10 cuestiones de elección múltiple. Este mismo cuestionario se realizará al finalizar las HA, y servirá para proporcionar al alumno una medida interna de su progreso.
- Una semana después de la entrega de cada HA, los alumnos realizarán nuevamente el cuestionario inicial asociado a esa HA. Tal como se ha mencionado, la comparación de resultados antes/después les permitirá medir su progreso.
- Estos cuestionarios se responden fuera del horario de clase, por razones de disponibilidad temporal. Sin embargo, es conveniente, para adquirir la adecuada soltura con los cuestionarios, que al menos el primero se realice en clase.

- Sin embargo, aquellos alumnos con problemas de seguimiento del curso, o aquellos que faltan a un número determinado de sesiones presenciales, realizarán los cuestionarios de forma presencial en el aula. Con ello se mejora el seguimiento de los alumnos con dificultades, a la vez que se les disuade de intentar acciones no permitidas.
- En función de la duración del curso, se realizarán entre dos y cuatro cuestionarios de integración en un calendario correctamente distribuido. La calificación obtenida pondera un 40% en la nota final del curso.
- Estos cuestionarios contienen preguntas que obligan a relacionar diferentes HA, o a plantear un determinado concepto en contextos de aplicación diferentes. Estos cuestionarios se realizan cuando ya ha pasado suficiente tiempo desde la realización de las HA. Tal como ha demostrado el grupo de investigación del profesor Bjork (Storm, 2008), para aprender es necesario primero un cierto nivel de olvido.
- Todos los cuestionarios, excepto el último, pueden realizarse fuera del horario lectivo, y por ello no consumen sesiones presenciales. El último cuestionario, en cambio, debe realizarse de manera presencial. La razón es que sirva de elemento disuasorio para actitudes poco éticas. De hecho, se informa a los alumnos que, en caso de diferencias flagrantes de puntuación entre los cuestionarios no presenciales y los presenciales, sólo se tendrá en cuenta el resultado del presencial. No es ninguna barbaridad, puesto que el último cuestionario contiene el material correspondiente a todo el curso.
- Los alumnos podrán solicitar sesiones de tutoría individual. Resultan útiles para aquellos alumnos que no aprovechan del todo la dinámica de trabajo en grupo. Los alumnos que se retrasan, o aquellos que faltan a sesiones presenciales, deben solicitar obligatoriamente estas sesiones.

El seguimiento de los puntos especificados permite desarrollar un curso completo bajo el esquema de Clase Invertida Síncrona, CIS, siempre y cuando se hayan podido desarrollar adecuadamente las correspondientes hojas de actividad. Esto último no es tarea fácil, y en realidad conlleva como mínimo tres cursos (Porlán, 2017), por no

hablar de las cuestiones relacionadas con la selección de contenidos, un problema fundamental que podrá abordarse una vez las metodologías activas sean práctica común (Wood, 2009a, 2009b; Hutchinson, 2014; Mazur, 2015; Porlán, 2017; Arévalo, 2018).

Como puede comprobarse, los aspectos de implementación práctica de la metodología van más allá de una simple inversión síncrona de la clase. Por ejemplo, la necesidad de incorporar evaluación formativa ha llevado a plantear los cuestionarios pre y post HA, así como la corrección mediante pares con análisis de aciertos y errores. Puesto que la corrección mediante pares se lleva a cabo sin tener las respuestas de referencia, se trata de un formato de Corrección Autónoma por Pares, CAP. La combinación CIS más CAP se ha bautizado con el nombre de SABER (Giménez 2016a; 2016b), acrónimo de Supervisión del Aprendizaje Básico mediante Ejercicios y auto-Reflexión.

Como veremos a continuación, la utilización extensiva de la metodología SABER da buenos resultados, en todos los casos en los que ha sido aplicada. De hecho, están en la misma línea que el resto de las variantes de clase invertida, por lo que confirman que las metodologías basadas en el aprendizaje activo, aplicadas con suficiente nivel de supervisión, por parte del profesor, y basadas en materiales con suficiente contenido pedagógico, son mejores que las mejores implementaciones de la metodología tradicional (Freeman, 2014).

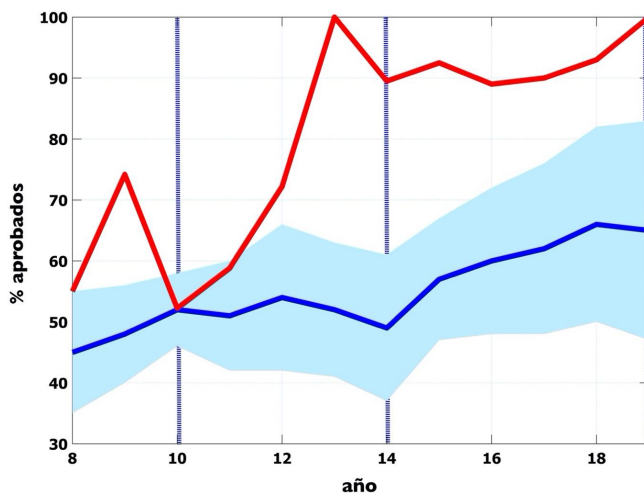
## **Validación de la metodología CIS y su aplicación a diferentes asignaturas**

La aplicación de la metodología planteada en este estudio se ha llevado en la asignatura Recursos Informáticos, impartida durante el segundo semestre del 1º año, en el Grado de Química de la Universidad de Barcelona, cuyos resultados académicos entre el período 2009–2020, han servido como validación general. También se presentan los resultados obtenidos en las asignaturas del Grado de Química de la Universidad de Sevilla *Química General* (que se imparte durante el 1º año), *Inorgánica I* (2º año) e *Inorgánica II* (3º), para las que se presentan resultados más pormenorizados, que incluyen rendimiento académico y valoración subjetiva de los alumnos. En todos los casos, los resultados académicos se han comparado con grupos de control, que han seguido la metodología expositiva tradicional, ya sea del mismo curso académico o de cursos anteriores.

## Recursos Informáticos en la Universidad de Barcelona

La Figura 2 muestra los resultados del estudio comparativo, entre la enseñanza tradicional y el método CIS, que se ha llevado a cabo entre 2009 y 2020, en la Universidad de Barcelona. Esta comparación se ha realizado con una asignatura de primer curso, denominada Recursos Informáticos, y que imparte introducción a la programación de ordenadores.

**FIGURA 2.** Porcentaje de alumnos aprobados, desde el curso 2008–2009 hasta el 2019–2020, para la asignatura Recursos Informáticos, impartida durante el primer año del Grado de Química en la Universidad de Barcelona. La línea roja muestra los resultados del grupo CIS, mientras que la línea azul muestra los resultados, con una desviación standard en azul claro, para los restantes 15 grupos de control. La línea vertical a trazos, sobre 2010, indica el inicio con la primera versión de la metodología CIS. En años previos se había utilizado una versión primitiva del método CIS, basada en reducir las clases magistrales e interaccionar de forma más intensa con los alumnos, durante la realización de los ejercicios programados. La línea vertical azul a trazos, sobre 2014, indica el cambio de lenguaje Fortran a Python, así como la introducción de Hojas de Actividad como material del curso. La línea vertical azul a trazos, sobre 2019, indica el curso impartido de forma semipresencial, a causa de la pandemia Covid-19.



En esta evolución temporal, deben tenerse en cuenta dos etapas diferenciadas, significativas desde el punto de vista de metodología pedagógica:

- Inicialmente (período 2008–2014) el aprendizaje de programación se lleva a cabo mediante el lenguaje FORTRAN, y el curso introduce de forma gradual los diferentes elementos, combinando sesiones teóricas con listas de ejercicios. La parte teórica se explica de forma clásica, mediante presentaciones con diapositivas.
- A partir del curso 2014–2015, se realiza un cambio en el lenguaje de programación, el lenguaje de alto nivel Python, manteniendo la estructura del curso. Además, se desarrollan Hojas de Actividad, que combinan teoría y ejercicios en un único documento.

Las clases se organizan a partir de 16 grupos que contienen entre 20 y 30 alumnos cada uno, y constan de 14 sesiones de 2 horas cada sesión, a razón de 6 horas semanales. Se trata por tanto de un curso compacto, puesto que implica tan sólo 6 semanas, con la particularidad que el ritmo de trabajo es elevado, puesto que en ese período basta para aprender a programar, mediante los subprogramas de las librerías disponibles, problemas de una cierta complejidad, como pueden ser ciclos iterativos, integración numérica o ajuste lineal de funciones.

Las pruebas de evaluación son las mismas, con los mismos criterios de puntuación. Por tanto, la única diferencia es la metodología del trabajo en el aula, con las salvedades mencionadas anteriormente, referidas a las dos etapas de la asignatura.

La comparación entre los dos grupos de resultados, y el análisis de su evolución temporal, proporcionan una buena cantidad de datos relevantes. Este análisis requiere diferenciar tres situaciones:

- a) Resultados anteriores a 2010: Los quince grupos de control utilizan metodología clásica, mediante diapositivas para las clases magistrales, durante 12 horas lectivas y la realización de ejercicios en clase durante 16 horas. El grupo CIS (primitivo) se basa en reducir las horas lectivas de teoría a 8, e incrementar las horas de ejercicios a 20. Da lugar a una ligera mejora, aunque no significativa.
- b) Resultados entre 2010 y 2014: Los quince grupos de control utilizan metodología clásica (diapositivas más ejercicios), mientras que el grupo CIS elimina la teoría y tutoriza de forma más intensa los ejercicios de los alumnos. Los resultados CIS son claramente ascendentes, mientras que los de control se mantienen en sus valores habituales.

- c) Resultados a partir de 2014: Los quince grupos de control se dividen en aquellos que utilizan la metodología clásica, y los demás que usan las Hojas de Actividad, en formato clásico, es decir, se mantiene la explicación teórica del profesor. El grupo CIS aplica la metodología de forma plena, incluyendo el trabajo en grupo y la revisión por pares. Los resultados CIS mantienen el nivel de aprobados en máximos, mientras que en los grupos de control se detecta una tendencia a la mejora.

Debe mencionarse, además, que el último curso 2019–2020 se ha visto afectado por la pandemia Covid-19, que ha implicado la realización de las dos últimas semanas del curso de forma no presencial. Aún así, se ha mantenido la tendencia mostrada en los años anteriores, referida a la diferencia de resultados entre el grupo CIS y los grupos de control.

## Químicas General e Inorgánica I y II, Universidad de Sevilla

Las materias corresponden a asignaturas anuales, de 18, 13.5 y 10.5 créditos, a razón de 4 clases de 1 hora de teoría semanales en el caso de *Química General* y 2 clases de 1 hora en el caso de la Química Inorgánica I y II. Además del tiempo asignado a las clases de teoría (ver Tabla 1), en las que participa el grupo completo de estudiantes, se imparten seminarios en grupos reducidos, con una duración de 2 horas cada uno de ellos. En la Tabla 1 se muestra la distribución de actividades por asignatura, así como el número de alumnos matriculados en los diferentes cursos.

**TABLA I.** Características de los cursos con los que se ha aplicado la metodología CIS en el presente estudio. La abreviatura “rep” corresponde a alumnos que cursan la asignatura por segunda o más veces.

Asignatura y Curso	Horas clases teóricas	Horas seminarios	Nº alumnos matriculados (Curso)
<b>Química General I<sup>o</sup></b>	112 h.	24 h	<b>68</b> (2018/2019) (24 rep) <b>51</b> (2019/2020) (13 rep)

<b>Inorgánica I 2°</b>	60 h.	16 h	<b>53</b> (2016/17) <b>52</b> (2017/18)
<b>Inorgánica II 3°</b>	43 h.	14 h	<b>38</b> (2018/2019) (22 rep)

En este estudio han participado, para cada asignatura, los estudiantes que se muestran en la Tabla 1. Se han examinado dos tipos de variables:

- i) Indicadores objetivos, que incluyen:
  - (a) el porcentaje de aprobados entre los alumnos presentados,
  - (b) el porcentaje de aprobados entre los alumnos matriculados,
  - (c) la tasa de alumnos presentados frente a los matriculados.
  
- ii) Valoración subjetiva de los estudiantes (en el caso de *Química General* y *Química Inorgánica II* en el curso 2018/19) que considera:
  - (a) la satisfacción con diferentes aspectos de la asignatura: con el material proporcionado, con la metodología aplicada, con el trabajo realizado por el profesor, con el sistema de evaluación y la propia autoevaluación sobre lo que han aprendido.
  - (b) el tiempo dedicado a la preparación de la asignatura,
  - (c) la justicia percibida sobre el resultado académico en función del esfuerzo que han realizado.

Se utilizó un diseño de corte cuasi-experimental con grupos naturales, donde el grupo experimental lo constituyen los alumnos de *Química General* y de *Química Inorgánica II* con los que se ha implementado la metodología CIS, y el grupo control es, en el caso de *Química Inorgánica II*, el resto de grupos docentes que siguen una metodología basada únicamente en clases magistrales, mientras que en el caso de *Química General*, el propio grupo que cambia de metodología al pasar del primer al segundo cuatrimestre. El análisis de las diferencias se ha realizado a partir de una “t de Student”, para el contraste de medias, y el Análisis de la Varianza para el análisis de las interacciones entre la condición experimental y el hecho de ser o no repetidor.

En los cursos 2018/19 y 2019/2020 la asistencia a clase en *Química General* (QG) y *Química Inorgánica II* (QI-II) se impuso como obligatoria para poder participar en el sistema de evaluación continua y han asistido

a clase con regularidad 60 (QG, 2018/19), 47 (QG, 2019/2020) y 32 (QI-II, 2018/2020) alumnos, respectivamente. Debe destacarse que en esta metodología no hay distinción en el tipo de actividades que se realizan en las clases de teoría o de seminarios, salvo que en el caso de estos últimos se trabaja con grupos reducidos de alumnos.

La metodología expuesta se aplicó íntegramente en el curso 2018/2019 en la asignatura *Química Inorgánica II*. En el caso de *Química General* se ha llevado a cabo tanto en el curso 2018/2019 como en el 2019/2020 aunque solamente durante el primer cuatrimestre, mientras que en los respectivos segundos cuatrimestres se ha empleado la metodología tradicional de clases magistrales.

En las Tablas 2a–c se muestran los resultados obtenidos en los indicadores tipo i, para los grupos en los que se ha aplicado la metodología CIS en los cursos 2016/17– 2019/20. Los valores en color rojo son los resultados alcanzados al aplicar la metodología docente CIS y, en color azul, se muestran los obtenidos en los cursos en los que se comenzó a trabajar con las hojas de actividad pero sin desarrollar la metodología CIS en toda su extensión (ver Tabla 2b). Excepto en los casos indicados, los valores que aparecen en color negro se refieren a los porcentajes logrados de manera global, considerando conjuntamente los resultados de todos los grupos docentes de la misma asignatura, incluidos, si se da el caso, los grupos de la metodología CIS.

**TABLA 2a.** Comparación en el porcentaje de aprobados, entre grupos que han seguido la metodología CIS, y grupos que han seguido la metodología magistral tradicional. En rojo: resultados para metodología CIS. <sup>a</sup> Se muestran sólo los resultados del grupo con el que se ha trabajado la metodología CIS en el primer cuatrimestre.

<b>Química General</b>										
Curso			2015/16	2016/17	2017/18	2018/19	2018/19 <sup>a</sup>			2019/20
			Promedio de todos los grupos				% finales del grupo	% en exámenes cuatrimestrales independientes	% finales del curso por cuatrimestre	% en examen primer cuatrimestre
Porcentaje de aprobados	CIS	Sobre Presentados						48	88	59
		Sobre Matriculados						44	56	57
	Trad.	Sobre Presentados	72	61	42	69	66	21	55	
		Sobre Matriculados	56	54	48	55	42	13	35	
Porcentaje de Presentados vs Matriculados			78	88	87	80	64	92 62	64	96 ---

**TABLA 2b.** En azul: resultados para metodología CIS. En negro: promedio de todos los grupos. Debe destacarse que, en esta asignatura, los alumnos trabajaron bajo una versión incompleta de CIS: no se enviaban las HA al profesor al final del tema, no comparaban sus respuestas con las del profesor; las clases no tenían carácter obligatorio, no disponían de una programación previa de las actividades de trabajo autónomo, ni realizaron una evaluación distinta a los exámenes oficiales establecidos por la facultad.

<b>Química Inorgánica I</b>					
<b>Curso</b>		<b>2015/16</b>	<b>2016/17</b>	<b>2017/18</b>	
<b>Porcentaje de aprobados</b>	<b>CIS</b>	Sobre Presentados		<b>80</b>	<b>100</b>
		Sobre Matriculados		<b>53</b>	<b>77</b>
	<b>Tradicional</b>	Sobre Presentados	<b>81</b>	<b>83</b>	<b>91</b>
		Sobre Matriculados	<b>66</b>	<b>62</b>	<b>71</b>
<b>Porcentaje de Presentados vs Matriculados</b>			<b>66</b>	<b>77</b>	
		<b>81</b>	<b>74</b>	<b>78</b>	

**TABLA 2c.** En rojo: resultados para metodología CIS. En negro: promedio de todos los grupos.

<b>Química Inorgánica II</b>						
<b>Curso</b>		<b>2015/16</b>	<b>2016/17</b>	<b>2017/18</b>	<b>2018/19</b>	
<b>Porcentaje de aprobados</b>	<b>CIS</b>	Sobre Presentados			<b>100</b>	
		Sobre Matriculados			<b>98</b>	
	<b>Trad.</b>	Sobre Presentados	<b>61</b>	<b>70</b>	<b>69</b>	<b>77</b>
		Sobre Matriculados	<b>41</b>	<b>50</b>	<b>49</b>	<b>60</b>
<b>Porcentaje de Presentados vs Matriculados</b>		<b>68</b>	<b>72</b>	<b>73</b>	<b>98</b> <b>78</b>	

Debe destacarse que el curso 2019/2020, para la asignatura *Química General*, sólo presenta los datos del primer cuatrimestre. La comparación adecuada, en esta asignatura, con 2018/19 se basa en dividir éste último en tres columnas: la primera muestra los porcentajes de aprobados al final del curso (convocatorias de julio y septiembre). La segunda incluye los resultados de los exámenes del primer y segundo cuatrimestre. La tercera columna indica el porcentaje de alumnos que aprobó la parte del examen correspondiente al primer cuatrimestre, por un lado, y la parte correspondiente al segundo, por otro. Para aprobar la asignatura se requiere aprobar ambas partes.

Los resultados recopilados en la Tabla 2 ponen de manifiesto tendencias significativas. En primer lugar, se observa que la aplicación de la metodología CIS en la asignatura *Química Inorgánica II* condujo a un 100% de aprobados en los alumnos presentados, lo cual supuso un incremento sustancial en comparación con los resultados de cursos anteriores. Además, se constata que aumentó el porcentaje de alumnos presentados a los exámenes.

En el caso de la asignatura *Química General*, en los dos cursos en los que se ha aplicado la metodología CIS (2018/19 y 2019/20) la comparación de los datos obtenidos en los exámenes por separado del primer y segundo cuatrimestre muestra, en ambos cursos, diferencias muy notables en el porcentaje de aprobados y en la tasa de alumnos presentados, observándose unos valores elevados con respecto a los valores del segundo cuatrimestre en el curso 2018/19. Añadiendo los resultados de los exámenes de julio y septiembre en el curso 2018/2019, el porcentaje de alumnos presentados que aprobó la parte del examen correspondiente a los temas del primer cuatrimestre alcanzó el 88%, mientras que sólo el 55% aprobó la parte correspondiente al segundo cuatrimestre. Un porcentaje de aprobados del 88% fue un resultado muy superior al promedio de esa asignatura, en la que no se había superado en los últimos años el 72% del curso 2015/2016. Teniendo en cuenta que para superar *Química General* se requiere aprobar ambos exámenes, el porcentaje final de aprobados desciende al 66% entre los alumnos presentados, pero sigue siendo un número superior a los promedios de todos los grupos alcanzados en los dos cursos anteriores.

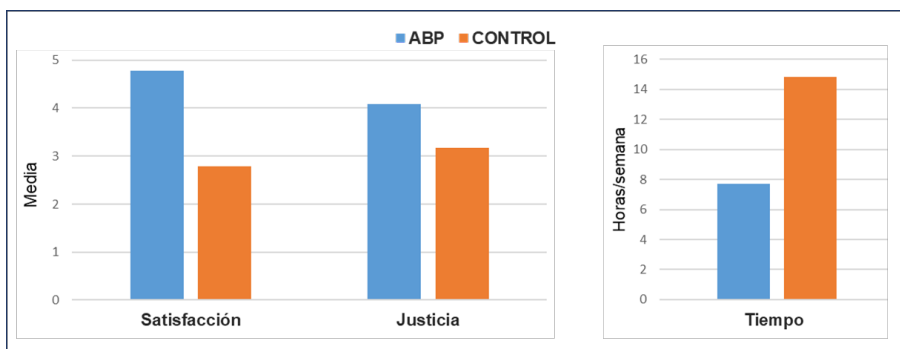
Es interesante destacar también el descenso que se observó en el curso 2018/19 del porcentaje de alumnos presentados a los exámenes de *Química General*, que fue finalmente del 64%, un valor muy bajo

si se compara con el 92% que se había registrado en el examen del primer cuatrimestre. Incluso, es un porcentaje inferior al promedio de presentados en esta asignatura en los cursos anteriores. Ese descenso podría estar reflejando la desmotivación experimentada por los alumnos al cambiar la metodología en el segundo cuatrimestre.

La aplicación parcial de la metodología CIS a la asignatura Química Inorgánica I, curso 2017/18, dio lugar a un 100% de aprobados de los alumnos presentados. No obstante, la tasa de alumnos presentados frente a los matriculados continuó aún dentro de los rangos globales de la asignatura.

Con respecto a la valoración subjetiva que hacen los estudiantes, en el estudio llevado a cabo con los alumnos de las asignaturas *Química General* y *Química Inorgánica II* en el curso 2018/19, la comparación de las medias entre el grupo formado mediante CIS y el grupo control demuestran diferencias significativas en la satisfacción con los diferentes aspectos de la asignatura, mostrando el grupo de CIS mayores niveles de satisfacción ( $M=4.78$ ) que el grupo control ( $M=2.78$ ), con  $t_{87}= 14.53$ ,  $p<0.001$ .

**FIGURA 3.** Análisis de las variables Satisfacción, Justicia y Tiempo en los grupos CIS y Control. Se ha empleado en todos los casos una escala de 1 a 5, en la que 1 corresponde a 'muy poco satisfecho' y 5 a 'muy satisfecho'.



También existen diferencias en la valoración positiva acerca de la justicia con la evaluación recibida, de forma que los grupos de CIS consideran la evaluación como más justa ( $M=4.09$ ) que el grupo

control ( $M= 3.17$ ), con  $t_{,87}= 4.44$ ,  $p<0.001$ . Sin embargo, las diferencias observadas en el tiempo dedicado a la asignatura en ambos grupos no resultan ser significativas ( $t_{,31}= -1.55$ , ns). Se observa que el tiempo dedicado por el grupo control es mayor al que utiliza CIS, no obstante, al haber una gran dispersión en las horas dedicadas a la asignatura, las medias no resultan significativas estadísticamente.

Para descartar la influencia de cursar la asignatura por primera vez o no, realizamos el mismo análisis segmentando entre el grupo de repetidores y no repetidores de ambas asignaturas. Los datos sugieren, en ambos casos (repetidores y no repetidores), una mayor satisfacción ( $F(1,85) = 8.66$ ,  $p<0.001$ ). La relación con la justicia percibida es marginalmente significativa ( $F(1,85) = 2.66$ ,  $p<0.10$ ). No se observan diferencias entre quienes han recibido la metodología CIS y el grupo control en el tiempo dedicado a la asignatura ( $t_{,87}=0.23$ , ns).

Finalmente, en una de las preguntas de los cuestionarios, se les pedía directamente a los alumnos que indicaran los aspectos que más valoraban de la metodología aplicada. En la tabla 3 se recogen algunas de las respuestas más repetidas, que confirman las apreciaciones ampliamente recogidas en la bibliografía:

**TABLA 3.** Valoraciones más destacadas, correspondientes a los grupos CIS y Clases Magistrales, obtenidas en el apartado de valoración personal de las encuestas de satisfacción, completadas por los alumnos al finalizar el curso.

Metodología CIS
'la facilidad de comprensión y aprendizaje', 'la posibilidad de los alumnos de participar en las clases', 'el sentirse obligados a trabajar diariamente', 'sentir que estás aprendiendo', 'implicación del profesor', 'cercanía al alumno'
Metodología Clases Magistrales
'clases "demasiado" magistrales', 'clases muy monótonas' 'falta de compromiso del profesor', 'te obliga a estudiar sólo para aprobar el examen'

## Conclusiones

Se ha presentado la aplicación de la metodología CIS, entre los años 2009 y 2020, a una asignatura de la Facultad de Química de la Universidad de Barcelona, y a diferentes asignaturas de la Facultad de Química de la Universidad de Sevilla.

La aplicación de CIS a la asignatura de Recursos Informáticos, de la Universidad de Barcelona, ha permitido evolucionar, desde niveles de aprobados del 60% o inferiores, característicos de la docencia magistral clásica, hasta niveles de aprobados superiores al 90%, que se mantienen a lo largo del tiempo sin dificultad. Debe destacarse que la implementación de la metodología activa es rápidamente asimilada por los alumnos, aunque debe explicarse con todo el detalle. Es más, resulta altamente aconsejable explicar al alumnado las evidencias científicas disponibles, pues mejora la confianza en la metodología e incrementa el nivel de implicación en esta modalidad de trabajo en el aula.

Por otro lado, la aplicación de CIS a la impartición de *Química General*, *Química Inorgánica I* y *Química Inorgánica II* del Grado en Química de la U. de Sevilla, ha dado lugar, en todos los casos, a un incremento en el porcentaje de alumnos aprobados. En concreto, se llegan a alcanzar en el curso 2018/2019 el 88% en la parte del primer cuatrimestre de *Química General*, el 100% en la asignatura *Química Inorgánica II* (en la que se aplicó CIS a lo largo de todo el curso académico). Además, un 92% de los alumnos matriculados en el caso del primer cuatrimestre de *Química General* y un 98% en el caso de *Química Inorgánica II* han seguido la asignatura de manera regular, asistiendo a clase y realizando las tareas encomendadas por el profesor.

En la asignatura *Química Inorgánica I* se alcanzó también el 100% de aprobados entre los alumnos presentados el segundo año que se aplicó la metodología CIS, pero el seguimiento de la asignatura la realizó tan sólo el 77% de los estudiantes. Comparando este resultado con el seguimiento medido en *Química Inorgánica II* y el primer cuatrimestre de *Química General* parece que ofrecer la posibilidad de una evaluación continua, bajo el requisito de asistir obligatoriamente a clase, da lugar a que los alumnos puedan experimentar esta nueva metodología y sentirse entonces atraídos y motivados por la asignatura, de tal manera que continúan seducidos hasta el final de curso.

Pero tan destacable como los resultados académicos conseguidos y el incremento de la asistencia a las clases es el grado de satisfacción alcanzado por los estudiantes, con prácticamente la totalidad de los alumnos del grupo CIS en un nivel máximo de satisfacción. Ellos se sienten enormemente satisfechos del trabajo que se ha llevado a cabo en clase y con el trabajo que ellos mismos han realizado. Consideran que, a diferencia de lo que perciben con otras asignaturas, en éstas han aprendido de verdad, y todo ello dedicándole, tal como se ha podido comprobar, el mismo tiempo que sus compañeros del grupo control. Además, se sienten más satisfechos con sus calificaciones.

Así, los extraordinarios resultados obtenidos en las encuestas de satisfacción del alumnado, representan el mejor argumento para reconocer el valor y la utilidad de este tipo de metodología docente en los estudios de química. Los alumnos aprecian y se sienten motivados al pasar de ser sujetos pasivos que reciben información del profesor a ser los responsables directos de su propio aprendizaje.

El diseño propuesto en este trabajo supone una manera de enseñar en química donde tradicionalmente conceptos muy complejos, de difícil comprensión para los alumnos, son explicados en clases magistrales sin que los alumnos tengan la oportunidad de reflexionar sobre ellos con el tiempo necesario y en presencia del profesor. La introducción en las aulas del grado en química de la metodología CIS, con los alumnos trabajando en grupo y el profesor como guía que les estimula y les motiva a buscar las soluciones requeridas obligándoles a mantener un razonamiento crítico, se ha revelado como una herramienta muy poderosa y efectiva que potencia el aprendizaje, eleva la motivación de los estudiantes y da lugar a resultados académicos exitosos.

## Agradecimientos

Deseamos dedicar este trabajo a todos nuestros estudiantes como agradecimiento a su esfuerzo e implicación en nuestras clases, y a todas las sonrisas que nos han dedicado dentro y fuera de ellas y que nos han servido de estímulo. Por otro lado, agradecemos a los Institutos de Ciencias de la Educación, o a los Institutos de Desarrollo Profesional, de las diferentes universidades, su permanente y silenciosa labor en pro del desarrollo del aprendizaje activo. La combinación de los avances

tecnológicos, y la gran labor de estos centros, son las verdaderas causas de la imparable progresión de estos importantes cambio pedagógicos.

## Bibliografía

- de Alba, N., Porlán, R. (eds.), 2020: “*Docentes universitarios. Una formación centrada en la práctica*”. Ed. Morata, Sevilla.
- Arévalo, L., Gamallo, P., Giménez, X., 2018, “*SABER 2.0 in STEM: Rewarded Correction and Subject Content – Active Learning Practical Matching Strategies*”, REIRE Journal, **11** (2), 83–95.
- Belt S.T., Evans E.H., McCreedy T., Overton T.L., Summerfield S., 2002, “*A problem-based learning approach to analytical and applied Chemistry*”, Univ. Chem. Educ., **6**(2), 65–72.
- Belt S.T., Leisvik M.J., Hyde A.J., Overton T.L., 2005, “*Using a context-based approach to undergraduate chemistry teaching – a case study for introductory physical chemistry*”, Chem. Educ. Res. Pract., **6**, 166–179.
- Belt S.T., Overton T.L., 2007, “*Context-based Case Studies in Analytical Chemistry*”, in Marbrouk P. A. (ed.), *Active Learning: Models from the Analytical Sciences*. American Chemical Society, Washington.
- Bergmann, J., Sams, A., 2014, “*Flipped Learning: Maximizing face time*”. Training and Development, New York.
- Biggs, J., Tang, C., 2011, “*Teaching for Quality Learning at University*” (4a Ed.). McGraw–Hill, England.
- Blau, I., Shamir–Imbal, T., 2017: “*Redesigned flipped learning model in an academic course: the role of co-creation and co-regulation*”. Computers and Education **115**, 69–81.
- Bologna Process, sitio oficial, 2020: <http://www.ehea.info/index.php>
- Christersson C., Staaf P., Corti P., Giménez X., McCarthy M., 2019, “*Promoting active learning in Universities*”. Thematic Peer Group Report, Learning and Teaching Paper #5. European University Association.
- Cooper, M.M.; Caballero, M.D.; Ebert–May, D.; Fata–Hartley, C.L.; Jardeleza, S.E.; Krajcik, J.S.; Laverty, J.T.; Matz, R.L.; Posey, L.A.; Underwood,

- S.M., 2015: “*Challenge faculty to transform STEM learning*”. *Science* 350, 281.
- Fletcher, S., 2013: “*Enseñanza Adaptativa*” en “*Informe especial: la educación en la era digital*”. *Investigación y Ciencia*, Septiembre 2013, 40–46.
- Francl, T.J., 2014: “*Is flipped learning appropriate?*”. *Journal of Research in Innovative Teaching* 71,
- Freeman, S. y cols., 2014: “*Active learning increases student performance in Science, Engineering, and Mathematics*”. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*. 111(23), 8410–8415.
- Geary, D.C., 2006, “*The Origin of Mind*”. American Psychological Association, Washington.
- Geary, D.C.; Berch, D. 2016: “*Evolution and children’s cognitive and academic development*”, en Geary, D.C. y Berch, D. (eds) “*Evolution and children’s cognitive and academic development*”. Springer International Publishing, Switzerland, 217–249.
- Giménez X., 2016a, “*S.A.B.E.R.: Enseñar (casi) sin clases magistrales (I) ¡Atrevámonos!*” SciLogs–Blogs de Ciencia, Investigación y Ciencia: <https://www.investigacionyciencia.es/blogs/fisica-y-quimica/39/posts/s-a-b-e-r-ensear-casi-sin-clases-magistrales-i-atrevmonos-14163>
- Giménez X., 2016b, “*S.A.B.E.R.: Enseñar (casi) sin clases magistrales (II). ¡Hagámoslo!*” SciLogs–Blogs de Ciencia, Investigación y Ciencia: <https://www.investigacionyciencia.es/blogs/fisica-y-quimica/39/posts/s-a-b-e-r-ensear-casi-sin-clases-magistrales-ii-hagmoslo-14170>
- Hills P.J., 2018, “*The Self-Teaching Process in Higher Education*”. Routledge Revivals, London.
- Hutchison J.S., 2000, “*Teaching Introductory chemistry using concept development case studies: Interactive and Inductive learning*”. *Univ. Chem. Education* 4, 3–7.
- Karpicke, J.D.; Blunt, J.R., 2011: “*Retrieval practice produces more learning than elaborative studying with concept mapping*”. *Science* 331, 772; Mintzes, J.J. et al. (Comment). *Science* 334, 453c; Karpicke, J.D.; Blunt, J.R. (Response to comment). *Science* 334, 453d.
- Kirschner, P.A.; Sweller, J; Clark, R.E., 2010: “*Why minimal guidance during instruction does not work: an analysis of the failure of constructivist, discovery, problem-based, experiential and inquiry-based teaching*”. *Educational Psychologist* 41, 75.

- Lespiau, F.; Tricot, A. 2019: “*Using primary knowledge: an efficient way to motivate students and promote the learning of formal reasoning*”. *Educational Psychology Review* 31, 915–938.
- Mazur, E., 1997, “*Peer-Instruction: A users’ Manual*”. Prentice–Hall.
- Mazur, E., 2009: “*Farewell, Lecture?*”. *Science* 323, 50–51.
- Mazur, E., 2015, “*Principles and Practice of Physics*”. Pearson Education, Boston.
- McDonnell C., O’Connor C., Seery M.K., 2007, “*Developing practical chemistry skills by means of student-driven problem-based learning mini-projects*”, *Chem. Educ. Res. Pract.*, 8, 130–139.
- Medina, J.L. (coord.), 2016, “*La docencia universitaria mediante el enfoque del aula invertida*”. Octaedro–ICE–UB.
- Mintzes, J.J., Walter, E.M. (eds.), 2020, “*Active Learning in College Science. The case for evidence-based practice*”. Springer Nature, Switzerland.
- Nichol, C.A., Szymczyk, A.J., Hutchinson, J.S., 2013: “*Data First: Building scientific reasoning in AP Chemistry via the Concept Development Study Approach*”. *J. Chem. Educ.* 91, 1318–1325.
- Prieto, A., 2017, “*Flipped Learning. Aplicar el Modelo de Aprendizaje Inverso*”. Narcea Ediciones.
- Prieto, A y cols., 2018: “*Nuevas combinaciones de aula inversa con just-in-time teaching y análisis de respuestas de los alumnos*”. *Revista Iberoamericana de educación a distancia* 21, 175–194.
- Prieto, A., Giménez, X., 2020, “*La enseñanza universitaria basada en la actividad del estudiante: evidencias de su validez*”, en “*Docentes universitarios. Una formación Centrada en la Práctica*”. Nicolás de Alba, Rafael Porlán (coords). Ed. Morata, Sevilla.
- Porlán, R. 2017: “*Enseñanza Universitaria. Como mejorarla*”. Ed. Morata, Sevilla.
- Sams, A., Bergmann, J., 2013, “*Flip your student’s learning*”. *Technology–Rich Learning*, 70, 16–20.
- Seery, M.K.; Donnelly, R., 2012: “*The implementation of pre-lecture resources to reduce in-class cognitive load: a case study for higher education chemistry*”. *British Journal of Educational Technology* 43, 667–677.
- Storm, B.C.; Bjork, E.L.; Bjork, R.A., 2008: “*Accelerated relearning after retrieval-induced forgetting: the benefit of being forgotten*”. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition* 34, 230.

- Straumanis A., 2012, “*Organic Chemistry. A guided inquiry for recitation.*” Brooks–Cole Cengage Learning, Belmont, USA.
- Summerfield S., Overton T.L., Belt S.T., 2003, “*Problem-solving case studies.*” *Anal. Chem.*, 75(7), 181–182.
- Wheeler, L.B., Clark, C.P., Grisham, C.M., 2017, “*Transforming a traditional laboratory to an inquiry–based course: Importance of training TAs when redesigning a curriculum*”. *J. Chem. Educ.* 94, 1019–1026.
- Wood, W.B., 2009a: “*Innovations in teaching undergraduate biology, and why we need them*”. *Annual Review of Cell and Developmental Biology* 25, 93.
- Wood, W.B., 2009b: “*Revising the AP biology curriculum*”. *Science* 325, 1627.

**Información de contacto:** Celia Maya, Universidad de Sevilla, Facultad de Química, Departamento de Química Inorgánica. Profesor García González, 1. 41012 Sevilla. E-mail: maya@us.es



# Synchronous Flipped Classroom in STEM subjects

## Clase Invertida Síncrona en asignaturas STEM

DOI: 10.4438/1988-592X-RE-2021-391-469

Celia Maya Díaz

Javier Iglesias Sigüenza

*Universidad de Sevilla*

Xavier Giménez

*Universitat de Barcelona*

### Abstract

A variant of flipped classroom based on synchronous sessions, aimed at solving intrinsic difficulties of STEM subjects, is presented. Synchronous Flipped Classroom provides initial tutoring, so as to fix students' weaknesses that prevent autonomous, homework progress. Thereafter, group work, problem-based learning, integration questionnaires, along with formative peer-evaluation, have been assembled to yield remarkable increases in students' performance, as well as personal satisfaction. Application to three Chemistry subjects, at the University of Sevilla, as well as one Chemistry subject, at the University of Barcelona, is thoroughly discussed.

*Keywords:* Synchronous Flipped Classroom, Group Work, Problem-Based Learning, Integration Questionnaires, Formative Evaluation, Peer Evaluation, University Education, Chemistry Teaching.

### Resumen

Se presenta una metodología de clase invertida, con modificaciones sincrónicas para adaptarse a la dificultad propia de las materias STEM. La Clase Invertida Síncrona refuerza la tutoría inicial, para resolver las dudas de los alumnos que les impiden progresar a través del material que trabajan fuera del aula. A continuación, una dinámica de trabajo en grupo, aprendizaje basado

en problemas, cuestionarios de integración, y evaluación formativa por pares, dan lugar a una destacable mejora de los resultados académicos, junto a una reducción del tiempo de trabajo y un incremento significativo en el grado de satisfacción del alumnado. Se discute su aplicación a tres asignaturas del Grado en Química de la Universidad de Sevilla, así como una asignatura del Grado de Química de la Universidad de Barcelona.

*Palabras clave:* Clase Invertida Síncrona, Trabajo en Grupo, Aprendizaje Basado en Problemas, Cuestionarios de Integración, Evaluación Formativa por pares, Enseñanza Universitaria, Enseñanza de la Química.

## Introduction

New students come to classrooms immersed in a digital and technological world, where device interactivity opens up new avenues for teaching action. For instance, the information that a teacher can provide in class may be downloaded by students, nowadays, instantly. This case, and of course many others, enhances the use of more sophisticated pedagogical resources to increase the efficiency of learning (Fletcher, 2013).

The basic paradigm, staged in Europe through the so-called Bologna process (Bologna Process, 2020), is that improvement in learning performance should not be solved by the student alone, but should be based on greater academic support by the teacher (Biggs and Tang, 2011).

Therefore, university professor's main role is no longer knowledge transmission. Its main mission is now to accompany and guide the student, through their personal learning process, using better pedagogical resources and all the resources that digitization puts at their disposal (Seery, 2012).

Students, for their part, must acquire more complex skills that allow them to use the appropriate knowledge to solve complex situations. This requires a more experiential and, above all, active learning and teaching, which strongly contrasts with the traditional expository methodology, commonly identified as “dissertation” or “lecturing”, where the student adopts an essentially passive role (Freeman, 2014).

For these reasons, university teachers have been immersed, for more than two decades (Mazur, 1997), but with special intensity since the beginning of this decade, in a change in their way of teaching. The so-called active learning, a set of methodologies in which activity in the classroom focuses on the student, is increasing its presence in a multitude of university centers, mainly in Europe, the United States, Australia and New Zealand (Biggs and Tang, 2011; Christersson, 2019; Mintzes and Walter, 2020). General methodologies based on “flipping the classroom (FC)” stand out powerfully. They are based in letting the student acquire a first basis of information, through personal effort, and then work on the application and acquisition of skills and abilities in the classroom (Medina, 2016; Prieto, 2017).

This general scheme of active learning then admits many particular teaching methodologies, which frame the specific way of working contents: project-, problem-, competences-, or thinking-based learning, cooperative learning, gamification, or design thinking are already part of the day-to-day life of many universities in wide, varied areas (de Alba, 2020).

In STEM degrees (Science, Technology, Engineering and Mathematics), and therefore in Chemistry, the use of these methodologies is less frequent (Freeman, 2014). Even so, numerous (and successful) cases have been described, highlighting the original FC, applied by Sams and Bergmann for the first time in 2007, in Secondary Chemistry (Sams, 2013; Bergmann, 2014), the profound reform of contents, based on constructivism, carried out through Concept Development Studies, by Hutchinson at Rice University, since 1998 (Hutchinson, 2000), or the proposal called Project Based Guided Inquiry, by Wheeler and others, at the University of Virginia (Wheeler, 2017). Other proposals would be the POGIL method (Straumanis, 2012) or the application of PBL, Problem-Based Learning, which has grown in the field of analytical chemistry, and is also used in industrial, pharmaceutical, environmental or forensic chemistry (Belt, 2002; Summerfield, 2003; Belt, 2005; Belt and Overton, 2007; McDonnell, 2007; Williams and Parker, 2012; Clarke, 2012; Dicks and Batey, 2013).

However, less applied areas of knowledge are more resistant to the development of active learning. The complexity of concepts, sometimes too abstract or with complicated mathematical foundations, pose a fundamental obstacle. Leaving that part of the learning to student's

autonomous work is therefore a contradiction from the point of view of the teacher's tutorial role (Lespiau, 2019). It is of no surprise, then, that teaching staff perceives that students simply switch off during their explanations, which entails less motivation and insufficient academic results.

Therefore, any active learning methodology demands, in these cases, additional reinforcements to ensure that students maintain constant effort throughout the course (Arévalo, 2018).

What can be done, then, when students have great difficulty understanding materials that should be worked out autonomously? How can we solve the delay of those who quickly lose the pace? Incidentally, these are some of the recurring questions that change-resistant teachers use in order not to change, as if traditional methodologies give a satisfactory answer (Cooper, 2015). When it is precisely the situation generated by traditional classes that has caused the previous questions and whose answers led, at least in part, to the development of active learning methodologies (Mazur, 2009).

The strategy followed in the methodology developed in this article, to solve the previous problem, is based, from a general point of view, on the contribution of David C. Geary, summarized in his important publication "The origin of the mind" (Geary, 2006), as well as by John Sweller's works on "Cognitive Load Theory (CLT)" (Kirchsner, 2010). These authors propose, when necessary, greater guidance by the teacher, from the beginning of the work until the students are more capable of functioning with greater autonomy.

CLT allows discerning which part of learning requires close monitoring, and which part allows greater autonomy. Basically, those subjects whose content can be taught resourcing on individual life experiences, linguistic knowledge, as well as the use of senses, allow a high degree of self-learning. It is what, in more and more contexts, is known as "primary knowledge". On the other hand, subjects that require a cultural background and increasing levels of abstraction, especially mathematics, need more guidance from the teacher, from the beginning. This type of content adduces to "secondary knowledge" (Geary, 2016).

For this reason, and without prejudice to other, successful versions of flipped classroom (Francl, 2014; Blau, 2017; Prieto, 2018), a variant of it is exposed in the present work. It starts activity on a certain topic always in the classroom, under teacher tutoring, from the first moment.

This variant, called “Synchronous Flipped Classroom (SFC)”, has been gradually developed since 2009, by one of the authors (Giménez, 2016a; 2016b; Medina, 2016), until reaching its current format, which is described in detail in this Article.

Comparison of overall academic results, during years 2009 to 2020, against control groups that have followed the traditional exposition methodology, has allowed to verify how academic performance is clearly higher, in line with other successful active learning practices, in a STEM environment (Freeman, 2014).

The present work also shows the practical application of the SFC methodology, to various subjects of the Chemistry degree, of the Universities of Sevilla and Barcelona, Spain, for which SFC has established itself as a mature, highly appreciated methodology.

## The SFC methodology

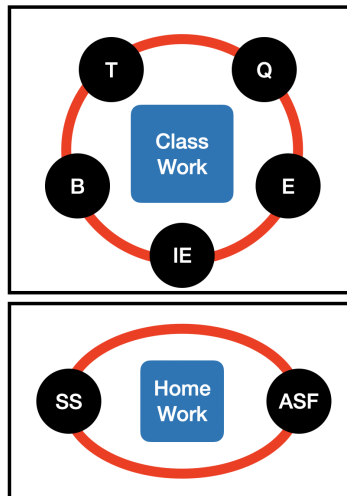
As we have just mentioned, the implementation of the SFC work scheme in the classroom has been developed since 2009, in various stages, at the University of Barcelona, and since 2017 at the University of Sevilla. As it happens in the rest of the flipped classroom modalities, the SFC scheme eliminates most of the lectures and replaces them with work by students in the classroom, under the supervision of the teacher.

A broader view of what differences mean, between FC and SFC methods, may be obtained by placing FC and SFC in opposing extremes of a class of methods, in which synchronicity might be implemented variably. This means understanding synchronicity as a “parameter”, whose “value” depends on the course, maturity of the specific group of students, and of course content. Greater maturity, or less abstract content, allows replacing the initial guide provided by the teacher, by readings or viewings of material, always in quantities that involve moderate efforts by students. One should not forget that excessive workload is one of the factors that lead to abandonment of continuous work by students (Medina, 2016).

The content of the SFC method is outlined in Figure 1. During the development of the classes, new concepts of theory are worked on, which are followed by practical activities. The former consists mainly of text readings, selected or prepared by the teacher, as well as video viewings,

either also prepared by the teacher, or available on the Internet. These activities are carried out previously, in the FC method, and carried out synchronously in the classroom, in the SFC variant, instead. The practical activities are based on answering questions related to theoretical concepts and their application to practical cases.

**FIGURE 1.** Diagram of classroom and home activities involved in the Synchronous Flipped Classroom, SFC. The weight of each activity depends mainly on a) content; and b) degree of maturity of students. Greater conceptual content difficulty and lower degree of maturity imply greater guidance from the teacher and, therefore, an increase in activities with direct interaction between the teacher and the student. T: Theory; Q: Questions; B: "Blackboard" teaching; E: Exercises; IE: Integration Exercises; SS: Self-Study; ASF: Activity Script Finishing.



The main elements that make up the class dynamics, under the SFC scheme, are exposed below:

### On course material and calendar

- The so-called Activity Scripts (AS) are worked out in the classroom.
- AS have been developed by the teacher and contain the detailed script of activities that students must carry out, with the teacher's help, in classroom, in-person sessions.

- The calendar of all ASs that make up the course (typically, between 10 and 15 for a 6-credit semester course) is available and known from the beginning.
- The dossier with answers to AS is delivered through the Virtual Campus, before scheduled date and time.
- Given that planning competencies of students are not fully developed, especially in the first courses, it is very convenient to send frequent reminders on AS deadlines. This point becomes critical in distance learning environments.

## On class work and teacher-student interaction

- Classroom work is done in groups of 3 to 5 students.
- The students write down a report. Although they work in groups, report writing is individual. It contains the answers to the AS questions.
- Working groups are set up freely. Moreover, its composition may change throughout the class sessions. As relevant authors (Hutchinson, 2020) point out, it is not a critical parameter, so it can be used to create greater comfort for the student, when deemed relevant.
- The role of different group members (driver, receiver ...) has to rotate throughout the same session, or across different sessions in shorter time settings, always following teacher's advice.
- Answers to AS questions must be based on bibliography, notes, previous practices, textbooks and, highly advisable, the web. Therefore, responses cannot contain hypotheses not supported by the literature.
- Consequently, any response must include the source from which the information was obtained.
- ASs suggest readings, mainly from the textbook or teacher's notes, as an initial activity. These readings, as well as the questions that will be raised later, should be discussed by working groups.
- The necessary arguments are discussed among group members, as well as between different groups. Students may freely consult between groups or do so following teacher's instructions.

- Any topic that, after being discussed within the group, or among several groups, does not yield consensus for the answer, might be asked to the teacher. This includes readings, questions as well as external sources of information.
- Questioning is central to learning; in no case will student's questions serve as evaluation criteria. Therefore, students should be encouraged to translate any issue into the question format.
- It is not appropriate, or operational, to assume that the student has the competence to correctly formulate questions that properly cast his doubt or confusion. The teacher will help in this questioning phase, especially initially. Explicit awareness on these difficulties is of great pedagogical value for the student.

## On correcting Activity Sheets

- Correction of questions raised in the AS is not done during class time. It should be insisted on this point and that students ask the teacher everything related to the questions. In addition, they will usually have information that serves as a reference, such as the numerical values of the solution, where appropriate.
- However, a peer correction will be made during the last sessions of the course (Karpicke and Blunt, 2011).
- Each student must correct one or two AS of any other student, depending on the length of the subject and their position within the Bachelor or Master that is being studied. This correction is made in class, under teacher tutoring.
- The correction is not limited to question marking. Students must identify the sources of error or success. This analysis is a very important source of learning and provides a very relevant sense of progress.
- This analysis of the causes of error and / or success can be carried out in groups, but the corrections must be submitted individually.
- Both the AS, as well as fixes, error–success analyses, must be completed outside class hours, if necessary. That is, students are helped from start of the work, but they are required to know how to plan its completion. Difficulties are fixed at the beginning, whereas

autonomous work is encouraged only when students become sufficiently acquainted with the task.

## On continuous and formative evaluation

- The teacher will score the corrections, both for corrected and correcting students. The rating represents 30% of the total. In addition, class work will also be evaluated (basically, constancy in work) weighting another 30% in the final grade.
- Before starting ASs, students answer a short questionnaire of about 10 multiple-choice questions. The same questionnaire will be taken at the end of the AS, providing the student with an internal measure of their progress.
- One week after the delivery of each AS, the students will once again take the initial questionnaire associated with that AS. As mentioned, comparing before / after results will allow you to measure your progress.
- These questionnaires are answered outside of class hours, for time efficiency. However, it is advisable, to acquire adequate fluency with the questionnaires, that at least the first one is done in class.
- However, those students with problems following the course, or those who miss a certain number of in-person sessions, will take the questionnaires in person in the classroom. This improves monitoring students with difficulties, while discouraging them from attempting unauthorized actions.
- Depending on the course length, between two and four integration questionnaires will be carried out on an evenly distributed calendar. The grade obtained weighs 40% in the final grade for the course.
- These questionnaires contain questions that force us to relate different ASs, or to raise a certain concept in different application contexts. These questionnaires are carried out when enough time has passed since the AS. As Professor Bjork's research group (Storm, 2008) has shown, learning requires a certain level of forgetting first.
- All questionnaires, except the last one, are done outside class sessions, and therefore do not require being in-person. The last questionnaire, however, must be done during class time. The reason is that it serves as a deterrent to unethical attitudes. In fact, students

are informed that, in the event of flagrant differences in scores between on-line and in-person questionnaires, only in-person results will be taken into account. It is not outrageous, since the last questionnaire contains material corresponding to the entire course.

- Students may request individual tutoring sessions. They are useful for those students who do not take full advantage of the group work dynamics. In addition, students who are late, or those who miss face-to-face sessions, are obliged to request these sessions.

Following the above points allows a complete course to be developed under the Synchronous Inverted Class, SFC scheme, as long as the corresponding activity scripts have been adequately developed. The latter is not an easy task, and actually involves at least three courses (Porlán, 2017), not to mention issues related to content selection, a fundamental problem that might be addressed once active methodologies become common practice (Wood, 2009a, 2009b; Hutchinson, 2014; Mazur, 2015; Porlán, 2017; Arévalo, 2018).

As can be seen, the practical implementation aspects of the methodology go beyond a simple synchronous flip of the classroom. For example, the need to incorporate formative evaluation has led to the questionnaires before and after AS, as well as correction by peers with error-success analysis. Since peer correction is carried out without having the reference answers, it is a form of Autonomous Peer Correction, APC. The combination SFC plus APC has been called SABER (Giménez 2016a; 2016b), acronym for Supervision of Basic Learning through Exercises and self-Reflection.

As we will see below, the extensive use of the SABER methodology gives good results, in all the cases in which it has been applied. In fact, such results confirm trends shown by other FCs. Therefore, one may conclude that methodologies based on active learning, applied with a sufficient level of teacher supervision, based on pedagogically sound materials, are better than the best implementations of the traditional methodology, for STEM subjects (Freeman, 2014).

## Validation of sfc methodology and its application to different subjects

The methodology proposed in this study has been thoroughly used in the subject Introduction to Programming, taught during the second semester, 1st year of the Chemistry Degree at the University of Barcelona, whose academic results between the 2009-2020 period have served as a general validation. Results obtained in three subjects of the Chemistry Degree, at the University of Sevilla, namely General Chemistry (taught during the 1st year), Inorganic Chemistry I (2nd year) and Inorganic Chemistry II (3rd), have been instrumental for further validation and extension to other subject typologies. The latter include academic performance and subjective assessment by students. In all cases, the academic results have been compared with control groups, which have followed the traditional dissertation methodology, either from the same academic year or from previous courses.

### Introduction to Programming at the University of Barcelona

Figure 2 shows the results of the comparative study between traditional teaching and the SFC method, which was carried out between 2009 and 2020, at the University of Barcelona. This comparison has been made with a first-year subject, Introduction to Programming.

Time elapsed shows two different stages, significant from the point of view of pedagogical methodology:

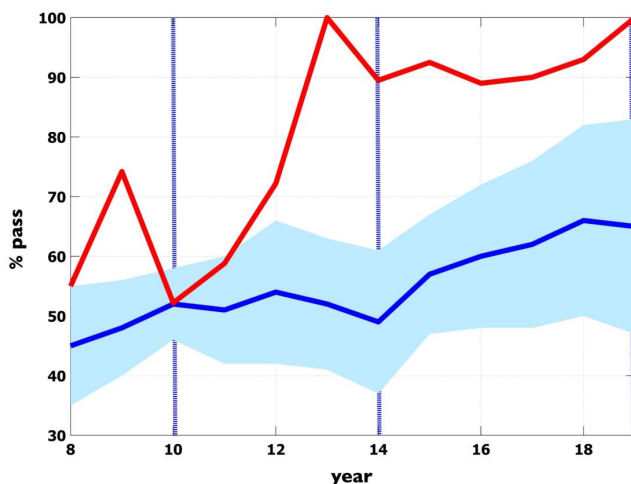
- Initially (period 2008–2014) programming learning is carried out using the FORTRAN language, and the course gradually introduces the different elements, combining theoretical sessions with lists of exercises. The theoretical part is explained in a classical, dissertation format, backed with slide presentations.
- As of 2014–2015 academic year, a move to high-level Python language is undertaken, maintaining the course structure. In addition, Activity Scripts are developed, which combine theory and exercises in a single, self-executable document.

Classes are organized in 11 groups containing between 20 and 30 students each, and consist of 14 sessions of 2 hours each, at a rate of

6 hours per week. It is therefore a compact course, since it involves only 6 weeks, with the particularity that the workload is high, since in 6 weeks students to learn to program, through the subprograms of the available libraries, problems of some complexity, such as iterative cycles, numerical integration or linear function fit.

The evaluation tests are the same, with the same scoring criteria, between SFC and control groups. Therefore, the only difference is the methodology of classroom work, with the exceptions mentioned above, referring to the two stages of the subject.

**FIGURE 2.** Percentage of pass students, for academic years 2008–2009 to 2019–2020, Introduction to Programming, taught during the first year of the Chemistry Degree at the University of Barcelona. Red line shows results for SFC group, while the blue line shows results, with one standard deviation in light blue, for the remaining 10 dissertation, control groups. The 2010 dashed vertical line indicates ending period of a first version of the SFC methodology. In previous years, a primitive version of the SFC method had been used, based on reducing the number of lectures and interacting more intensely with the students during programmed exercises. The 2014 dashed blue vertical line indicates a change from Fortran programming language to Python, as well as the introduction of Activity Scripts as course material. The 2019 dashed blue vertical line indicates the course taught in blended format, due to the Covid-19 pandemic.



The comparison between the two groups of results, and the analysis of their temporal evolution, provide a good amount of relevant data. This analysis requires distinguishing three situations:

- a) Results prior to 2010: The ten control groups use classical methodology, using slides as support for dissertations (12 class hours) and working on exercises in class for 16 hours. The SFC (primitive) group is based on reducing the theory class hours to 8 and increasing exercise hours to 20. It results in a slight improvement, although not significant.
- b) Results between 2010 and 2014: The control groups use classical methodology (slides plus exercises), while the SFC group discards theory dissertation, tutoring students' exercises more intensively. The SFC results are clearly ascending, while the control results remain at their usual values.
- c) Results from 2014: The control groups are divided into those that use the classic methodology, and the others that use the Activity Scripts, in classic format, that is, teacher's dissertation is kept. The SFC group applies the methodology fully, including group work and peer review. SFC results keep student's pass level at maximum, whereas in control groups an improvement trend is detected.

It should also be mentioned that the last academic year, 2019–2020, was affected by the Covid–19 pandemic, which required blending the course format and, in particular, switching to on–line sessions for the last two weeks. Even so, the trend shown in previous years still holds, concerning the difference between SFC and control group results.

## **General and Inorganic Chemistry I and II, University of Sevilla**

The subjects are taught in two–semester courses, having 18, 13.5 and 10.5 ECTS credits, at a rate of 4 1–hour sessions per week, in the case of General Chemistry, as well as 2 1–hour classes in Inorganic Chemistry I and II. In addition to the time assigned to theory classes (see Table 1), in which the entire group of students participate, seminars are given in small groups, each lasting 2 hours. Table 1 shows the distribution of activities by subject, as well as their enrollment.

**TABLE I.** Relevant data for the subjects where the SFC methodology has been applied in the present study. The abbreviation “rep” stands for students who take the subject for the second time or more.

Subject, Year	Dissertation sessions / hours	Exercise Seminars / hours	Enrollment (year)
General Chemistry, 1	<b>112</b>	<b>24</b>	<b>68</b> (2018–2019), <b>24 rep</b> <b>51</b> (2019–2020), <b>13 rep</b>
Inorganic Chemistry I, 2	<b>60</b>	<b>16</b>	<b>53</b> (2016–2017) <b>52</b> (2017–2018)
Inorganic Chemistry II, 3	<b>43</b>	<b>14</b>	<b>38</b> (2018–2019), <b>22 rep</b>

Two types of variables have been examined:

**I) Objective indicators:**

- a) pass percentage among *attending* students,
- b) pass percentage among *enrollment*,
- c) *attending* vs *enrollment* rate.

**II) Student’s subjective assessment indicators:**

- a) **satisfaction** with different subject aspects: material provided, applied methodology, work done by the teacher, evaluation system, and learning self-evaluation.
- b) **balance** between academic results and student effort.
- c) **time** devoted to self-study.

Type II indicators were evaluated, only for 2018–2019 academic year, by means of a quasi-experimental design with natural groups, where the experimental group is made up of SFC General Chemistry and Inorganic Chemistry II students, and the control group is, in the case of Inorganic Chemistry II, the remaining groups that follow a methodology based solely on dissertation classes, while in General Chemistry, the group itself changes its methodology when moving from first to second semester. The difference analysis has been carried out using “t of Student” test, for the contrast of means, as well as an Analysis of Variance for the analysis of interactions between the experimental condition and students taking the subject for the first time or not.

Class attendance in General Chemistry (GC) and Inorganic Chemistry II (IC–II), for 2018/19 and 2019/2020 academic years, was imposed as mandatory, in order to participate in the continuous assessment system. 60 (GC, 2018/19), 47 (GC, 2019/2020) and 32 (IC–II, 2018/2020) students attended regularly class sessions and did assigned work. It should be noted that no distinction is made on activities carried out in theory classes or exercise seminars, except that small student groups were used for the latter.

SFC was fully applied in 2018/2019 academic year, Inorganic Chemistry II course. In the case of General Chemistry, it has been used in 2018/2019 and 2019/2020 academic years, although only during the first semester; the traditional dissertation methodology was used in the corresponding second semesters.

**TABLE 2a.** Comparison in pass percentage, between groups that followed the SFC methodology (SFC), and groups that followed the traditional dissertation (Dis) methodology, General Chemistry subject. Red: SFC results. See text for an explanation of Year 18/19. Year 19/20 shows SFC results for the first semester only.

**General Chemistry**

Year	2015–2016		2016–2017		2017–2018		2018–2019		2019–2020	
	Dis	SFC	Dis	SFC	Dis	SFC	Dis	SFC	Dis	SFC
Attending (Enrollment) pass / %	72 (56)		61 (54)		42 (48)		66 (42) 69 (55) 21 (13) 55 (35)	48 (44) 88 (56)		59 (57)
Attending vs Enrollment / %	78		88		87		92	62 64		96

Tables 2a–c show results obtained in type I indicators, for the groups in which the SFC methodology has been applied in the 2016/17–2019/20 academic years. Values in red are results achieved when applying the SFC teaching methodology. Table 2b SFC results correspond to courses in which work began using Activity Scripts, but the remaining aspects of SFC were not deployed. Values in black refer, unless indicated, to overall

percentages, *i.e.* considering jointly results for all teaching groups that include, if applicable, SFC groups.

**TABLE 2b.** Red: results for the SFC methodology. Black: average of all groups. Inorganic Chemistry I subject. It should be noted, however, that students followed an incomplete version of SFC: the AS were not sent to the teacher at the end of the topic, they did not compare their answers with those of the teacher, the classes were not mandatory, they did not have a prior scheduling of autonomous work activities, nor did they perform any evaluation other than official exams.

***Inorganic Chemistry I***

Year	2015–2016		2016–2017		2017–2018	
	<i>Dis</i>	<i>SFC</i>	<i>Dis</i>	<i>SFC</i>	<i>Dis</i>	<i>SFC</i>
Attending (Enrollment) pass / %	<b>81 (66)</b>		<b>83 (62)</b>	<b>80 (53)</b>	<b>91 (71)</b>	<b>100 (77)</b>
Attending vs Enrollment / %	<b>81</b>		<b>74</b>	<b>66</b>	<b>78</b>	<b>77</b>

**TABLE 2C.** Inorganic Chemistry II subject. Red: results for the SFC methodology. Black: all-group average.

***Inorganic Chemistry II***

Year	2015–2016		2016–2017		2017–2018		2018–2019	
	<i>Dis</i>	<i>SFC</i>	<i>Dis</i>	<i>SFC</i>	<i>Dis</i>	<i>SFC</i>	<i>Dis</i>	<i>SFC</i>
Attending (Enrollment) pass / %	<b>61 (41)</b>		<b>70 (50)</b>		<b>69 (49)</b>		<b>77 (60)</b>	<b>100 (98)</b>
Attending vs Enrollment / %	<b>68</b>		<b>72</b>		<b>73</b>		<b>78</b>	<b>98</b>

It should be noted that the GC 2019/2020 academic year shows data for the first semester only. The proper comparison with 2018/19 year is made possible after splitting dissertation group results in 4 cases: the first two show pass percentages, overall (what is known as July and September calls). The third includes the results of the first and second semester exams. The fourth indicates the percentage of students who passed the part of the exam corresponding to the first semester, on the one hand, and the part corresponding to the second, on the other. Course clearance required passing both parts independently.

Results compiled in Tables 2a–c reveal significant trends. First, it is observed that the application of the SFC methodology to IC–II led to a 100% pass rate of attending students, which represented a substantial increase compared to the results of previous courses. In addition, it is found that the percentage of students attending exams increased.

General Chemistry was taught under SFC methodology during the first semesters of 2018/19 and 2019/20. Comparing first and second semester exam data shows, in both years, very notable differences in pass percentage and attendance rate. SFC, 2018–2019 1<sup>st</sup> semester values are higher than traditional, 2<sup>nd</sup> semester results for the same year. Consideration of 2018–2019 July and September exams, shows 88% pass for first semester, this percentage dropping to 55% for the second semester. Actually, a passing percentage of 88% was a result much higher than the average for that subject in previous years, as the top performance was 72% in 2015/2016. This subject evaluation is complex, in any case, since passing requires independent pass of 1<sup>st</sup> and 2<sup>nd</sup> semester exams. For this reason, the overall pass percentage drops to 66% of attendants, but it is still a number higher than average of previous years' control groups.

It is also interesting to highlight an observed decrease, between first and second semesters of the 2018/19 academic year, regarding student attendance to General Chemistry exams. Second semester attendance was 64%, much lower than 92% recorded in the first semester exam. It is even a lower percentage than the average of those attending this subject in previous, dissertation courses. No further information is available on this issue, even though informal chats with students attributed this decrease to student's lack of motivation as they had to change the methodology in the second semester.

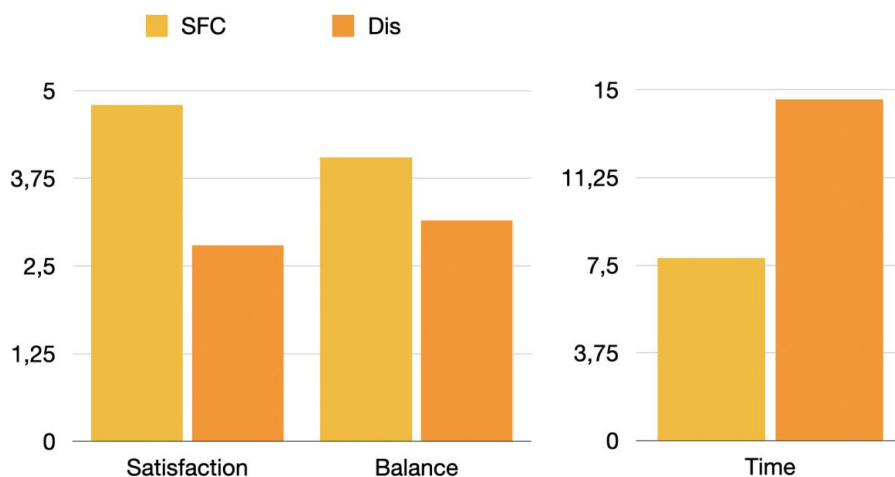
The partial application of the SFC methodology to Inorganic Chemistry I, academic year 2017/18, resulted in 100% pass rate. However, the rate of attending students versus those enrolled still continued within the overall ranges of the subject.

Subjective assessment was provided by questionnaires circulated to 2018–2019 General Chemistry and Inorganic Chemistry II students. Mean comparison between SFC and control group show significant differences in the *satisfaction* variable, for the complete set of surveyed aspects, showing the SFC group higher levels of satisfaction ( $M = 4.78$ ) than the control group ( $M = 2.78$ ), with  $t, 87, = 14.53, p < 0.001$ .

There are also differences in the positive evaluation of the *balance* variable, so that the SFC groups consider the evaluation as fairer ( $M = 4.09$ ) than the control group ( $M = 3.17$ ), with  $t, 87, = 4.44, p < 0.001$ . However, the differences observed in *time* devoted to the subject in both groups were not significant ( $t, 31, = -1.55, ns$ ). It is observed that time in the control group is greater than that used in SFC, however, as there is a great dispersion in such values, mean value differences are not statistically significant.

Finally, ruling out the influence of taking the subject for the first time or not, required performing the same analysis, but segmenting between first- and second-time takers of both subjects. Data suggests, for both first-time and second-time takers, greater satisfaction ( $F(1,85) = 8.66, p < 0.001$ ). The relationship with perceived balance is marginally significant ( $F(1,85) = 2.66, p < 0.10$ ). Finally, no differences arise, between those under SFC methodology and the control group, concerning time devoted to the subject ( $t, 87, = 0.23, ns$ ).

**FIGURE 3.** Analysis of *Satisfaction*, *Balance* and *Time* variables, for SFC and Dissertation groups. A scale from 1 to 5 has been used for Satisfaction and Balance, in which 1 corresponds to 'very little satisfied' and 5 to 'very satisfied'. Time is given in hours.



As a final conclusion, students were asked directly to write down sentences describing aspects valued the most, for SFC and Dissertation methodologies. Table 3 shows some of the most frequent responses, which confirm observations widely collected in the bibliography:

**TABLE 3.** Most relevant comments, for SFC and Dissertation groups, from the personal evaluation section of satisfaction surveys, completed by students at the end of the course.

<b>Synchronous Flipped Classroom</b>
'Ease of understanding and learning', 'the possibility of students to participate in class', 'feeling obliged to work daily', 'feeling that you are learning', 'teacher involvement', 'closeness to the student'
<b>Dissertation</b>
'Too much dissertation classes', 'very monotonous classes' 'lack of commitment from the teacher', 'forces you to study just to pass the exam'

## Conclusions

The application of the SFC methodology, between 2009 and 2020, to a subject of the Chemistry Degree of the University of Barcelona, along with three different subjects of the Chemistry Degree of the University of Seville, between 2017 and 2020, has been presented.

Use of SFC in class sessions of Introduction to Programming, at the University of Barcelona, has made it possible to improve, from pass levels of 60% or lower, characteristic of traditional dissertation teaching, to pass levels higher than 90%, which are solidly, effortlessly maintained over time. It should be noted that implementing the active methodology is quickly understood, and well appreciated, by students, although its foundations must be explained in detail. In this regard, it is highly advisable to explain the available scientific evidence to the students, as it improves confidence in the methodology and increases the level of involvement in this type of work in the classroom.

On the other hand, the application of SFC to the teaching of General Chemistry, Inorganic Chemistry I and Inorganic Chemistry II, of the Chemistry Degree at the University of Sevilla, has led in all cases to an increase in pass percentage. Specifically, 88% pass in first semester of 2018/2019 General Chemistry, and 100% in the two-semester Inorganic Chemistry II subject, was obtained. In addition, 92% of first-semester General Chemistry enrollment and 98% of Inorganic Chemistry II enrollment were able to follow the subject regularly, attending class and carrying out the tasks assigned by the teacher.

Teaching Inorganic Chemistry I under SFC led also to 100% pass rates of attending students, for the second year of SFC application, with attendance rate of 77%. Comparing this result with reference results in Inorganic Chemistry II and first-semester General Chemistry, it seems that offering the possibility of continuous evaluation, under the requirement of compulsory class attendance, makes students being able to experience this new methodology and feel attracted and engaged by the subject, in such a way that they manage to keep up constant work until the end of the course.

But as remarkable as improved academic results and increased class attendance, is the degree of satisfaction evidenced by students, with nearly unanimous top-level markings in SFC groups. Students declared being extremely satisfied with the work that has been done in class, as

well as with the work that they have done themselves. They consider that, unlike other subjects' perceptions, they achieve true levels of learning, with no relevant increase in time devoted to personal work, as compared to their peers in the control group. Students feel also more satisfied with their grades.

Thus, excellent results from student satisfaction surveys have been obtained, becoming perhaps one of the best arguments for assessing the usefulness of this type of teaching methodology. Students engage in the transition from passive subjects, to being directly responsible for their own learning.

The pedagogical setting presented in this work appears as a real possibility of changing the traditional teaching of chemistry. An opportunity to skip dissertation classes in which very complex, difficult to understand concepts are tackled passively. Active learning provides students, therefore, the opportunity to reflect on such difficult concepts, devoting sufficient, active work, under teacher's direct, explicit advice. In addition, group work and peer correction stimulate and motivate students to seek the required solutions, forcing them to maintain critical reasoning. Overall speaking, SFC has revealed as a very useful, powerful and effective tool that enhances learning, raises student motivation and leads to successful academic results.

## Acknowledgments

We wish to dedicate this work to our students as an acknowledgment for their effort and involvement in our classes, and for all the smiles that served as encouragement. On the other hand, we thank the Institutes of Education Science, or Professional Development Institutes, of the different universities, for their permanent and silent work in favor of active learning development. The combination of technological advances, and the great work done by these centers, are the real causes of the unstoppable progression of these important pedagogical changes.

## References

- de Alba, N., Porlán, R. (eds.), 2020: “*Docentes universitarios. Una formación centrada en la práctica*”. Ed. Morata, Sevilla.
- Arévalo, L., Gamallo, P., Giménez, X., 2018, “*SABER 2.0 in STEM: Rewarded Correction and Subject Content – Active Learning Practical Matching Strategies*”, REIRE Journal, **11** (2), 83–95.
- Belt S.T., Evans E.H., McCreedy T., Overton T.L., Summerfield S., 2002, “*A problem-based learning approach to analytical and applied Chemistry*”, Univ. Chem. Educ., **6**(2), 65–72.
- Belt S.T., Leisvik M.J., Hyde A.J., Overton T.L., 2005, “*Using a context-based approach to undergraduate chemistry teaching – a case study for introductory physical chemistry*”, Chem. Educ. Res. Pract., **6**, 166–179.
- Belt S.T., Overton T.L., 2007, “*Context-based Case Studies in Analytical Chemistry*”, in Marbrouk P. A. (ed.), *Active Learning: Models from the Analytical Sciences*. American Chemical Society, Washington.
- Bergmann, J., Sams, A., 2014, “*Flipped Learning: Maximizing face time*”. Training and Development, New York.
- Biggs, J., Tang, C., 2011, “*Teaching for Quality Learning at University*” (4a Ed.). McGraw–Hill, England.
- Blau, I., Shamir–Imbal, T., 2017: “*Redesigned flipped learning model in an academic course: the role of co-creation and co-regulation*”. Computers and Education **115**, 69–81.
- Bologna Process, official site, 2020: <http://www.ehea.info/index.php>
- Christersson C., Staaf P., Corti P., Giménez X., McCarthy M., 2019, “*Promoting active learning in Universities*”. Thematic Peer Group Report, Learning and Teaching Paper #5. European University Association.
- Cooper, M.M.; Caballero, M.D.; Ebert–May, D.; Fata–Hartley, C.L.; Jardeleza, S.E.; Krajcik, J.S.; Laverty, J.T.; Matz, R.L.; Posey, L.A.; Underwood, S.M., 2015: “*Challenge faculty to transform STEM learning*”. Science **350**, 281.
- Fletcher, S., 2013: “*Enseñanza Adaptativa*” in “*Informe especial: la educación en la era digital*”. Investigación y Ciencia, September 2013, 40–46.
- Francl, T.J., 2014: “*Is flipped learning appropriate?*”. Journal of Research in Innovative Teaching **71**,

- Freeman, S. y cols., 2014: “*Active learning increases student performance in Science, Engineering, and Mathematics*”. Proc. Natl. Acad. Sci. USA. 111(23), 8410–8415.
- Geary, D.C., 2006, “*The Origin of Mind*”. American Psychological Association, Washington.
- Geary, D.C.; Berch, D. 2016: “*Evolution and children’s cognitive and academic development*”, in Geary, D.C. and Berch, D. (eds) “*Evolution and children’s cognitive and academic development*”. Springer International Publishing, Switzerland, 217–249.
- Giménez X., 2016a, “*S.A.B.E.R.: Enseñar (casi) sin clases magistrales (I) ¡Atrevámonos!*” SciLogs–Blogs de Ciencia, Investigación y Ciencia: <https://www.investigacionyciencia.es/blogs/fisica-y-quimica/39/posts/s-a-b-e-r-ensear-casi-sin-clases-magistrales-i-atrevmonos-14163>
- Giménez X., 2016b, “*S.A.B.E.R.: Enseñar (casi) sin clases magistrales (II). ¡Hagámoslo!*” SciLogs–Blogs de Ciencia, Investigación y Ciencia: <https://www.investigacionyciencia.es/blogs/fisica-y-quimica/39/posts/s-a-b-e-r-ensear-casi-sin-clases-magistrales-ii-hagmoslo-14170>
- Hills P.J., 2018, “*The Self-Teaching Process in Higher Education*”. Routledge Revivals, London.
- Hutchison J.S., 2000, “*Teaching Introductory chemistry using concept development case studies: Interactive and Inductive learning*”. Univ. Chem. Education 4, 3–7.
- Karpicke, J.D.; Blunt, J.R., 2011: “*Retrieval practice produces more learning than elaborative studying with concept mapping*”. Science 331, 772; Mintzes, J.J. et al. (Comment). Science 334, 453c; Karpicke, J.D.; Blunt, J.R. (Response to comment). Science 334, 453d.
- Kirschner, P.A.; Sweller, J; Clark, R.E., 2010: “*Why minimal guidance during instruction does not work: an analysis of the failure of constructivist, discovery, problem-based, experiential and inquiry-based teaching*”. Educational Psychologist 41, 75.
- Lespiau, F; Tricot, A. 2019: “*Using primary knowledge: an efficient way to motivate students and promote the learning of formal reasoning*”. Educational Psychology Review 31, 915–938.
- Mazur, E., 1997, “*Peer-Instruction: A users’ Manual*”. Prentice–Hall.
- Mazur, E., 2009: “*Farewell, Lecture?*”. Science 323, 50–51.
- Mazur, E., 2015, “*Principles and Practice of Physics*”. Pearson Education, Boston.

- McDonnell C., O'Connor C., Seery M.K., 2007, "*Developing practical chemistry skills by means of student-driven problem-based learning mini-projects*", Chem. Educ. Res. Pract., 8, 130–139.
- Medina, J.L. (coord.), 2016, "*La docencia universitaria mediante el enfoque del aula invertida*". Octaedro–ICE–UB.
- Mintzes, J.J., Walter, E.M. (eds.), 2020, "*Active Learning in College Science. The case for evidence-based practice*". Springer Nature, Switzerland.
- Nichol, C.A., Szymczyk, A.J., Hutchinson, J.S., 2013: "*Data First: Building scientific reasoning in AP Chemistry via the Concept Development Study Approach*". J. Chem. Educ. 91, 1318–1325.
- Prieto, A., 2017, "*Flipped Learning. Aplicar el Modelo de Aprendizaje Inverso*". Narcea Ediciones.
- Prieto, A. et al., 2018: "*Nuevas combinaciones de aula inversa con just-in-time teaching y análisis de respuestas de los alumnos*". Revista Iberoamericana de educación a distancia 21, 175–194.
- Prieto, A., Giménez, X., 2020, "*La enseñanza universitaria basada en la actividad del estudiante: evidencias de su validez*", en "Docentes universitarios. Una formación Centrada en la Práctica". Nicolás de Alba, Rafael Porlán (coords). Ed. Morata, Sevilla.
- Porlán, R. 2017: "*Enseñanza Universitaria. Como mejorarla*". Ed. Morata, Sevilla.
- Sams, A., Bergmann, J., 2013, "*Flip your student's learning*". Technology–Rich Learning, 70, 16–20.
- Seery, M.K.; Donnelly, R., 2012: "*The implementation of pre-lecture resources to reduce in-class cognitive load: a case study for higher education chemistry*". British Journal of Educational Technology 43, 667–677.
- Storm, B.C.; Bjork, E.L.; Bjork, R.A., 2008: "*Accelerated relearning after retrieval-induced forgetting: the benefit of being forgotten*". Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition 34, 230.
- Straumanis A., 2012, "*Organic Chemistry. A guided inquiry for recitation.*" Brooks–Cole Cengage Learning, Belmont, USA.
- Summerfield S., Overton T.L., Belt S.T., 2003, "*Problem-solving case studies.*" Anal. Chem., 75(7), 181–182.
- Wheeler, L.B., Clark, C.P., Grisham, C.M., 2017, "*Transforming a traditional laboratory to an inquiry-based course: Importance of training TAs when redesigning a curriculum*". J. Chem. Educ. 94, 1019–1026.

Wood, W.B., 2009a: “*Innovations in teaching undergraduate biology, and why we need them*”. Annual Review of Cell and Developmental Biology 25, 93.

Wood, W.B., 2009b: “*Revising the AP biology curriculum*”. Science 325, 1627.

**Contact address:** Celia Maya, Universidad de Sevilla, Facultad de Química, Departamento de Química Inorgánica. Profesor García González, 1. 41012 Sevilla.  
E-mail: maya@us.es

